

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**EVALUACIÓN DE LA PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y
FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN DE UN
BIOCOMBUSTIBLE LÍQUIDO OBTENIDO A PARTIR DE
LA PULPA DE CAFÉ**

Proyecto de graduación sometida a consideración de la Escuela de
Ingeniería Química como requisito final de graduación para optar por
el grado de Licenciatura en Ingeniería Química

Lilliam Rebeca Gamboa Gamboa

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José - Costa Rica
2022

EVALUACIÓN DE LA PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE
LA PRODUCCIÓN DE UN BIOCOMBUSTIBLE LÍQUIDO OBTENIDO A
PARTIR DE LA PULPA DE CAFÉ.

Proyecto de graduación sometida a consideración de la Escuela de Ingeniería
Química como requisito final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería Química.



M.Sc. Adolfo Ulate Brenes
Escuela de Ingeniería Química
Presidente del Tribunal



Lic. Natalia Montero Rambla
Escuela de Ingeniería Química
Directora del Proyecto



Lic. Juliana Da Luz Castro
Escuela de Ingeniería Química
Asesora



Lic. Esteban Gamboa Gamboa
Escuela de Ingeniería Química
Asesor



Lic. Allan Mora Vindas
Escuela de Ingeniería Química
Miembro invitado

DEDICATORIA

A mi mamá y a mi papá por todo el esfuerzo realizado al ayudarme a cumplir todas mis metas.

AGRADECIMIENTO

A mi mamá y a mi papá, por el apoyo a lo largo de todo el proceso y enseñarme que con esfuerzo todo es posible.

A Eugenia y Adrián, por el apoyo que me brindaron.

A mi Madrina Lilliam y a mi padrino Gabriel, por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera.

A Caro, María y Jenny, por ser las mejores amigas que me pudo dejar la universidad. A Luis, por ser el mejor compañero de proyectos y siempre tener una respuesta para todas mis dudas.

A las profesoras Nati y Juli, por el apoyo en este proyecto y por ser de las mejores profesoras que he conocido. A Esteban, por su apoyo en el proyecto y por aconsejarme a lo largo de toda la carrera.

A Amparito, por siempre motivarme.

A todos los profesores que de una u otra forma me ayudaron a lograr esta meta.

A mis compañeros de trabajo, por motivarme a concluir este proyecto.

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo evaluar la viabilidad de la producción de un biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa de café mediante un estudio de prefactibilidad técnica y financiera.

Inicialmente se evaluaron los distintos biocombustibles líquidos y sus posibles aplicaciones y se seleccionó el biodiésel como biocombustible y combustible para motores como la aplicación de este. Posteriormente, teniendo en cuenta el biocombustible seleccionado, se estimó el volumen de producción, para esto se realizó una encuesta y a partir de los resultados de esta se determinó que el volumen anual a producir era de 15 912 L de biodiésel.

A partir de diferentes fuentes se obtuvo la información necesaria para realizar balances de masa y energía, con estos se estimaron las condiciones del proceso y posteriormente se dimensionaron los equipos de cada operación. También, se seleccionó La Garita de Alajuela como ubicación de la planta y la distribución en U como la más adecuada para esta.

Se estimaron los distintos costos para llevar a cabo el proyecto, con los cuales se determinó una inversión de capital de ₡9 917 969 (\$95 025), un costo de producción de ₡6 501 (\$9,59) por litro y un precio de venta de ₡909 (\$1,34) por litro (el cual es bajo comparado con el costo de producción). Se realizó un análisis de rentabilidad del cual, con una tasa de corte de 10 % se obtuvo un VAN negativo y no se logró estimar el TIR ya que flujo neto no llega a ser positivo a lo largo de los 10 años evaluados; es decir que bajo esas condiciones el proyecto no es rentable. Se evaluó la sensibilidad y riesgo del proyecto, para lo cual se redujeron los costos de operación hasta un 5 % y se determinó que el precio mínimo de venta para que el proyecto genere una ganancia es de ₡6 604 (\$9,74) por litro de biodiésel.

A nivel ambiental se completó el Documento de Evaluación Ambiental-D1 de SETENA y se determinó que por las condiciones del proceso este es de tipo B₂, por lo que solo se debe presentar una declaración jurada de compromiso ambiental. También, se realizó el marco legal del proyecto y se determinó que es fundamental que el proyecto cuente con el permiso sanitario de funcionamiento y que se siga lo indicado en el Reglamento de Biocombustibles Líquidos y sus Mezclas N° 40050-MINAE-MAG.

Se concluye que, el proyecto es técnicamente viable ya que se logra obtener el biodiésel a partir de la pulpa de café y dimensionar los equipos requeridos para el proceso; a nivel financiero, como se mencionó anteriormente, el costo de producción es muy alto, lo que hace que el proyecto pierda su viabilidad financiera.

Se recomienda, realizar pruebas a nivel de laboratorio con los parámetros seleccionados para la producción del biodiésel, con el fin de evaluar si se pueden replicar las condiciones documentadas en los distintos artículos científicos y al mismo tiempo

x

determinar puntos de mejora en el proceso.

Índice

	<i>Página</i>
RESUMEN	IX
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivos	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Generalidades del Café	5
2.1.1 Composición del café	5
2.1.2 Producción de café en Costa Rica	6
2.2 Generalidades de la pulpa de café	9
2.3 Biocombustibles Líquidos	10
2.3.1 Clasificación de los biocombustibles líquidos	11
2.3.2 Tipos de Biocombustibles Líquidos	12
2.4 Aplicaciones de los Bicombustibles Líquidos	20
CAPÍTULO III. MARCO LEGAL	23
3.1 Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento por Parte del Ministerio de Salud N° 34728-S	23
3.2 Reglamento de Biocombustibles Líquidos y sus Mezclas N° 40050 - MINAE-MAG	28
3.3 Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.43:07 Biocombustibles. Biodisel (B100) y sus mezclas con aceite combustible diesel. Especificaciones	29
3.4 Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.46:07 Biocombustibles. Etanol Carburante Anhidro y el Etanol Carburante Anhidro Desnaturalizado. Especificaciones	30
3.5 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601	31
3.6 Reglamento de Construcción	33

CAPÍTULO IV. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	35
4.1 Posibles Usos y Compradores de Biocombustibles Líquidos	35
4.2 Exportaciones e Importaciones de Combustibles y Biocombustibles Líquidos en Costa Rica	37
4.2.1 Combustibles	37
4.2.2 Biocombustibles	38
4.3 Disponibilidad de Pulpa de Café	40
4.4 Precios del Mercado de los Combustibles y Biocombustibles Líquidos	41
4.5 Principales Competidores	42
4.6 Encuesta	43
4.6.1 Metodología	43
4.6.2 Resultados	45
4.7 Ruta de Distribución y Estrategia de Mercadeo	50
4.8 FODA	51
4.8.1 Fortalezas	51
4.8.2 Oportunidades	51
4.8.3 Debilidades	52
4.8.4 Amenazas	52
4.9 Biocombustible líquido a producir y su aplicación	53
4.10 Volumen de Producción del Biodiésel	54
CAPÍTULO V. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA	59
5.1 Ubicación de la Planta	59
5.2 Proceso Productivo	60
5.2.1 Pretratamiento de la Pulpa de Café	61
5.2.2 Extracción de las Grasas de la Pulpa	65
5.2.3 Transesterificación de las Grasas	71
5.2.4 Separación del Biodiésel y almacenamiento	73
5.3 Diagramas	74
CAPÍTULO VI. MARCO AMBIENTAL	77

6.1	Medidas de Mitigación	85
CAPÍTULO VII. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD FINANCIERA		89
7.1	Estimación de la Inversión de Capital	89
7.1.1	Estimación de la Inversión de Capital Fijo	89
7.1.2	Estimación del Capital de Trabajo	93
7.2	Estimación del Costo Total del Producto	94
7.2.1	Estimación del Costo de Fabricación	94
7.3	Estimación del Precio de Venta y la Ganancia del Producto	99
7.4	Flujo de Caja	100
7.5	Análisis de Sensibilidad y Riesgo	103
CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		107
8.1	Conclusiones	107
8.2	Recomendaciones	108
NOMENCLATURA		109
BIBLIOGRAFÍA		113
APÉNDICES		123
A	Encuesta Aplicada	123
B	Cuadros de Resultados	126
C	Muestra de Cálculo	129
D	Diagramas	143

Índice de cuadros

Cuadro 2.1	Composición (en porcentaje másico) del café en fruto (Vargas, 2019).	6
Cuadro 2.2	Hectáreas por provincia dedicadas a la producción de café (Vignola <i>et al.</i> , 2018).	7
Cuadro 2.3	Porcentaje de cobertura de café por región cafetalera (Vignola <i>et al.</i> , 2018).	7
Cuadro 2.4	Área de aptitud por región cafetaleras en Costa Rica (Vignola <i>et al.</i> , 2018).	8
Cuadro 2.5	Producción (en fánegas) de café entre el 2017 y el 2021 por región cafetalera (ICAFFE, 2021).	9
Cuadro 2.6	Composición de la pulpa de café (valores en base seca) (Urribarrí <i>et al.</i> , 2014).	10
Cuadro 2.7	Especificaciones de calidad del biodiésel (B100) (RTCA 75.02.43:07, 2007).	13
Cuadro 2.8	Especificaciones de calidad del bioetanol (E100) (RTCA 75.02.46:07, 2005).	17
Cuadro 2.9	Aspectos a tomar en cuenta al producir biocombustibles líquidos a gran escala (Anwar, 2021).	19
Cuadro 3.1	Límites máximos permisibles para el vertido de aguas residuales en alcantarillados sanitarios y cuerpos receptores (D 33601, 2010).	32
Cuadro 4.1	Ventajas y desventajas de cada uno de los posibles usos de los biocombustibles líquidos en Costa Rica.	36
Cuadro 4.1	Continuación (Ventajas y desventajas de cada uno de los posibles usos de los biocombustibles líquidos en Costa Rica).	37
Cuadro 4.2	Exportación e importaciones de biodiésel y sus mezclas en Costa Rica, para los últimos años (PROCOMER, 2020).	39
Cuadro 4.3	Generación promedio de pulpa de café (elaboración propia a partir de información brindada por (ICAFFE, 2021)).	40

Cuadro 4.4	Precio de los combustibles líquidos en Costa Rica (ARESEP, 2022).	41
Cuadro 5.1	Promedio de la pulpa de café generada anualmente por región cafetalera (ICAFE, 2021).	59
Cuadro 5.2	Funcionamiento de los distintos secadores (McCabe <i>et al.</i> , 2007).	62
Cuadro 5.3	Ventajas y desventajas de los secadores (Cano Cruz, 2014).	63
Cuadro 5.4	Resultados de los balances de masa y energía del proceso de secado.	64
Cuadro 5.5	Resultados de los balances de masa y energía de proceso de extracción de las grasas.	68
Cuadro 5.6	Resultados de los balances de masa y energía de proceso de decantación de las grasas.	68
Cuadro 5.7	Resultados de los balances de masa y energía del proceso de evaporación para la separación de las grasas.	68
Cuadro 5.8	Resultados de los balances de masa y energía del proceso de transesterificación.	72
Cuadro 7.1	Detalle del costo de los equipos adquiridos.	90
Cuadro 7.2	Detalle del Costo de Directos.	92
Cuadro 7.3	Desglose del capital de trabajo.	93
Cuadro 7.4	Resumen de la Inversión de Capital.	93
Cuadro 7.5	Resumen del monto anual de los salarios para cada puesto.	95
Cuadro 7.6	Resumen de los Costos Directos de Producción.	97
Cuadro 7.7	Resumen de los Gasto Fijos anuales.	98
Cuadro 7.8	Resumen de los Gastos Generales de la Planta.	99
Cuadro 7.9	Resumen del Costo Total del Producto.	99
Cuadro 7.10	Cuota, interés y amortización anual del préstamo solicitado.	101
Cuadro B.1	Estimación del consumo anual de combustible de las personas entrevistadas que habitan en la región central del país.	126
Cuadro B.2	Datos para la estimación de la muestra mínima de personas a encuestar.	127

Cuadro B.3 Datos utilizados para los balances de masa y energía del secador.	127
Cuadro B.4 Datos utilizados para los balances de masa y energía del proceso de extracción.	127
Cuadro B.5 Datos utilizados para los balances de masa y energía del proceso de transesterificación.	128
Cuadro B.6 Detalle de la cotización de productos de limpieza (Xtream Clean, 2022).	128

Índice de figuras

Figura 2.1	Partes del fruto del café (Pereira, 2017).	5
Figura 2.2	Regiones cafetaleras de Costa Rica (Vignola <i>et al.</i> , 2018). . .	8
Figura 2.3	Reacción de transesterificación para la obtención de biodiésel (Balinge y Balakrishnan, 2020).	15
Figura 4.1	Importación de combustible en Costa Rica del año 2010 al 2020 (RECOPE, 2020a).	38
Figura 4.2	Región socioeconómica en la que habitan las personas encues- tadas (Elaboración Propia).	45
Figura 4.3	Tipo de vehículo que poseen las personas encuestadas (Ela- boración Propia).	46
Figura 4.4	Combustible utilizado en los distintos tipos vehículos de las personas encuestadas (Elaboración Propia).	47
Figura 4.5	Monto económico que utilizan las personas encuestadas para la compra de combustible (Elaboración Propia).	47
Figura 4.6	Precio dispuesto a pagar por el biocombustible líquido (Ela- boración Propia).	48
Figura 4.7	Razones por las que no usaría un biocombustible líquido (Ela- boración Propia).	49
Figura 4.8	Porcentaje de personas encuestadas que pertenecen a la Re- gión Central por tipo de combustible (Elaboración Propia).	55
Figura 4.9	Porcentaje que estarían dispuestas a pagar las personas en- cuestadas por tipo de combustible (Elaboración Propia).	57
Figura 5.1	Gantt del proceso que ingresa a la planta el lunes (Elabora- ción Propia).	61
Figura 5.2	Secador de bandejas seleccionado (Alibaba, 2021a).	65
Figura 5.3	Extractor seleccionado (Alibaba, 2020).	69
Figura 5.4	Decantador seleccionado (Boada, 2021).	70
Figura 5.5	Destilador seleccionado (Alibaba, 2021).	70
Figura 5.6	Reactor batch seleccionado (Made In China, 2021).	72

Figura 5.7	Decantador seleccionado (Alibaba, 2021b).	73
Figura 5.8	Flujo del proceso de secado de la pulpa de café (elaboración propia).	74
Figura 5.9	Flujo del proceso de obtención de Biodiésel a partir de la pulpa de café (elaboración propia).	75
Figura 5.10	Distribución de la planta de obtención de Biodiésel a partir de la pulpa de café (elaboración propia).	76
Figura 6.1	Ficha de Descripción del Proyecto.	77
Figura 6.2	Evaluación de Consumo y Afectación.	78
Figura 6.3	Evaluación de Impacto en Aire y Agua.	79
Figura 6.4	Evaluación de Impacto en el Suelo.	80
Figura 6.5	Evaluación de Impacto Humano.	81
Figura 6.6	Evaluación de Otros Riesgos.	82
Figura 6.7	Determinación de la Significancia del Impacto Ambiental (SIA).	83
Figura 6.8	Matriz de Efectos Acumulativos y Sinérgicos.	84
Figura 7.1a	Flujo de Caja del Proyecto de los primeros 5 años del proyecto.	102
Figura 7.1b	Flujo de Caja del Proyecto del año 6 al 10.	102
Figura 7.2	Comportamiento del VAN con el aumento del volumen de producción (elaboración propia).	104
Figura 7.3	Comportamiento del VAN con la disminución de los costos de operación (elaboración propia).	105
Figura 7.4	Comportamiento del VAN con la disminución de los costos de operación (elaboración propia).	106
Figura 11.1	Diagrama de flujo del proceso de secado de la pulpa de café (elaboración propia).	143
Figura 11.2	Diagrama de flujo del proceso de obtención de Biodiésel a partir de la pulpa de café (elaboración propia).	144
Figura 11.3	Diagrama de distribución de la planta de obtención de Biodiésel a partir de la pulpa de café (elaboración propia).	145

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad países conocidos por su alta producción de café, como los son Colombia y Brasil, han optado por la producción de biocombustibles líquidos obtenidos a partir de la pulpa de café. En el caso de Brasil los expertos indican que el costo, en este caso del biodiésel obtenido de la pulpa, es inferior al de otros biocombustibles; por su parte en Colombia se han construido dos plantas para procesar la pulpa y obtener biocombustibles.

Ambos países indican que utilizar este residuo del café como materia prima tiene grandes ventajas como: un muy bajo costo, un contenido aceptable de grasas y aceites (entre un 11 % y un 16 %), y principalmente que la pulpa como tal no es comestible y se genera en grandes cantidades, por lo que no se debería aumentar el cultivo de café para abastecer la producción del biocombustible, ni se utilizaría una materia prima que puede ser consumido por las personas y por ende se evitan problemas de desabastecimiento de alimentos como ha sucedido con el maíz al ser utilizado para producir biodiésel y bioetanol (Lombana *et al.*, 2015).

Algunos usos que se le han dado a la pulpa son como fertilizante o abono, también se han realizado investigaciones en las que se plantea utilizar este residuo como biopolímero y biocatalizador (Dattatraya *et al.*, 2020); por su parte en el caso de los biocombustibles líquidos, se ha estudiado la producción de estos a partir de aceites de palma, coco, colza, grasas animales, rastrojo de piña, aceites de cocina usado, entre otros (Medina *et al.*, 2012).

1.1. Justificación

La motivación para realizar este proyecto surge de la necesidad de minimizar la gran cantidad de residuos de café que se generan en Costa Rica, tomando como referencia los últimos años (de 2010 al 2020), anualmente se producen aproximadamente 2 036 055,75 fanegas de café en fruto lo cual equivale a 525 302,38 toneladas

(ICAFE, 2021). De esta cantidad el 18,6 % (en base húmeda) se aprovecha para generar el producto que comúnmente se conoce como café, el 81,4 % restante equivale a residuos. Uno de los residuos es la broza o pulpa, la cual corresponde a un 41,6 % (en base húmeda) del fruto, por lo que en promedio anualmente se generan aproximadamente 210 120,95 toneladas de esta, las cuales en la mayoría de los casos no tienen un valor comercial y son acumuladas en algún área del beneficio o se desechan entre los desechos sólidos comunes (Vargas, 2019); este residuo tiene la ventaja de ser rico en azúcares (aproximadamente un 18 % en base seca) y contener grasas y aceites (entre un 11 % a 16 %), los cuales poseen un gran potencial como fuente de obtención de biocombustibles líquidos (Aiello *et al.*, 2019).

Tomando como ejemplo el diésel, en promedio, anualmente en Costa Rica se importan 1 006 735,3 toneladas, es utilizado para generar electricidad, como combustible de motores y en sistemas de calefacción (PROCOMER, 2020). Este hidrocarburo se obtiene del proceso de destilación de petróleo, el cual es un recurso no renovable y por lo tanto, llegará un punto en el que se agotará y se deberán buscar otras alternativas de combustible. Es importante mencionar que se han realizado estudios en los que se compara el diésel con un biocombustible líquido como el biodiésel, en estos a partir de pruebas se ha determinado que las emisiones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) del biodiésel obtenido a partir de la broza de café son menores a las del diésel convencional, lo cual disminuye la huella de carbono (Kamil *et al.*, 2019).

Por su parte, la pulpa del café, tiene una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), un alto contenido de compuestos orgánicos y a la vez está formada por compuestos como polifenoles, taninos y cafeína, los cuales generan un efecto negativo en el medio ambiente. En muchos casos se opta por incinerar este residuo, sin embargo, este proceso suele generar gases de efecto invernadero; y si se deja que se descomponga naturalmente, se producen malos olores y se ha determinado que aproximadamente por cada tonelada de pulpa se generan 0,3 toneladas de CO₂ (Aiello *et al.*, 2019). Por lo anterior, surge la iniciativa de evaluar la prefactibilidad tanto

técnica como financiera de la producción de un biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa de café, ya que de resultar factible se estarían disminuyendo los residuos de pulpa y generando una fuente de ingresos y de biocombustible para el país.

Para abordar este proyecto se desarrolló una encuesta y se analizaron algunas bases de datos con el fin de determinar el biocombustible a producir, su aplicación y volumen de producción; también por medio de balances de masa y energía se dimensionaron equipos y por ende se determinó la prefactibilidad técnica del proceso. Adicionalmente, a partir de flujos de caja y análisis de sensibilidad y riesgo se evaluó la prefactibilidad financiera del proceso. A su vez, se tomaron en cuenta aspectos ambientales y legales del proyecto con el fin de asegurar que este cumpla con los reglamentos y normativas del país.

1.2. Objetivos

Para desarrollar este proyecto se tiene como objetivo general evaluar la viabilidad de la producción de un biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa de café mediante un estudio de prefactibilidad técnica y financiera. Para lograr este objetivo se siguieron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el marco legal y ambiental en el que se debe desarrollar la planta productora de un biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa de café.
- Estimar el volumen de producción de la planta productora de un biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa.
- Realizar un estudio de prefactibilidad técnica para la planta productora de un biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa de café.
- Realizar un estudio de prefactibilidad financiera de la planta productora de un biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa de café.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades del Café

El café es el fruto que se obtiene del árbol Cafeto, en Costa Rica el café se cosecha durante los meses que van de diciembre a febrero, una vez que se da la recolección del fruto este pasa a un tanque (con forma de sifón) donde se lava y por gravedad se separan los frutos maduros de los verdes. Luego los granos pasan al proceso de despulpado en el cual son comprimidos entre una superficie áspera y otra lisa, generando el desprendimiento de la pulpa; posteriormente se retira el mucílago del fruto, luego los granos se secan al sol o en un secador y finalmente se remueve la cascarilla y se obtiene el café que se utiliza en la elaboración de bebidas (Vargas, 2019).

2.1.1. Composición del café

Este fruto está compuesto por el almendro (endosperma), la pulpa (epicarpio), mucílago (mesocarpio), pergamino (endocarpio) y agua (ver Figura 2.1); en el Cuadro 2.1, se observa la composición en porcentaje másico de este (Vargas, 2019).

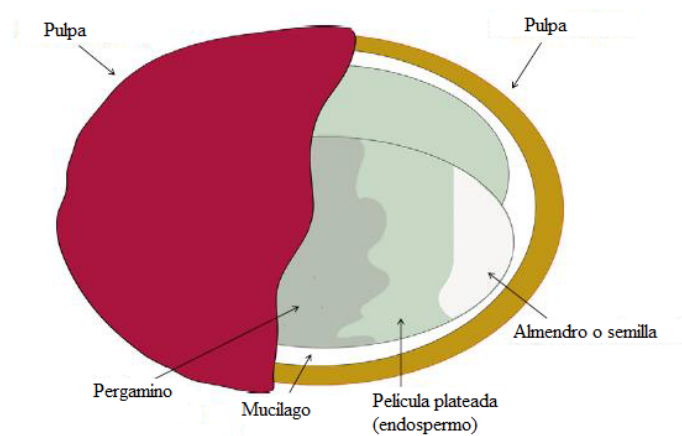


Figura 2.1. Partes del fruto del café (Pereira, 2017).

Cuadro 2.1. Composición (en porcentaje másico) del café en fruto (Vargas, 2019).

Componente	Composición Másica
Almendro	18,6 %
Pulpa	41,6 %
Mucílago	15,6 %
Pergamino	4,3 %
Agua	19,9 %

El almendro conocido como café oro, es la parte del fruto que se procesa para producir la bebida que se conoce como café. Está cubierta por el endospermo, el cual es una película plateada que se elimina durante el proceso de despulpado (Vargas, 2019).

La pulpa o broza es el primer subproducto que se obtiene al procesar el fruto de café, es la cáscara o piel que recubre la baya, en base húmeda representa aproximadamente un 41,6 % del peso del fruto. La pulpa deshidratada contiene 10 % de proteína, 21 % fibra, 8 % cenizas y un 4 % de extracto (Mora, 2018).

Por su parte, el mucílago es una capa de entre 0,5 mm y 2 mm de espesor que está adherida a la cáscara del grano de café. Este residuo posee una alta concentración de carbohidratos como la galactosa y glucosa; físicamente se considera que es un hidrogel ya que es un coloide líquido (Orrego *et al.*, 2018).

El pergamino es una membrana que envuelve la semilla o almendro, posee una textura cartilaginosa. También se le conoce como cascarilla (Vargas, 2019).

2.1.2. Producción de café en Costa Rica

Según el censo nacional agropecuario del 2014, el 20,43 % de las fincas agropecuarias del país y el 70,5 % de las fincas ubicadas en San José y Alajuela se dedican a la producción de café (Vignola *et al.*, 2018). En el Cuadro 2.2 se muestra la cantidad de hectáreas dedicadas a la producción de café por provincia, se puede observar que

las provincias del valle central como los son San José, Alajuela y Cartago son las mayores productoras de este fruto.

Cuadro 2.2. Hectáreas por provincia dedicadas a la producción de café (Vignola *et al.*, 2018).

Provincia	Hectáreas	Superficie sembrada del país
San José	30 867,7	36,7 %
Alajuela	25 101,1	29,8 %
Cartago	10 952,0	13 %
Puntarenas	10 658,1	12 %
Heredia	4 673,2	5,5 %
Guanacaste	1 622,7	1,9 %
Limón	258,3	0,3 %

Por su parte en el Cuadro 2.3 se tiene el porcentaje de cobertura de café por región cafetalera en el país, estas regiones se observan en la Figura 2.2, la Zona de los Santos y el Valle Occidental son los que cuentan con un mayor porcentaje de cobertura, para ambas es de un 25 %; por su parte, Turrialba y la Zona Norte son las que poseen una menor cobertura en el país.

Cuadro 2.3. Porcentaje de cobertura de café por región cafetalera (Vignola *et al.*, 2018).

Región Cafetalera	Porcentaje de cobertura
Zona de los Santos	25 %
Valle Occidental	25 %
Valle Central	16 %
Pérez Zeledón	15 %
Coto Brus	10 %
Turrialba	7 %
Zona Norte	2 %



Figura 2.2. Regiones cafetaleras de Costa Rica (Vignola *et al.*, 2018).

Es importante resaltar que no todas las hectáreas de las regiones mencionadas cuentan con las condiciones óptimas para la producción de café, esto en parte está relacionado con las diferentes condiciones climáticas de cada zona. En un estudio realizado por Vignola *et al.* (2018) se clasificaron las hectáreas de cada región cafetalera en cinco aptitudes, siendo deficit la aptitud más baja para la producción cafetalera y óptima la más alta; en el Cuadro 2.4 se observa la cantidad de hectáreas para cada aptitud por zona productiva, en este caso el Valle Central y la Zona de los Santos son las que cuenta con más hectáreas óptimas para la producción de café.

Cuadro 2.4. Área de aptitud por región cafetaleras en Costa Rica (Vignola *et al.*, 2018).

Región Cafetalera	Deficit	Hectáreas por aptitud			
		Bajo	Medio	Muy bueno	Óptimo
Coto Brus	0	226	7 780	740	0
Pérez Zeledón	2,3	2 741	9 400	1 690	0
Zona de los Santos	0	31	3 040	18 210	2 074
Turrialba	1,5	259	4 620	1 970	0
Valle Central	0	0	2 810	9 780	2 303
Valle Occidental	0	91	5 430	17 880	219
Zona Norte	0,3	88	1 545	840	3

En el Cuadro 2.5 se presenta la producción de café por región cafetalera en los últimos años, vale recalcar que una fánega son aproximadamente 258 kg. Un dato a resaltar es que la Zona de los Santos y el Valle Occidental son las que poseen un mayor porcentaje de cobertura de la producción de café y esto a la vez hace que sean los mayores productores, al mismo tiempo, como Turrialba y la Zona Norte poseen la menor cobertura su producción es la de menor tamaño.

Cuadro 2.5. Producción (en fánegas) de café entre el 2017 y el 2021 por región cafetalera (ICAFFE, 2021).

Región Cafetalera	Año de Cosecha			
	2017-18	2018-19	2019-20	2020-21
Zona de los Santos	809 950	732 608	866 611	795 124
Valle Occidental	430 121	345 594	322 527	398 868
Valle Central		310 591	208 975	318 471
263 275				
Pérez Zeledón	212 759	204 446	217 635	200 105
Coto Brus	159 767	124 641	142 543	127 142
Turrialba	69 479	79 292	90 367	84 990
Zona Norte	25 268	22 103	16 649	17 090
Total (Fánegas)	2 017 935	1 717 659	1 974 801	1 886 594

2.2. Generalidades de la pulpa de café

Como se mencionó anteriormente la pulpa o broza de café es la cáscara o piel que recubre la baya o grano, en base húmeda representa aproximadamente el 41,6 % del peso del fruto (Mora, 2018). Es rica en azúcares (18 % en base seca aproximadamente) y en grasas y aceites (entre un 11 % y 16 % en base seca) (Aiello *et al.*, 2019). En el Cuadro 2.6, se detalla la composición de la pulpa de café, esta información fue tomada de una investigación realizada por Urribarrí *et al.* (2014).

Cuadro 2.6. Composición de la pulpa de café (valores en base seca) (Urribarrí *et al.*, 2014).

Parámetro	Composición
Humedad	10,49 % \pm 0,09 %
Materia seca	89,51 % \pm 0,09 %
Cenizas	1,81 % \pm 0,05 %
Nitrógeno	1,88 % \pm 0,05 %
Grasas	13,41 % \pm 0,25 %
Celulosa	28,05 %
Hemicelulosa	18,83 %
Lignina	16,21 %
Solubles	35,29 %
Azúcares totales	39,62 g/g \pm 0,69 g/g
Azúcares reductores	11,35 mg/g \pm 0,27 mg/g

Una desventaja y la razón por la que se busca darle un segundo uso a la pulpa, es la alta concentración de contaminantes orgánicos, como fenoles y polifenoles, estos alteran a los seres vivos y dañan los suelos (Thenepalli *et al.*, 2017).

Lastimosamente, en la mayoría de los beneficios cafetaleros los residuos de pulpa se acumulan y no son tratados, esto genera malos olores y la proliferación de organismos dañinos para la salud. Otro factor importante es la contaminación de las fuentes hídricas, cuando la pulpa entra en contacto con el agua disminuye el pH de esta, haciendo que este sea muy ácido (se tienen reportes de pH de hasta 3,8), bajo estas condiciones la mayoría de las plantas, animales y organismos acuáticos, que consuman o tengan contacto con el agua, no pueden sobrevivir (Thenepalli *et al.*, 2017). Por esto es que surge la idea e importancia de darle un segundo uso a este residuo, y una de las posibles maneras es como biocombustible líquido.

2.3. Biocombustibles Líquidos

Un biocombustible es aquella sustancia que funciona como combustible pero que fue obtenido a partir de una biomasa, esta última hace referencia a cualquier material

orgánico que puede tener origen animal o vegetal. Los biocombustibles se pueden clasificar en primera, segunda, tercera o cuarta generación.

2.3.1. Clasificación de los biocombustibles líquidos

■ Primera Generación

Los biocombustibles de primera generación son aquellos que se obtienen a partir de cultivos agrícolas que también son utilizados para alimentar a las personas. Una de las principales desventajas de producir este biocombustible es la tendencia a crear una crisis alimentaria, ya que como se utilizan alimentos para producirlos, se genera una competencia entre las tierras o cultivos que son destinados para estos y los que se utilizan para los seres humanos. Una estimación del Banco Mundial que indica que el costo de los alimentos puede incrementar en un 70 % si se utiliza para producir biocombustibles (Salinas y Gasca, 2009).

■ Segunda Generación

Los biocombustibles de segunda generación son aquellos que se obtienen de fuentes vegetales que usualmente no son de consumo humano como por ejemplo los residuos de los cultivos; su proceso productivo implica tecnologías avanzadas y ecológicas. Una de las ventajas de estos biocombustibles es que son fáciles de mezclar con otros hidrocarburos, lo cual reduce los niveles de CO₂ a corto plazo; por su parte una desventaja es que sus costos de manufactura suelen ser altos (Salinas y Gasca, 2009); este proyecto se enfoca en un combustible de segunda generación.

■ Tercera Generación

En el caso de los combustibles de tercera generación se basa en un sistema más eficiente en el cual se busca mejorar la cosecha de la materia prima para posteriormente convertirla en combustible, las algas son una de las biomasas más utilizadas y que ha presentado mejores resultados (García, 2013).

■ Cuarta Generación

Los biocombustibles de cuarta generación son aquellos en los que se utilizan bacterias que han sido genéticamente modificadas, estas utilizan CO₂ o alguna otra fuente de carbono para obtener el biocombustible (García, 2013).

2.3.2. Tipos de Biocombustibles Líquidos

Los principales biocombustibles líquidos son el biodiésel y el bioetanol. Sin embargo, es importante mencionar que también se tienen otros biocombustibles como los aceites pirolíticos, bioalcoholes entre los que se tiene el biobutanol, pero estos no son tan utilizados como los antes mencionados, ya que no se cuenta con marcos regulatorios o normativas que indiquen las especificaciones de calidad de estos y al mismo tiempo no se tienen suficientes estudios que especifiquen los porcentajes de mezcla recomendados (Moreno, 2017).

2.3.2.1. Biodiésel

El biodiésel es un combustible obtenido a partir de aceites vegetales o animales, usualmente se utilizan más fuentes vegetales ya que muchos residuos agrícolas son la materia prima para obtener estas grasas; por lo que se disminuyen los desechos antes mencionados y se genera una fuente energética (Singh *et al.*, 2019).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), comparó las emisiones producidas por el diésel y el biodiésel, de las cuales se determinó que, la posible formación de ozono (smog) y las emisiones de monóxido de carbono son 50 % menos para el biodiésel. En el caso de las emisiones de sulfatos y óxidos de azufre se eliminan por completo para este mismo componente. También, las emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) se reducen sustancialmente para el biodiésel (entre 75 % y 85 %), lo cual es de gran ayuda para el medio ambiente (Dahiya, 2020). A continuación, se detallan las propiedades o especificaciones del biodiésel y el proceso de obtención de este a partir de la pulpa de café.

2.3.2.1.1. Propiedades

Según el Reglamento de Biocombustibles Líquidos y sus Mezclas N° 40050 - MINAE-MAG, en Costa Rica las especificaciones de calidad del biodiésel se rigen por el “Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.43:07 Biocombustibles. Biodiesel (B100) y sus mezclas con aceite combustible diesel. Especificaciones”, en el

Cuadro 2.7 se detallan estas especificaciones.

Cuadro 2.7. Especificaciones de calidad del biodiésel (B100) (RTCA 75.02.43:07, 2007).

Propiedad	Valor
Contenido de ésteres	Mín. 96,5 % _{masa}
Estabilidad a la oxidación, 110°C	Mín. 6,0 H
Flash point	Mín. 130 °C
Agua y sedimentos	Máx. 0,05 % _{volumen}
Viscosidad cinemática a 40°C	1,9 mm ² /s – 6,5mm ² /s
Ceniza sulfatada	Máx. 0,02 % _{masa}
Contenido de azufre total	Máx. 15 mg/kg
Corrosión tira de cobre, 3 h, 50 °C	Máx. N° 3
Número de cetano	Mín. 47
Residuo de carbón	Máx. 0,05 %masa
Número ácido	Máx. 0,50 mg KOH/g
Glicerina libre	Máx. 0,02 % _{masa}
Glicerina total	Máx. 0,24 % _{masa}
Contenido de fósforo	Máx. 0,001 % _{masa}
Temperatura de destilación	Máx. 360 °C
Sodio y potasio combinado	Máx. 5 mg/kg
Calcio y magnesio combinado	Máx. 5 mg/kg
Densidad a 15 °C	Máx. 960 kg/m ³

2.3.2.1.2. Proceso de obtención a partir de la pulpa de café

A continuación se detallan las etapas del proceso de obtención de biodiésel a partir de la pulpa de café:

- **Preparación de la pulpa del café**

Con el fin de eliminar la humedad y por ende evitar la presencia de algún micro organismo, se toma la broza y se coloca en un horno, se recomienda una temperatura entre 60 °C y 80 °C, en el caso del tiempo este depende del secador seleccionado y la temperatura; en caso de que la broza no se vaya a utilizar de inmediato, se debe almacenar en un recipiente hermético (Aiello *et al.*, 2019).

■ Extracción de las grasas

Para extraer las grasas del café usualmente se recurre a un proceso Soxhlet, la broza se coloca en un filtro de tela a una temperatura de trabajo mayor al punto de ebullición del solvente y se debe mantener entre 0,5 h a 6 h (Urribarrí *et al.*, 2014). Un factor muy importante es la relación entre la masa de broza y volumen de solvente, usualmente se utilizan entre 60 g y 100 g de broza y entre 250 mL y 300 mL de solvente (Blinová *et al.*, 2017). Posteriormente, se deben separar las grasas del solvente a partir de evaporación, para esto se puede utilizar un destilador; se recomienda colocar las grasas en la estufa por aproximadamente 1 h a 100 °C, esto con el fin de eliminar cualquier resto de solvente (Urribarrí *et al.*, 2014).

Algunos de los solventes más utilizados en esta extracción son el hexano y el metanol, estos han llegado hasta un porcentaje de grasa extraída de aproximadamente 16 % (fracción masa) (Urribarrí *et al.*, 2014); otros solventes utilizados son isopropanol y acetona, los cuales no son los más recomendados, ya que sus porcentajes de extracción son de un 11 % a 13 % (fracción masa) (Blinová *et al.*, 2017).

■ Transesterificación de las grasas extraídas

Las grasas extraídas pasan por un proceso de transesterificación en el cual usualmente se utiliza hidróxido de potasio (KOH), el cual funge como catalizador homogéneo al estar en presencia de un alcohol como el metanol; otras posibles opciones de catalizador son el hidróxido de sodio, ácido sulfúrico y ácido metafosfórico. Se utiliza una temperatura de 60 °C, una concentración de catalizador de 2 mg KOH/g grasas, una relación de grasas:alcohol de 1:5 y una agitación de 100 rpm por aproximadamente 1 h (Aiello *et al.*, 2019) la reacción general de este proceso se presenta en la Figura 2.3.

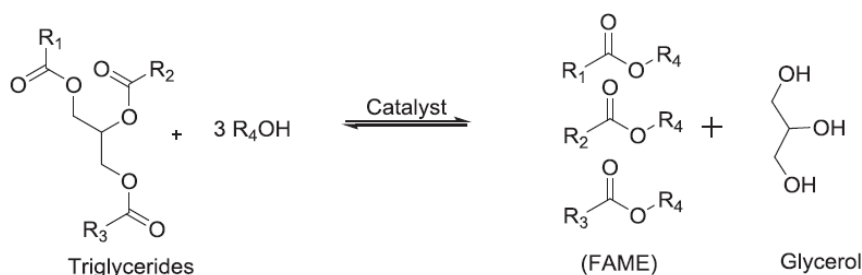


Figura 2.3. Reacción de transesterificación para la obtención de biodiésel (Balinge y Balakrishnan, 2020).

Para la obtención del biodiésel usualmente se utiliza un proceso homogéneo como el antes mencionado; sin embargo, este suele generar una mayor cantidad de aguas residuales y emulsiones, las cuales dificultan el proceso de separación del biodiésel. Lo anterior se minimiza al optar por un proceso heterogéneo, en el cual se utilizan catalizadores como el óxido de magnesio, óxido de calcio, entre otros; en este proceso se trabaja con temperaturas entre 200 °C a 300 °C, aproximadamente un 3% en peso del catalizador, una relación grasas:alcohol de 1:10 y una agitación de entre 300 rpm – 600 rpm por aproximadamente 4 h (este tiempo puede variar con el catalizador) (Ortiz, 2011).

La formación de jabón, es decir la presencia de una reacción de saponificación, es una de las principales problemáticas al obtener biodiésel. En la actualidad, se han realizado investigaciones con el fin de determinar las condiciones en las que se debería dar el proceso para evitar que lo antes mencionado suceda; Nguyen *et al.* (2020) utilizó un modelo de superficie de respuesta para determinar las condiciones óptimas en las que se debía dar una transesterificación directa (la extracción de las grasas y la transesterificación se dan en un solo paso) en la que se utilizaba 1,8-Diazabicyclo[5.4.0]undec-7-ene (DBU) como catalizador; se obtuvo que estas condiciones óptimas son: 6,25 mL de metanol por gramo de pulpa húmeda, 14,46 mL de DBU por gramo de pulpa húmeda, una temperatura de 60,2 °C y un tiempo de reacción de 28,65 min; bajo esto se tiene un rendimiento de biodiésel de 97,31% y no se da la formación de jabón.

Cuando la transesterificación ha concluido, la mezcla se centrifuga a 2 500 rpm durante aproximadamente 5 min y luego se deja en reposo a temperatura ambiente por 12 h y finalmente las fases se separan por decantación (Urribarrí *et al.*, 2014), donde la fase superior corresponde al biodiésel. A este se le realizan lavados para eliminar cualquier residuo de catalizador, para esto se agrega agua 50 % v/v *aceite* a 60 °C y se agita lentamente, este proceso se debe repetir hasta que los residuos del agua de lavado tengan un pH neutro. Opcionalmente, al biodiésel se le puede agregar algún agente desecante como el Na₂SO₄ (sulfato de sodio) para eliminar los restos de agua, y también la muestra se puede colocar en un rotavapor para eliminar los restos del alcohol utilizado (Uddin *et al.*, 2019).

2.3.2.2. Bioetanol

Por su parte, el bioetanol es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de un proceso de fermentación de una biomasa rica en azúcares o que sea capaz de producir estas (Duarte *et al.*, 2021). En un estudio realizado por Hernández *et al.* (2018), se compararon las emisiones de CO y CO₂ de varios motores que utilizaban gasolina común y de otros que utilizaban una mezcla 10 % bioetanol (E10); en el caso del CO las emisiones del motor con una mezcla de bioetanol disminuyeron entre un 9 % y un 22 %; por su parte, para el caso del CO₂ las emisiones entre los dos casos estudiados fueron muy similares. A continuación se detallan las propiedades o especificaciones del bioetanol y el proceso de obtención de este a partir de la pulpa de café.

2.3.1.2.1. Propiedades

Según el Reglamento de Biocombustibles Líquidos y sus Mezclas N° 40050 -MINAE-MAG, en Costa Rica las especificaciones de calidad del bioetanol se rigen por el “Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.46:07 Biocombustibles. Etanol Carburante Anhidro y el Etanol Carburante Anhidro Desnaturalizado. Especificaciones”, en el Cuadro 2.8 se detallan estas especificaciones.

Cuadro 2.8. Especificaciones de calidad del bioetanol (E100) (RTCA 75.02.46:07, 2005).

Propiedad	Valor
Contenido alcohólico	Máx. 99,6 % <i>volumen</i>
Conductividad eléctrica	Máx. 500 $\mu S/m$
Contenido de cobre	Máx. 0,07 mg/kg
Ion cloruro	Máx. 1,1 mg/kg
Densidad	Máx. 794 kg/m ³
Acidez total	Máx. 30 mg/L
Color	Incoloro
Apariencia	Libre de partículas suspendidas y precipitadas

2.3.2.2.2. Proceso de obtención a partir de la pulpa de café

A continuación se detallan las etapas del proceso de obtención de bioetanol a partir de la pulpa de café:

■ Pretratamiento de la pulpa

Con el fin de evitar la proliferación de microorganismos, la pulpa se seca hasta que su humedad se encuentre entre 3,0 % - 3,5 %, posteriormente esta se debe almacenar a temperatura ambiente en recipientes herméticos en un cuarto oscuro donde el sol no la afecte (Nguyen *et al.*, 2017).

■ Hidrólisis

La hidrólisis como su nombre lo dice es una reacción en la que interviene el agua, una molécula se divide al entrar en contacto con una macromolécula formando otro componente; en el proceso de obtención del bioetanol la hidrólisis puede ser ácida, alcalina o enzimática. Antes de iniciar el proceso, se coloca 1 kg de pulpa por cada 1,5 L de agua (Rodríguez, 2013).

Para la hidrólisis ácida se toma la mezcla de agua y pulpa, a esta se le adiciona H₂SO₄ concentrado (8,7 mL por cada 0,5 kg de pulpa) y Na₂SO₃ (11,25 g por cada 0,5 kg de pulpa), toda esta mezcla se coloca en una autoclave por 20 min a 121 °C. Para la hidrólisis alcalina se sigue el mismo procesamiento descrito anteriormente

solo que en lugar de H_2SO_4 se agrega NaOH al 32 % (10 mL por cada 0,5 kg de pulpa). Para el proceso enzimático se adicionó a la mezcla de agua y pulpa 0,5 mL de celulasa por cada 0,5 kg de pulpa, el pH se debe mantener entre 4,5 y 5,5 por 60 min a una temperatura de 60 °C, posteriormente la solución se queda a temperatura ambiente por 8 h (Rodríguez, 2013).

■ Fermentación

Al inóculo obtenido de la hidrólisis se le ajusta el pH a aproximadamente 5, para esto se utiliza NaOH o H_2SO_4 según corresponda, como microorganismo comúnmente se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Si la presentación a utilizar es líquida, se usa una proporción 2,5 % m/v, en caso de que esta sea seca la proporción es de 1 % m/v. El proceso se lleva a cabo a 30 °C por una duración de aproximadamente 15 h. Vale la pena recalcar que la mezcla del producto obtenido de la hidrólisis y la levadura se debe homogeneizar antes de iniciar el tiempo antes mencionado (Rodríguez, 2013).

■ Separación

Una vez terminada la fermentación, se debe separar el bioetanol del resto de sub-productos, para esto se utilizan dos columnas de destilación de platos perforados preferiblemente. Con la primer torre se separa el CO_2 y el bioetanol del resto del flujo de entrada, posteriormente con la segunda destilación se obtiene el bioetanol. Para recuperar aproximadamente un 99 % del biocombustible se usa un tiempo de residencia de 1 h y una temperatura mayor al punto de ebullición de este y menor a la del agua, como por ejemplo 85 °. Finalmente, el bioetanol se deshidrata, para esto se pasa este componente por unos tamices moleculares que se encargan de absorber el agua (Schneuer, 2010).

Vale recalcar que una vez obtenido cualquiera de los biocombustibles líquidos antes mencionados, estos se purifican con el fin de aumentar su calidad (Schneuer,

2010).

Al hablar del procesamiento u obtención de biocombustibles líquidos a gran escala, existen algunos aspectos a tomar en cuenta, estos junto con sus factores se presentan en el Cuadro 2.9. Estos aspectos se deben tomar en cuenta durante el proceso de diseño y puesta en marcha de la planta, ya que permiten que se tomen en cuenta áreas vitales para desarrollar el proyecto adecuadamente. Por ejemplo, a nivel técnico y económico estos factores permiten identificar las condiciones en las que se debe desarrollar el biocombustible así como los costos e inversión requeridos para la producción (Anwar, 2021).

Cuadro 2.9. Aspectos a tomar en cuenta al producir biocombustibles líquidos a gran escala (Anwar, 2021).

Aspecto	Factores a tomar en cuentaa
Técnicos	Disponibilidad de materia prima Propiedades físico químicas de la materia prima Tiempos de cosecha del producto del que se obtiene la biomasa Composición de las grasas extraídas Seguridad
Económicos	Inversión Costo de la mano de obra Costo del transporte de la materia prima Tiempo de retorno de la inversión
Ambientales	Permiso de uso de suelo Tratamiento de residuos Contaminación Biodiversidad
Sociales	Creación de empleos Aceptación social Desarrollo sostenible

Es importante resaltar, que los aspectos antes mencionados se deben adaptar a las condiciones del país en las que se desarrolla el proyecto, ya que por ejemplo la parte ambiental que hace referencia a permiso de suelos, contaminación y tratamiento de residuos, así como la protección de la biodiversidad, está ligada a reglamentos

específicos de cada región.

2.4. Aplicaciones de los Bicomcombustibles Líquidos

Si bien es cierto los biocombustibles líquidos tienen ventajas a nivel ambiental, una de sus principales desventajas es que en la mayoría de los casos su aplicación o uso no es igual al de los combustibles comunes.

Lo anterior debido principalmente a que las aplicaciones en las que se plantean utilizar estos bicomcombustibles fueron diseñadas para combustibles, y aunque se intenta que por ejemplo el bioetanol y el biodiésel tengan propiedades (como viscosidad, densidad, entre otras) iguales a las de la gasolina y el diésel, respectivamente, estas no lo son, lo que hace que se deban utilizar ciertas mezclas de combustible y biocombustible para no afectar negativamente, el mecanismo o dispositivo en el que se va a utilizar. A continuación, se presentan algunas aplicaciones de los biocombustibles líquidos:

■ Mezclas de combustible para motores

La mayoría de los motores de los vehículos (livianos y pesados) no están hechos para funcionar adecuadamente cuando en lugar de los combustibles comunes se utiliza un biocombustible, sin embargo, se ha determinado que se pueden utilizar mezclas de biodiésel y diésel o bioetanol y gasolina. Para el caso del biodiésel se ha determinado que los motores tienen un buen funcionamiento al utilizar mezclas de máximo 30 % biodiésel (B30) (Medina *et al.*, 2012); mientras que en el caso del bioetanol la mezcla con diésel es de máximo 10 % de este componente (E10), a esta mezcla se le conoce con E-diésel; también se puede realizar una mezcla con gasolina de máximo 15 % (E15). Es importante mencionar que los vehículos pesados son los que han resistido mayores porcentajes de biocombustible en sus mezclas; también en la actualidad los motores se pueden adaptar para utilizar mezclas con un mayor

porcentaje de biocombustible, de hecho, existen vehículos flexibles los cuales pueden utilizar mezclas de hasta 85 % biocombustible (Baselga, sf).

■ **Cogeneración-Usos térmicos**

En este caso el biocombustible líquido, usualmente biodiésel, se emplea en calderas para usos térmicos o en motores para cogeneración; una gran ventaja de esta aplicación es que, a nivel de operación de los equipos, los resultados de utilizar este biocombustible son los mismos al de un combustible común, con la excepción de que con el biodiésel las emisiones de algunos componentes como CO y CO₂ son menores (Baselga, sf).

■ **Producción de ETBE y MTBE**

El eter ter-butíl etílico (ETBE) y el Met sonert-butyl ether (MTBE) son compuestos que tienen efectos nocivos sobre los seres humanos y afectan el medio ambiente. Estos se mezclan con la gasolina para hacer que esta tenga más oxígeno, lo cual es bueno ya que aumenta la combustión. Los compuestos antes mencionados, se pueden sustituir al mezclar un biocombustible como el bioetanol con isobutilen (Baselga, sf).

■ **Limpieza de derrames de Grasas y Petroleo en el agua**

Por su composición los biocombustibles poseen una alta biodegradabilidad y son capaces de disolver el petróleo crudo y las grasas, al agregar los biocombustibles en los derrames de las sustancias antes mencionadas se forma una mezcla con una densidad mayor a la del agua, lo que hace que esta flote y se pueda recolectar, también su viscosidad es menor a la del petróleo crudo lo que permitiría bombear la mezcla (Pasqualino, 2014).

■ **Lubricantes**

Tanto el bioetanol como el biodiésel pueden ser utilizados como lubricante para motores, ambos tienen la ventaja de que puede disminuir el porcentaje de azufre lo cual

ocasiona que el proceso de lubricación sea más eficiente y a la vez se aumenta la vida útil del motor y se reducen las posibles fallas por corrosión que se puedan presentar en este. Es importante resaltar que según los estudios que se han realizado hasta el momento, la aplicación en la que se puede emplear el biodiésel o el bioetanol es en aquellas en las que se utilicen lubricantes a base de grasas o aceites y al mismo tiempo, se debe realizar una evaluación del motor en el que se va a utilizar para asegurar que cumple con las condiciones de fricción, protección, entre otras, requeridas por este (Khuong *et al.*, 2016).

■ **Remoción de Pintura y Adhesivos**

Los biocombustibles no son compatibles con algunos adhesivos y pinturas, por lo cual al entrar en contacto se da una degradación que permite remover estos productos, vale recalcar que usualmente los removedores son contaminantes y tóxicos, por lo que sustituirlos por biocombustibles es de gran ayuda para el ambiente y la salud (López, 2011).

CAPÍTULO III. MARCO LEGAL

En el presente capítulo se detallan los puntos más importantes de las principales leyes y reglamentos que aplican para el diseño y puesta en marcha de la planta productora de un biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa de café.

3.1. Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento por Parte del Ministerio de Salud N° 34728-S

Como su nombre lo indica, en este reglamento se detallan los requisitos necesarios para contar con un permiso sanitario de funcionamiento para cualquier actividad o establecimiento. Uno de los puntos más importantes de este reglamento es la clasificación de la actividad, ya que este es indispensable para obtener el permiso sanitario de funcionamiento (PSF). En el artículo 4 se detallan los criterios que se deben utilizar para clasificar la actividad que se realiza en la planta, una vez que se tenga la información de estos criterios se recurre al artículo 5 en el cual se define la clasificación de la planta según que tan riesgosa es la actividad. Finalmente, a partir de la información recopilado de los artículos anteriores, se recurre al artículo 6 en el cual se determina el código CIUU de la actividad, el cual depende el grupo de riesgo (D 34728-S, 2012), a continuación se detalla la parte más importante de los artículos antes mencionados.

Artículo 4. Criterios de clasificación:

a) Para determinar la clasificación de riesgo de las actividades agrícolas, industriales, comerciales o de servicios, se consideran los siguientes aspectos:

1. La naturaleza de la actividad que realizan las actividades o establecimientos, sean éstos agrícolas, industriales, comerciales o de servicios.
2. La clasificación del establecimiento que señala el Reglamento Sobre Higiene Industrial.

3. La cantidad de personas, sean éstas trabajadores, espectadores, usuarios o clientes que los utilizan.
4. La extensión o área física que requieren.
5. Las materias primas, productos intermedios, productos finales.
6. La maquinaria, equipo y procesos utilizados en cada actividad.
7. Los desechos generados, efectos o agentes que puedan provocar contaminación de aire, suelo y agua y que pueden en mayor o menor grado afectar la salud y el ambiente humano.

A cada uno de estos indicadores se les asignará un puntaje según su condición en el establecimiento, lo que permitirá la clasificación del mismo dentro de una categoría de riesgo. En el Anexo N° 2 de dicho reglamento, se detalla el puntaje correspondiente a las diferentes condiciones de los indicadores.

Artículo 5. Clasificación:

Para efecto de la obtención del PSF, los establecimientos o actividades agrícolas, industriales, comerciales o de servicios, definidas en este Reglamento se clasifican según su riesgo sanitario y ambiental en tres categorías:

Grupo A (RIESGO ALTO): Establecimientos o actividades de riesgo alto: aquellas actividades o establecimientos que por sus características representan o pueden representar un riesgo potencial en forma permanente a la salud de las personas o al ambiente.

Grupo B (RIESGO MODERADO): Establecimientos o actividades de riesgo moderado: aquellas actividades o establecimientos que por sus características representan un peligro potencial moderado para la salud de las personas o el ambiente.

Grupo C (RIESGO BAJO): Establecimientos o actividades de riesgo bajo: aquellas actividades o establecimientos que por sus características, no representan una amenaza significativa a la salud de las personas y presentan bajo impacto al ambiente.

El anterior puntaje según lo dispuesto en el Anexo 2, del reglamento.

Artículo 6. Tabla de Clasificación:

Para efectos del artículo anterior, el Ministerio de Salud establece en el Anexo N°. 1 del presente Reglamento, la Tabla de Clasificación de Actividades o establecimientos según riesgo sanitario, la cual utiliza como referencia el Código CIU, e incluye la clasificación por nivel de riesgo sanitario y ambiental teniendo como objetivo fortalecer los procesos de ejecución, desarrollo, evaluación y control de las actividades que requieren PSF; y garantizar el cumplimiento de la legislación vigente.

En el artículo 8, se detallan las condiciones previas con las que debe contar la planta para iniciar con el trámite de solicitud del permiso de funcionamiento y en el artículo 9 se detallan los requisitos para optar por este permiso. Ambos artículos son de gran importancia porque incluyen factores técnicos y financieros que se deben de tomar en cuenta durante el diseño de la planta, a continuación se detalla la parte más importante de estos (D 34728-S, 2012).

Artículo 8. Condiciones previas:

Todas las personas interesadas, independientemente del grupo de riesgo al que su actividad o establecimiento pertenezca, podrán efectuar o iniciar trámites de solicitud de PSF. por primera vez, cuando su actividad o establecimiento cumpla o cuente con la aprobación de las siguientes condiciones, según corresponda:

1. Resolución Municipal de Ubicación emitida por autoridad competente del gobierno local.
2. Visado de planos del proyecto, cuando medie alguna construcción nueva, modificación o ampliación.
3. Viabilidad (Licencia) ambiental, a excepción de los establecimientos o actividades que no están contemplados en la lista taxativa definida en los Anexos

1 y 2 del Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), oficializado mediante el Decreto N° 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC, del 24 de mayo del 2004 y sus reformas.

4. Constancia de que cuenta con la disponibilidad de Alcantarillado Sanitario del ente administrador del alcantarillado sanitario correspondiente, cuando el establecimiento o actividad vierta aguas residuales directamente a la red del alcantarillado sanitario, a excepción de las actividades exoneradas según el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. (Así reformado el inciso anterior por el artículo 6 del decreto ejecutivo N° 36304 del 1° de julio de 2010)
5. Permiso de vertido otorgado por el MINAE, si corresponde, según Decreto Ejecutivo N° 34431-MINAE-S de 4 de marzo del 2008 Reglamento del Canon Ambiental por Vertidos.
6. Permiso de ubicación y funcionamiento para calderas otorgado por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, cuando la actividad o establecimiento utilice calderas.
7. Los que cuenten con equipos emisores de radiaciones ionizantes o que utilicen material natural o artificialmente radiactivo deben contar para su funcionamiento con una autorización previa otorgada por el Ministerio, para el funcionamiento del equipo y uso del material radioactivo.
8. Encontrarse al día en el pago de las cuotas obrero patronales según artículo 74 de la Ley Constitutiva de la Caja Costarricense de Seguro Social.
9. Servicio profesional o regencia, cuando alguna ley especial lo requiere según el tipo de actividad o establecimiento.
10. Incorporación del responsable técnico del establecimiento ante el colegio profesional respectivo.
11. Autorización y registro del establecimiento extendido por el colegio profesional correspondiente cuando así lo establezca la Ley General de Salud.

Artículo 9. Requisitos para la solicitud del trámite:

La persona interesada en el trámite de un PSF. por primera vez, independientemente del grupo de riesgo al que su actividad o establecimiento pertenezca, debe presentar los siguientes documentos ante el área rectora de salud correspondiente o mediante el sistema informático o digital que se habilite para tales efectos:

1. Formulario unificado de solicitud de PSF.
2. Declaración Jurada, según Anexo N° 4, la cual debe indicar que el establecimiento cumple con las condiciones necesarias para la actividad que se plantea realizar, así como las leyes o reglamentos asociadas a esta.
3. Copia del comprobante de pago de servicios de conformidad con el artículo 11 de este reglamento.
4. Copia de la cédula de identidad. En caso de persona jurídica debe aportar certificación registral o notarial de la personería y cédula jurídicas vigentes.
5. Si se trata de un trámite de un establecimiento de salud y afín se deberá aportar además un listado del personal profesional y técnico en ciencias de la salud y afines a la salud que laboran o están autorizadas para laborar en el establecimiento, detallando nombre completo, cédula y profesión.

Este reglamento y los trámites antes mencionados, son los más importantes, ya que de estos depende que la planta pueda ser instalada en el país, por lo que se puede decir que el permiso de funcionamiento por parte del Ministerio de Salud, es el más importante en la instalación y puesta en marcha del proyecto. A su vez, es de suma importancia tomar en cuenta el reglamento que está directamente relacionado con la actividad que se va a realizar, por lo que a continuación se mencionan los puntos más importantes del Reglamento de Biocombustibles Líquidos y sus Mezclas.

3.2. Reglamento de Biocombustibles Líquidos y sus Mezclas N° 40050 -MINAE-MAG

Este reglamento busca desarrollar una industria de biocombustibles en Costa Rica y crear un régimen equitativo entre la producción, el transporte, el almacenamiento, la distribución, y la comercialización tanto mayorista como al detalle (D 40050, 2016). El artículo 10 es de gran importancia ya que como se muestra a continuación, indica los reglamentos que deben cumplir los biocombustibles para ser comercializados por RECOPE .

Artículo 10.- RECOPE

A RECOPE le corresponderá la mezcla de combustibles fósiles con biocombustibles de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 7356 Monopolio en favor del Estado para la importación, refinación y distribución al mayoreo de petróleo crudo, sus combustibles derivados, asfaltos y naftas y la Ley N° 7593 Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. RECOPE ejecutará las tareas, actividades e inversiones necesarias para este fin.

RECOPE deberá adquirir los biocombustibles que cumplan con los Reglamentos Técnicos Centroamericanos RTCA 75.02.46:07 (Etanol carburante anhidro y etanol carburante anhidro desnaturalizado y sus mezclas con gasolina) y RTCA 75.02.43:07 (Biodiesel (B-100) y sus mezclas con aceite combustible diésel) o los reglamentos técnicos nacionales que apliquen. RECOPE tomará las provisiones necesarias para el suministro de los combustibles mezclados.

Por su parte los artículos 12, 13, 14 y 15 que se muestran a continuación, se deben de tomar en cuenta al comercializar el producto, ya que indica la institución que: definen el precio de compra de la biomasa, el de venta del biocombustible así como la institución que lo puede vender y la proporción o mezcla que se puede utilizar.

Artículo 12.- Mezcla de los biocombustibles

La mezcla de los combustibles fósiles con los biocombustibles para su comercialización mayorista o a granel será realizada únicamente por RECOPE. Las proporciones entre biocombustibles y combustibles fósiles en las mezclas serán establecidas por el MINAE.

Artículo 13.- Venta de combustibles fósiles mezclados

RECOPE será la encargada de la venta de los combustibles fósiles mezclados con biocombustibles a los distribuidores autorizados para su comercialización y a sus clientes para autoconsumo.

Artículo 14- Precio de las materias primas agrícolas

Los precios de venta de la biomasa al productor de biocombustibles no podrán ser inferiores a los establecidos por la Ley de Fomento a la Producción Agropecuaria FODEA y Orgánica del MAG. Ley N°7064.

Artículo 15- Precios de venta del combustible fósil mezclado

El precio de venta del combustible fósil mezclado en los planteles de RECOPE y al usuario final será fijado por la ARESEP. conforme a lo establecido en la Ley 7593, Ley de la ARESEP.

3.3. Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.43:07 Biocombustibles. Biodisel (B100) y sus mezclas con aceite combustible diesel. Especificaciones

Como se detalló en el apartado anterior, si RECOPE adquiere biodiésel este debe cumplir con lo indicado en el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.43:07, anteriormente se detallaron los parámetros que debe cumplir este biocombustible, sin embargo, existe otra sección de este reglamento que se debe tomar en cuenta, como lo es la de uso y relación de mezcla, ya que detalla algunas normas y especificaciones con las que debe cumplir el biodiésel según la fracción de mezcla

utilizada, a continuación se detalla lo indicado en esta sección:

Uso de B100 y relación de mezcla

Cada país miembro de la Región Centroamericana, tendrá la potestad de definir si utiliza el biodiésel (B100) en motores diésel diseñados o adaptados para utilizarlo en forma pura, como componente de mezcla con diésel o ambos.

Sin embargo, el producto de la relación de mezcla de hasta un 0,05 de fracción de volumen (5 % volumen) de biodiésel (B100) con diésel, debe cumplir con las especificaciones del RTCA 75.02.17:06.

Mezclas con porcentajes superiores al 0,05 de fracción de volumen (5 % volumen) de biodiésel (B100) con aceite combustible diésel, deben cumplir con las especificaciones establecidas por el Ente Nacional Competente de cada país miembro de la Región Centroamericana.

3.4. Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.46:07 Biocombustibles. Etanol Carburante Anhidro y el Etanol Carburante Anhidro Desnaturalizado. Especificaciones

Como se detalló en el apartado anterior, si RECOPE adquiere bioetanol este debe cumplir con lo indicado en el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.46:07, anteriormente se detallaron los parámetros que debe cumplir este biocombustible, sin embargo, existe otra sección de este reglamento que se debe tomar en cuenta, como lo es la de uso y relación de mezcla, ya que detalla algunas normas y especificaciones con las que debe cumplir el bioetanol según la fracción de mezcla utilizada, a continuación se detalla lo indicado en esta sección:

Uso y relación de mezclas

Cada estado parte de la Unión Aduanera Centroamericana, tendrá la potestad de definir si utiliza etanol carburante anhidro, etanol carburante anhidro desnaturalizado o ambos.

Cada estado parte de la Unión Aduanera Centroamericana, tendrá la potestad de definir si utiliza el etanol en forma pura en motores diseñados o adaptados para utilizarlo, como componente de mezcla con gasolina en motores de ignición por chispa, o ambos.

El producto de la relación de mezcla de hasta un 0,10 de fracción de volumen (10% volumen) de etanol carburante anhidro con gasolina, debe cumplir con las especificaciones del RTCA correspondiente a la gasolina regular o gasolina superior.

Mezclas con porcentajes superiores al 0,10 de fracción de volumen (10% volumen) de etanol carburante anhidro con gasolinas, deben cumplir con las especificaciones establecidas por el ente nacional competente de cada estado parte de la Unión Aduanera Centroamericana.

Un punto muy importante al evaluar el proyecto, es la generación y reuso de aguas residuales, ya que dependiendo de la composición de estas, así será el tratamiento que se le deberá dar. A continuación se detallan algunos puntos del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601.

3.5. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601

Este reglamento busca proteger la salud pública y del ambiente, manteniendo una gestión adecuada de las aguas residuales. De este reglamento los puntos de mayor importancia para el diseño y puesta en marcha de la planta son los parámetros que se deben cumplir para el vertido de las aguas residuales, en el Cuadro 3.1 se detallan

estos datos. Al diseñar el proceso se estimará la cantidad de aguas residuales que se generen y las posibles condiciones de estas, lo anterior con el fin de determinar el correcto tratamiento que se le deban dar, este tema se analizará con mayor detalle en el Marco Ambiental del Capítulo VI.

Cuadro 3.1. Límites máximos permisibles para el vertido de aguas residuales en alcantarillados sanitarios y cuerpos receptores (D 33601, 2010).

Parámetro	Límite Máximo en Alcantarillado Sanitario	Límite Máximo en Cuerpo Receptor
DBO _{5,20}	300 mg/L	50 mg/L
DQO	750 mg/L	150 mg/L
Sólidos suspendidos	300 mg/L	50 mg/L
Sólidos sedimentables	5 mL/L	1 mL/L
Grasas/aceites	50 mg/L	30 mg/L
Potencial hidrógeno	6 a 9	5 a 9
Temperatura	$15^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$	$15^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$
Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L	5 mg/L

Vale recalcar que algunas actividades requieren incluir algunos parámetros distintos a los antes mencionados, por esto es indispensable realizar una revisión del artículo 23 y también se tienen algunos parámetros adicionales que pueden ser consultados en los artículos 19 y 21; en el artículo 30 se presentan los parámetros (Nematodos intestinales y coliformes fecales) según el tipo de reuso que se le quiera dar al agua (D 33601, 2010).

La construcción de la planta es un punto muy importante a tomar en cuenta, en caso de que se vaya a construir la infraestructura de esta o modificar una preexistente. Es por esto que a continuación se detallan algunos puntos importantes del Reglamento de Construcción.

3.6. Reglamento de Construcción

Este reglamento fija las normas para la planificación, diseño y construcción de la planta uno de los puntos más importantes son los permisos de construcción los cuales son otorgados por las municipalidades (y otros organismos competentes: Ministerio de Salud, INVU). Un artículo de suma importancia que hace referencia a este permiso es el II.1, ya que define el profesional responsable que puede solicitar este permiso. Es importante mencionar, que reglamento aplicaría en el caso de que se decida construir o realizar una modificación a la planta.

Artículo II.1.-Profesionales responsables

Para solicitar permisos de construcción y para los demás efectos de este Reglamento, se considera como Profesionales Responsables a los ingenieros o arquitectos activos incorporados al Colegio Federado, tal como lo indica la Ley de Construcciones, con las facultades y las responsabilidades señaladas en ella, en el Reglamento Interior General, y en el Reglamento de Ética Profesional del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.

Para la construcción de la planta es vital tomar en cuenta el Capítulo X: Establecimientos industriales, ya que como su nombre lo dice indica las características constructivas y de ubicación que se deben de tomar en cuenta al diseñar la planta, por lo cual cuando posteriormente se determine el diseño y la distribución de la planta, se tomarán en cuenta todos los artículos de este capítulo tanto en la parte técnica como financiera (INVU, 2012).

CAPÍTULO IV. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se detallan los factores tomados en cuenta para estimar el volumen de biocombustible líquido a producir, como parte de esta estimación se seleccionará el biocombustible a producir y su aplicación. Vale recalcar que con el fin de conocer la opinión de los consumidores se realizó una encuesta, los detalles y resultados de esta se muestran en una sección de este capítulo.

4.1. Posibles Usos y Compradores de Biocombustibles Líquidos

Como se detalló anteriormente, algunos de los posibles usos o aplicaciones de los biocombustibles líquidos son:

- Combustibles para motores
- Cogeneración - Usos térmicos
- Producción de ETBE
- Limpieza de derrames de grasas y petróleo en el agua
- Lubricante
- Remoción de pinturas y adhesivos

Algo muy importante al hablar de las posibles aplicaciones de los biocombustibles líquidos, es tomar en cuenta si ese uso es viable o tiene un mercado en el país; por esto en el Cuadro 4.1 se detallan algunas ventajas y desventajas de cada uno de los posibles usos de los biocombustibles líquidos en Costa Rica.

Cuadro 4.1. Ventajas y desventajas de cada uno de los posibles usos de los biocombustibles líquidos en Costa Rica.

Uso	Ventajas	Deventajas
Combustible para Motores	<p>A partir de indagaciones previas, existe un mercado que compraría el biocombustible y además se cuenta con estudios detallados del proceso a nivel técnico.</p> <p>Utilizar biocombustibles en motores genera menos emisiones de CO y CO₂, si se compara con un combustible, lo cual disminuye la huella de carbono (Kamil <i>et al.</i>, 2019).</p>	<p>Por legislación no se puede vender como mezcla con un combustible (solo RECOPE lo puede hacer), por lo que el cliente es el que debe hacer la mezcla y esto podría crear cierto rechazo por parte de los posibles compradores.</p>
Cogeneración y Uso térmico	<p>A nivel de operación de los equipos, los resultados de utilizar biocombustible líquido son los mismos al de un combustible común (Baselga, sf).</p>	<p>A nivel nacional, no se cuenta con una base de datos actualizada que indique cuantos equipos de cogeneración y uso térmico utilizan un combustible líquido, por lo que es complicado estimar un potencial mercado para el biocombustible líquido a producir.</p>
Producción de ETBE	<p>Puede sustituir sustancias nocivas para la salud como el MTBE y el plomo (Baselga, sf).</p>	<p>El ETBE se produce mezclando el isobutileno con el biocombustible líquido, sin embargo, el país no cuenta con una empresa que produzca ETBE por lo que no se tendría un mercado al cual venderle el producto.</p>
Limpieza de derrames de grasas y petróleo en el agua	<p>Reduce la contaminación en los diferentes mantos acuíferos (Pasqualino, 2014).</p>	<p>A nivel nacional, no se tiene una legislación o normativa que indique que se puede utilizar el biocombustible para la limpieza de estos derrames y por ende no se tiene información de un posible comprador.</p>

Cuadro 4.1. Continuación (Ventajas y desventajas de cada uno de los posibles usos de los biocombustibles líquidos en Costa Rica).

Uso	Ventajas	Deventajas
Lubricante	Hacen que la lubricación sea más eficiente, es decir que disminuye la fricción o roce de las partes involucradas (Khuong <i>et al.</i> , 2016).	Buscando en diferentes fuentes, se indica que para utilizar el biocombustible líquido como lubricante, se debe tener un estudio que indique con cuales materiales es compatible y para el caso de un biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa de café no se tiene este estudio.
Remoción de pinturas y adhesivos	Puede sustituir los removedores comunes, los cuales usualmente son contaminantes y tóxicos (López, 2011).	Buscando en diferentes fuentes, se indica que para utilizar el biocombustible líquido en la remoción de pinturas y adhesivos, se debe tener un estudio que indique con cuales materiales es compatible y para el caso de un biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa de café no se tiene este estudio.

Según la información presentada en el cuadro anterior, se puede resaltar que una de las principales desventajas de algunas aplicaciones es que no cuentan con bases de datos o estudios que detallen a fondo el proceso de obtención de los distintos productos; y al mismo tiempo no se tienen normativas o reglamentos que regulen el uso de estos. Lo que hace que tomarlas en cuenta como posible aplicación sea más complicado desde un punto de vista técnico y de mercado.

4.2. Exportaciones e Importaciones de Combustibles y Biocombustibles Líquidos en Costa Rica

4.2.1. Combustibles

Revisando varias bases de datos como la de PROCOMER y RECOPE, se determinó que la que brinda información más detallada de las importaciones de combus-

tible en Costa Rica es la de RECOPE. En la Figura 4.1, se presenta la importación de diésel y de gasolina regular y super de los últimos años (2010 a 2020); vale recalcar que según lo indicado por RECOPE, la gasolina regular en su mayoría es gasolina RON 91 y la súper gasolina RON 95 por lo que los datos de la figura antes mencionada corresponden a estas. En cuanto a las exportaciones, Costa Rica no cuenta con fuentes de hidrocarburos como el petróleo por lo que no se producen combustibles y por ende no se exportan.

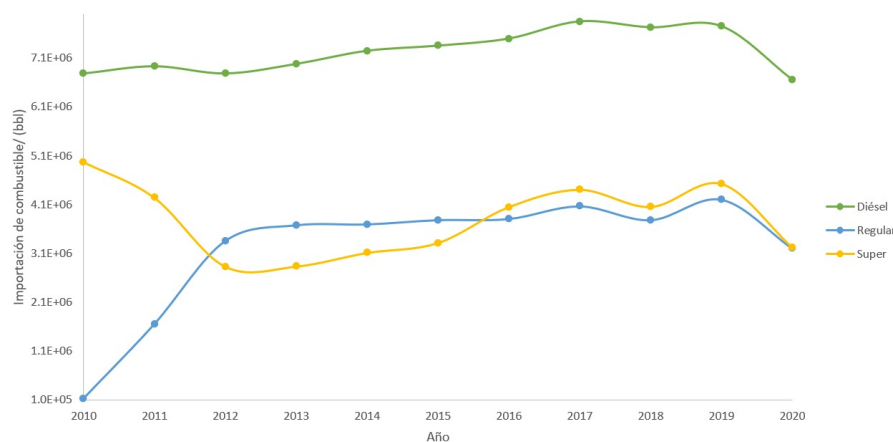


Figura 4.1. Importación de combustible en Costa Rica del año 2010 al 2020 (RECOPE, 2020a).

Un punto importante a rescatar de la imagen anterior es que el diésel es el combustible que más se importa en el país y que la cantidad importada tiende a ser constante a lo largo del tiempo, al compararlo con la gasolina super y regular. Esto al mismo tiempo quiere decir que de los tres combustibles en cuestión, el diésel es el que tiene un mayor consumo en el país.

4.2.2. Biocombustibles

En el Cuadro 4.2, se detallan las exportaciones e importaciones de biodiésel en Costa Rica, la importación proviene de Canadá, Holanda, Estados Unidos y España; y el país exporta a España y Panamá. Como se puede observar el aumento de exportación e importación para el 2020 fue considerable si se compara con los otros

años (PROCOMER, 2020), este aumento puede estar relacionado con las distintas iniciativas del Plan Nacional de Desarrollo 2019 – 2022 que buscan impulsar la producción y utilización de biocombustibles, sin embargo, no hay una fuente confiable que corrobore esta información.

Cuadro 4.2. Exportación e importaciones de biodiésel y sus mezclas en Costa Rica, para los últimos años (PROCOMER, 2020).

Año	Exportaciones		Importaciones	
	Cantidad (Toneladas)	Monto (\$)	Cantidad (Toneladas)	Monto (\$)
2017	1,0	1700	0,1	3100
2019	1,0	1700	20,7	6 900
2020	14,1	17 600	507,4	177 400

Como se puede observar en el cuadro anterior, tanto la importación como exportación de biodiésel en Costa Rica ha ido en aumento. Lo cuál es un indicativo de que en el país ya se comercializa este biocombustible y por ende se tiene un grupo de potenciales compradores y al mismo tiempo se podría evaluar a futura la exportación del biodiésel.

En el caso del etanol se tiene un reporte de que RECOPE en el 2013 importó 283 barriles (\$38 264) y en el 2014, 1 712 barriles (\$231 520), en los años posteriores no se ha importado esta sustancia. Cabe recalcar que Costa Rica no ha podido implementar una mezcla de gasolina etanol por lo que no se consume este componente mas que en automóviles de prueba; el Plan Nacional de Descarbonización 2018 – 2050, establece una meta de mezcla de 8 % a 10 % de etanol en las gasolinas para el 2022, esta misma meta se menciona en el Plan Nacional de Desarrollo 2019 – 2022, sin embargo, en estos se detalla que el etanol podría ser de origen nacional o internacional (RECOPE, 2020b).

Es importante mencionar que en el caso del etanol PROCOMER indica la cantidad que se exporta de este (2 361 297 toneladas para el 2020), sin embargo no detalla si es comburente, de uso médico o incluso para consumo humano. Un punto

importante a evaluar al hablar de la producción de un biocombustible, es la disponibilidad de la materia prima; por esto a continuación se detalla la disponibilidad de pulpa de café en Costa Rica.

4.3. Disponibilidad de Pulpa de Café

Para estimar la disponibilidad de pulpa de café, se tomó la producción de los últimos años y se multiplicó por 40 %, ya que como se mencionó anteriormente la pulpa corresponde a aproximadamente el 41,6 % del café en fruto, estos resultados se observan en el Cuadro 4.3. Como se puede observar en el cuadro antes mencionado, en promedio al año se generan 210 120 toneladas de pulpa. Un punto a tomar en cuenta son los proveedores de esta, los cuales son los productores de café. Es importante mencionar, que para determinar de cual región cafetalera se adquiere la pulpa se realiza un balance entre la cercanía entre los compradores, la planta y las distintas zonas cafetaleras.

Cuadro 4.3. Generación promedio de pulpa de café (elaboración propia a partir de información brindada por (ICAFFE, 2021)).

Año	Toneladas de Café	Toneladas de Pulpa
2010	542 648,26	217 059,31
2011	614 804,94	245 921,98
2012	579 350,18	231 740,07
2013	502 233,46	200 893,38
2014	489 667,45	195 866,98
2015	576 230,89	230 492,36
2016	474 806,74	189 922,70
2017	520 627,24	208 250,89
2018	443 155,95	177 262,38
2019	509 498,70	203 799,48
Promedio	525 302,38	210 120,95

Ya se mencionaron las exportaciones e importaciones de combustibles y biocombustibles en el país, también se determinó la disponibilidad de pulpa de café y las potenciales aplicaciones de los biocombustibles obtenidos a partir de esta. A conti-

nuación se detallan los precios del mercado tanto de los combustibles como de los biocombustibles, estos son de gran importancia ya que funcionan como referencia para determinar un potencial precio de venta.

4.4. Precios del Mercado de los Combustibles y Biocombustibles Líquidos

Según el Reglamento de Biocombustibles Líquidos y sus Mezclas N° 40050 - MINAE-MAG en su artículo 15, los precios de venta de los combustibles y mezclas de estos con biocombustibles son fijados por la ARESEP. En el Cuadro 4.4 se presenta el precio de venta en las estaciones de servicio y el de los clientes directos que lo adquieren en las terminales de RECOPE, a abril del 2022.

Cuadro 4.4. Precio de los combustibles líquidos en Costa Rica (ARESEP, 2022).

Combustible	Precio en estaciones de servicio
Diésel	¢845/L
Gasolina Regular (RON 91)	¢889/L
Gasolina Super (RON 95)	¢909/L

En el caso de los biocombustibles, se toman como referencia los precios de algunas empresas nacionales, para el caso del biodiésel, la empresa Energías Biodegradables vende una garrafa de 19 L en ¢12 350, es decir que cada litro tiene un costo de ¢650 (Energías Biodegradables, 2021). Por su parte, para el bioetanol se toma como base el costo del etanol importado por RECOPE en el 2014, en el cual un litro tenía un costo aproximado de ¢530 (RECOPE, 2020b), tomando en cuenta la inflación desde el año antes mencionado hasta Junio del 2022 esta es de un 40 % (INEGI, 2022). Por lo que el precio actual sería de aproximadamente de ¢742, vale recalcar que este es el precio que pagaría RECOPE, por lo que el consumidor final pagaría un precio mayor.

En el caso de la Fabrica Nacional de Licores (FANAL) el precio de venta de un litro de etanol es de aproximadamente ¢5 000, vale recalcar que este se vende para

uso antiséptico y no para combustión (Fanal, 2022). Un factor importante que está ligado con los precios del mercado, son los distintos productores o vendedores de combustibles y biocombustibles, ya que estos son los principales competidores del proyecto en cuestión. A continuación se detallan algunos de los competidores de este proyecto.

4.5. Principales Competidores

Para determinar los principales competidores de la planta, se toman en cuenta las empresas nacionales que producen biodiésel y bioetanol. En el caso del biodiésel, una de las empresas más consolidadas es Energías Biodegradables S.A. la cual inició operaciones en el 2006 y se ubica en Cartago. Cuenta con una capacidad de producción de aproximadamente 229 578,5 barriles (bbl) al año (Salas, 2013). Para el 2014 contaban con una producción diaria de 10 000 L a 15 000 L diarios; para el año mencionado la disponibilidad de materia prima, era la que limitaba el aumento del volumen de producción de esta empresa, ya que ellos generan el biodiésel a partir de aceites recuperados que usualmente adquieren de restaurantes (Vindas, 2014).

Biocombustible H&M, es una empresa ubicada en San Carlos que se encarga de la producción de materiales de construcción, sin embargo, generan biodiésel para autoconsumo en su maquinaria de construcción. Al 2013 su capacidad de producción era de aproximadamente 22 957,8 bbl/año y una producción de 4 528,7 bbl/año a 4 906,1 bbl/año, su materia prima son los aceites usados y las grasas animales (Salas, 2013).

También en el 2013 CoopeVictoria R.L., ubicada en Grecia poseía una capacidad de producción anual de aproximadamente 1 132,2 bbl de biodiésel, los cuales se obtienen a partir de aceites usados (Salas, 2013). Otros productores de biodiésel son Diesello Verde S.A., Cia Coto 54 S. A., Biodiesel de Andalucía y BIDA (ubicada en Limón), estas están ligadas a empresas que utilizan maquinaria agrícola y de construcción y producen para el autoconsumo (MINAE y MAG, 2008). Como se

mencionó, los volúmenes de producción de las distintas productoras de biodiésel no son las más actualizadas y esto principalmente se debe a que son datos confidenciales que usualmente las empresas no revelan.

Las empresas CATSA y Taboga (ubicadas en Guanacaste), la planta de Deshidratación y Rectificación de LAICA situada en Punta Morales y la Fábrica Nacional de Licores, son las que se encargan de la producción de etanol en Costa Rica. Sin embargo, el etanol que estas producen, actualmente no es utilizado para la combustión, si no que es etanol que es utilizado para el consumo humano en licores y para productos antisépticos y también se tiene una cantidad que se utiliza para la exportación. Vale recalcar que este etanol puede ser utilizado como carburante, sin embargo, en el país nunca se le ha dado este uso. Otra institución que se debe tomar competencia de los biocombustibles es RECOPE, ya que esta es la que se encarga de la distribución de combustibles en Costa Rica y estos son la principal competencia de los biocombustibles (Salas, 2013).

Un punto muy importante a evaluar es la aceptación que podría tener el producto en el mercado y por ende sus potenciales compradores. Es por esto, que a continuación se presentan los resultados de una encuesta realizada.

4.6. Encuesta

Una de las posibles aplicaciones de los biocombustibles líquidos es como combustible de vehículos livianos y pesados, es por esto que la encuesta realizada busca conocer el grado de aceptación que recibirían estos biocombustibles en la población costarricense.

4.6.1. Metodología

Sabiendo que la producción y comercialización de biocombustibles líquidos es relativamente nueva en Costa Rica y que, en el caso de este proyecto, para el proceso de obtención se deben almacenar grandes cantidades de pulpa de café, y que por ende tener una gran producción puede ser algo complicado, se decidió no abarcar

una población muy grande.

Para realizar la encuesta se seleccionó el medio electrónico Microsoft Forms, el cual se compartió por distintas redes sociales, es importante resaltar que si bien es cierto estas redes permiten recolectar la información un poco más rápido, también es complicado llegar a grandes poblaciones ya que no todas las personas están interesadas en participar en encuestas, y al mismo tiempo uno de los puntos más importantes es que se requiere que las personas encuestadas cuenten con un vehículo.

Para la encuesta como tal se seleccionó un nivel de confianza de 90 %, un margen de error del 7 %, y por la forma en la que se realiza la encuesta, donde no se tenía suficiente información para asegurar que no se tuviera cierto nivel de sesgo, es decir que no se contaba con un valor exacto de la probabilidad de que se cumpliera lo que indica cada persona encuestada, se selecciona una probabilidad de que se cumpla o no lo afirmado por cada encuestado de un 50 %. Tomando en cuenta lo anterior, se procede a determinar la cantidad mínima de personas a encuestar que estadísticamente sean representativas de las condiciones de la encuesta y se determina que la esta cantidad debe ser de al menos 138 personas, esto sin importar el tamaño de población que se quiera abastecer.

La encuesta se realizó del 1 de Junio del 2021 al 11 de Junio del 2021, esta se difundió por medio de distintas redes sociales como Facebook e Instagram. En total se formularon diez preguntas (la encuesta completa se puede apreciar en el Apéndice A), dependiendo de las respuestas se desplegaba una pregunta u otra. La encuesta abarcó preguntas que iban desde la edad y región socioeconómica de la persona encuestada hasta el consumo de combustible mensual (si la persona contaba con vehículo) y la posibilidad de cambiar este por un biocombustible o mezcla de este con combustible.

4.6.2. Resultados

En total 539 personas respondieron la encuesta. Una de las preguntas más importantes de la encuesta era si la persona poseía algún tipo de vehículo, el 32,1 % (173 personas) indicó que sí y por ende los posteriores resultados hacen referencia a estas personas. Por otro lado, se consultó la región socioeconómica a la que pertenecen las personas, ya que de eso dependen factores como la ubicación de la planta y el lugar de procedencia de la materia prima; la Figura 4.2 detalla la región socioeconómica de las 173 personas encuestadas. Como se muestra en la figura mencionada, la mayoría de la población (79,8 %) pertenece a la región central; no está demás mencionar que puede existir la posibilidad de que la encuesta haya llegado en su mayoría a las personas de la región central, ya que estas tienen un mejor acceso a los medios electrónicos y al mismo tiempo las personas que compartieron la encuesta tienen una mayoría de amigos que se ubican en esta zona. Es decir que puede existir cierto nivel de sesgo en estos resultados, sin embargo, para efectos del proyecto se trabaja con la región central como público meta. No está demás mencionar que en un futuro se podría realizar una evaluación más detallada de las otras regiones con el fin de determinar si estas pueden representar una oportunidad para el mercado de los biocombustibles líquidos.

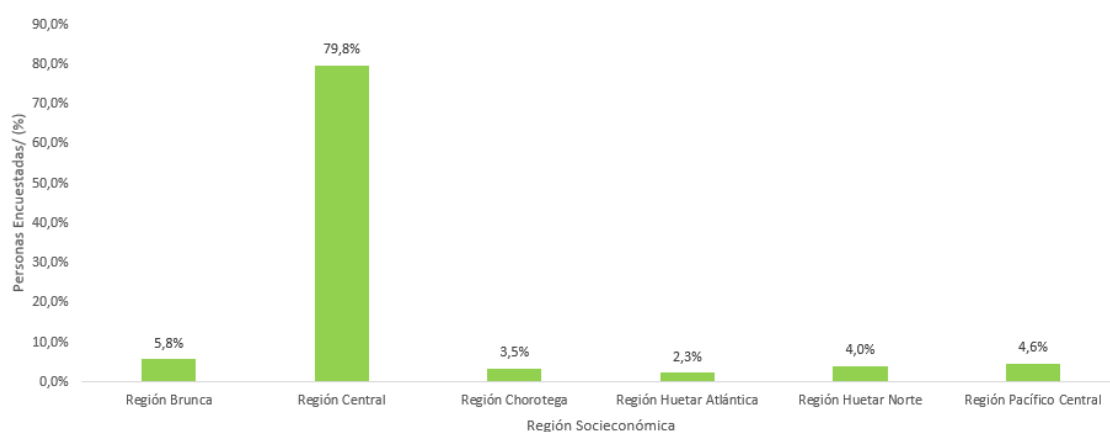


Figura 4.2. Región socioeconómica en la que habitan las personas encuestadas (Elaboración Propia).

Un dato importante a considerar es el tipo de vehículo, como se puede observar en la Figura 4.3, de las 173 personas encuestadas, un 83,2 % posee un automóvil y el 16,8 % restante, cuenta con distintos vehículos pesados. Si bien es cierto que los vehículos pesados son una minoría, si se comparan con los automóviles, no se deben descartar como potenciales compradores, ya que como se mencionó anteriormente estos resisten mezclas con un mayor porcentaje de biocombustible, y además su motor es más grande por lo que su consumo sería mayor.

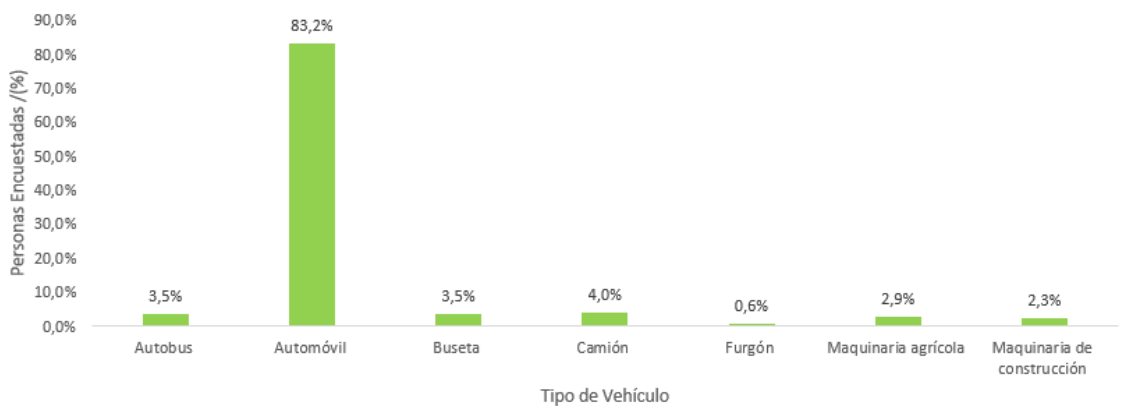


Figura 4.3. Tipo de vehículo que poseen las personas encuestadas (Elaboración Propia).

También se consultó el tipo de combustible que utilizaba cada tipo de vehículo y como se muestra en la Figura 4.4, el combustible más utilizado es la gasolina super, un punto a resaltar es que de las personas que respondieron la encuesta, solo los automóviles utilizan esta gasolina. En el caso del diésel, no tiene el mayor porcentaje de uso, sin embargo, un punto a favor para este combustible es que lo utilizan la mayoría de los tipos de vehículos, es decir que hay vehículos pesados y livianos que pueden utilizar diésel.

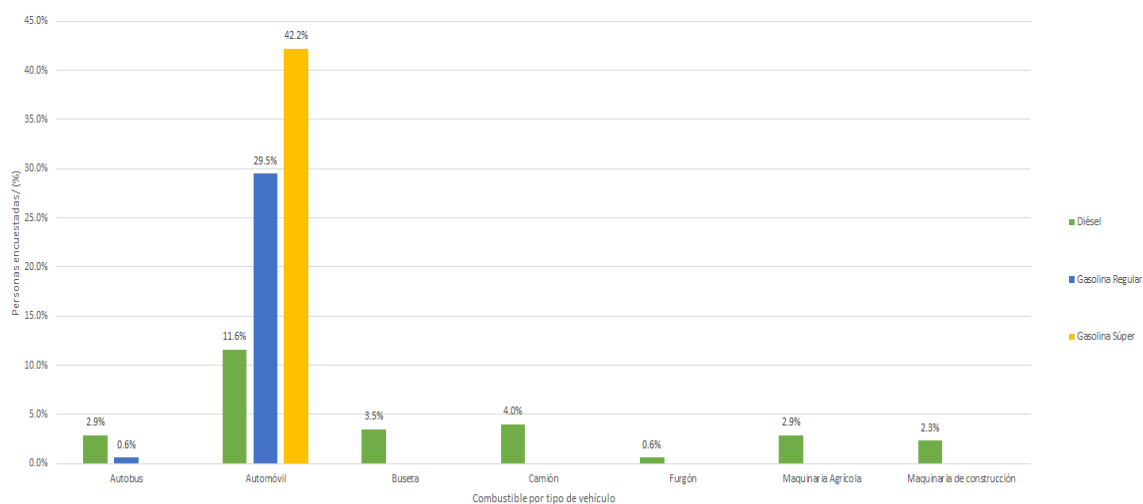


Figura 4.4. Combustible utilizado en los distintos tipos vehículos de las personas encuestadas (Elaboración Propia).

Se consultó el monto mensual que cada persona destina al consumo de combustible, como se puede observar en la Figura 4.5 los porcentajes son muy variados para los montos mencionados. Se tiene una mayoría (34,7%) que gasta entre $\text{C}\$30\,000$ y $\text{C}\$15\,000$ y una minoría de 5,8% que gasta menos de $\text{C}\$15\,000$. Este monto es importante, ya que como se observará más adelante, a partir de este se determina el consumo de las personas encuestadas.

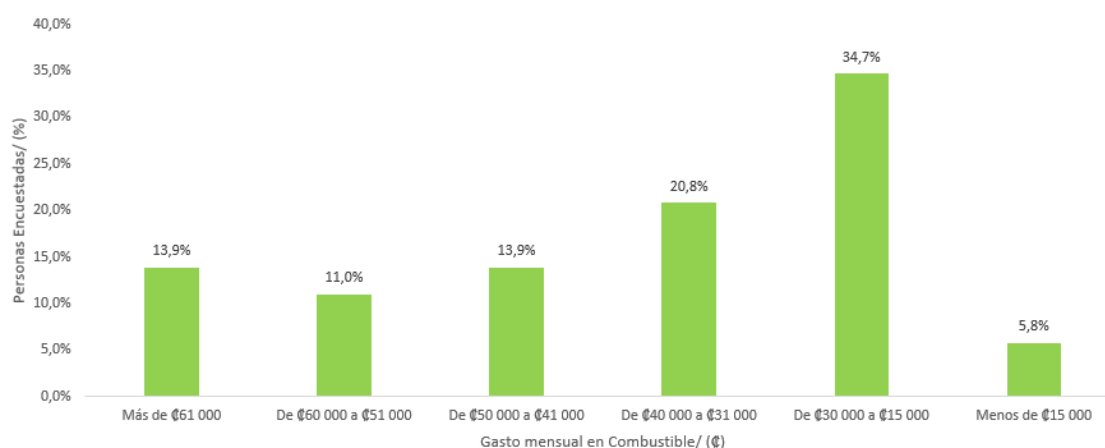


Figura 4.5. Monto económico que utilizan las personas encuestadas para la compra de combustible (Elaboración Propia).

Con el fin de conocer la perspectiva nacional sobre los biocombustibles líquidos;

primero se consultó si habían escuchado hablar de estos, un 67,1 % de las 173 personas encuestadas indicó que sí, lo cual muestra que una mayoría de la población encuestada tenía una idea del tema, por ende no se debería partir de cero a la hora de realizar el mercadeo del producto. Posteriormente, se les preguntó si estarían dispuestos a utilizar un biocombustible líquido (al 100 % o en mezcla con combustible) obtenido a partir de la pulpa de café, un 72,3 % indicó que sí, es decir que se tiene un grupo de potenciales compradores; ahora bien a partir de este resultado se debe evaluar la expectativa económica de los potenciales compradores, ya que de esto también depende el consumo del producto.

Por lo anterior, se les preguntó cuanto estarían dispuestos a pagar por el biocombustible, para esto se usó como referencia el costo del combustible que utilizaba la persona encuestada, en la Figura 4.6 se muestran los resultados de esta pregunta. Donde evaluando cada monto por separado la mayoría (40,7 %) indicó que estarían dispuestos a pagar un 10 % menos del costo del combustible que utilizan. Sin embargo, como se detalla más adelante, al ser un producto novedoso es posible que el precio de venta sea mayor o igual al del combustible con el que se va a mezclar; por lo que lo más probable es que solo se pueda cubrir a las personas que estarían dispuestas a pagar al menos el mismo monto del combustible, que si sumamos los porcentajes llega a ser un 42,3 % de las personas encuestadas.

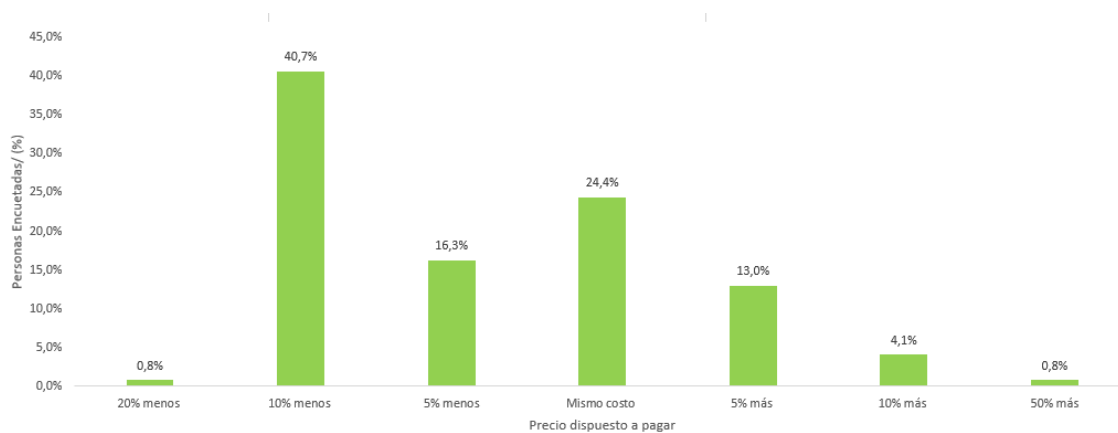


Figura 4.6. Precio dispuesto a pagar por el biocombustible líquido (Elaboración Propia).

Al 27,7% de la población que indicó que no utilizaría un biocombustible líquido (al 100% o en mezcla con combustible) obtenido a partir de la pulpa de café. Se les consultó la razón principal por la cual no utilizarían este biocombustible en la Figura 4.7 se presenta la respuesta brindada. Las principales razones eran falta de información y el posible daño que el biocombustible le pueda causar al vehículo.

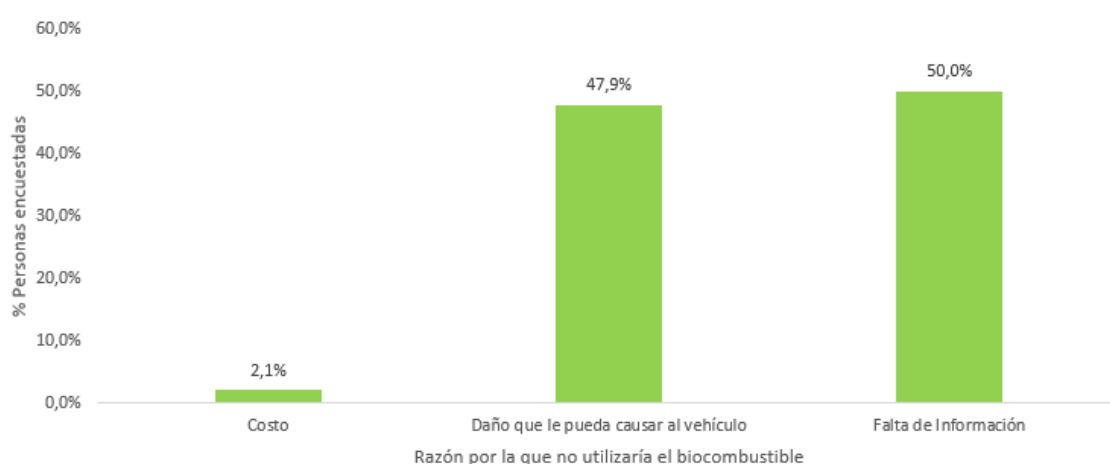


Figura 4.7. Razones por las que no usaría un biocombustible líquido (Elaboración Propia).

Ahora bien los puntos mencionados realmente tienen solución, ya que en el caso de la desinformación de las personas, se pueden crear campañas en conjunto con distintas instituciones como el ICAFE y el MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía) para informar a la población sobre las ventajas del uso de biocombustibles y al mismo tiempo el aprovechamiento de residuos. Por su parte, en la mayoría de los casos es un mito que el uso de biocombustibles le puede causar daño al vehículo. Lo que sí es cierto es, que dependiendo el modelo de este último, en algunos casos al iniciar el uso de los biocombustibles, se debe realizar el cambio de los filtros del vehículo, pero esto realmente no es un daño si no que al biocombustible tener propiedades disolventes realiza por decirlo de alguna manera, una limpieza interna y todo los residuos se acumulan en el filtro (Kamil *et al.*, 2019). Aclaraciones como estas podrían ser parte de la campaña ante mencionada.

A partir de los resultados de la encuesta, se determina que una parte de la

población encuestada (72,3%) estaría dispuesta a comprar el biocombustible para utilizarlo en sus vehículos. También, como se observará más adelante, a partir del monto que destinan las personas encuestadas para la compra de combustible y el precio que estas estarían dispuestas a pagar por el biocombustible, se estima el porcentaje de la población que abastecerá la planta y por ende el volumen que esta va a producir.

4.7. Ruta de Distribución y Estrategia de Mercadeo

Con el fin de determinar la ruta de distribución, se le consultó a una empresa nacional, la cual tiene mucha experiencia en la producción de biodiésel, cuales factores consideraron para determinar esta ruta. A lo que esta indicó que lo ideal es que el consumidor llegue directamente a la planta a hacer la compra, esto principalmente debido a que por el tipo de producto, no es rentable tener puntos de venta a lo largo del país; y también que sería de gran ayuda que la planta se ubicara cerca de alguna sede de RECOPE, ya que muchas personas se desplazan a estas a comprar directamente el combustible, por lo que en caso de utilizar una mezcla, el consumidor tendría los dos puntos cerca y esto le facilitaría el proceso (Madriz, 2021).

Según el Plan Nacional de Desarrollo de Costa Rica, desde hace algunos años el país debería haber implementado la comercialización de mezclas de biocombustibles a través de RECOPE, ya que este es el único ente autorizado para realizar estas mezclas; por lo que, cualquier otra empresa que quiera comercializar un biocombustible, debe venderlo al 100% y el consumidor es el que hace la mezcla. Otra factor a tomar en cuenta, es que una de las razones por las que aún no se utilizan biocombustibles en el país es la desinformación de un sector de la población, esto se pudo comprobar con la encuesta realizada; algunas personas no han escuchado hablar de los biocombustibles líquidos y otras no lo usarían porque no tienen suficiente información o porque creen que va a dañar sus vehículos.

Por lo anterior, la estrategia de mercadeo del biocombustible obtenido a partir

de la pulpa de café, va orientada a informar a la población sobre que es un biocombustible líquido y sus ventajas, así como la importancia de darle un uso a la pulpa de café. También como parte de esta estrategia, es indispensable asesorar al consumidor sobre cómo realizar la mezcla del biocombustible, en caso de que sea necesario, para evitar cualquier efecto sobre el vehículo.

4.8. FODA

Con el fin de determinar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto, se realiza el siguiente FODA de la planta productora de biodiésel obtenido a partir de la pulpa de café:

4.8.1. Fortalezas

- Como se observó en los resultados de la encuesta, una mayoría de población encuestada, estaría dispuesta a utilizar el biocombustible líquido, por lo que el proyecto cuenta con un grupo de potenciales compradores.
- El país cuenta con profesionales con los conocimientos necesarios para diseñar e implementar esta planta.
- Se cuenta con disponibilidad de materia prima, ya que como se detalló anteriormente, en promedio al año se generan 210 120,95 toneladas de pulpa (ICAFE, 2021).

4.8.2. Oportunidades

- Utilizar el biocombustible líquido, contribuiría a disminuir la contaminación ambiental, ya que una de sus ventajas es que sus emisiones de CO₂ y CO son menores a las de los combustibles; esto también aplica si se utiliza una mezcla

(Kamil *et al.*, 2019).

- Se crearía una nueva fuente de empleo, ya que es una planta nueva que va a requerir contratar personal.

4.8.3. Debilidades

- Desconocimiento en la población sobre los biocombustibles líquidos. Uno de los resultados de la encuesta que se realizó fue que una parte de la población encuestada indicó que no comprarían el biocombustible porque consideraban que este podía dañar el vehículo y que al mismo tiempo no tienen suficiente información sobre su uso.
- Falta de leyes y normativas en el país que permitan una adecuada comercialización del producto, ya que actualmente solo RECOPE puede comercializar las mezclas de biocombustible y combustible y no lo hace. Por lo que cada persona que quiera utilizar una mezcla, debe realizar su propia mezcla y comprar cada componente en lugares separados.
- La inversión inicial del proyecto podría llegar a ser muy alta.
- No se tiene disponibilidad de pulpa durante todo el año, ya que esta se genera durante aproximadamente los meses de noviembre a febrero. Por lo que se debe pretratar (secar) y almacenar para la producción de todo el año.

4.8.4. Amenazas

- La desinformación de la población, en relación al uso de biocombustibles líquidos.
- Retraso en el desarrollo de normativas y programas que faciliten la comercialización de biocombustibles en el país. Desde el Plan Nacional de Desarrollo del

periodo que va del 2014 al 2018 se planteaba la comercialización de mezclas de biocombustibles y combustible y la modificación de reglamentos y normativas para facilitar la venta, sin embargo, estas metas se han ido postergando a lo largo de los años (MIDEPLAN, 2022).

4.9. Biocombustible líquido a producir y su aplicación

Para determinar el biocombustible líquido a producir, se toman en cuenta varios factores, uno de los más importantes es el rendimiento (de pulpa a biocombustible). En el caso del biodiésel su rendimiento aproximado en base seca es de 14,35 % (Aiello *et al.*, 2019) y el del bioetanol es de 2,00 % (Rodríguez, 2013). Como se puede observar, al comparar ambos productos, se requiere una menor cantidad de pulpa para producir una mayor cantidad de biodiésel. Otro factor importante es la importación de combustible, en promedio el país importa una mayor cantidad de diésel (7 227 258 barriles), con el cual se mezclaría el biodiésel, si se compara con la suma de la importación de gasolina super y regular (6 983 250 barriles), con la cual se mezclaría el bioetanol (RECOPE, 2020a).

Si bien es cierto, los resultados de la encuesta indicaron que la mayoría de la población utiliza gasolina super y regular, esto no quiere decir que es el único factor que se toma en cuenta para seleccionar el biocombustible ya que existen otros factores, como los mencionados anteriormente, que también tienen un gran peso al tomar la decisión. Además, en una entrevista realizada a una empresa productora de biocombustible, esta nos indicó que la mayoría de clientes son autobuseras o empresas que utilizan maquinaria de construcción o agrícola (Madriz, 2021) y como se pudo observar en los resultados de la encuesta, la mayoría de estos vehículos pesados utilizan diésel, es decir que también el biodiésel tiene potenciales compradores.

Por lo tanto, por tener un mayor rendimiento en su proceso, contar con una mayor importación de diésel, que sería el combustible al que llegaría a sustituir o con el que se mezclaría; y por poder ser utilizado en distintos tipos de vehículos y

al mismo tiempo como lo indicó la encuesta cuenta con potenciales compradores. Se determina que el biocombustible líquido obtenido a partir de la pulpa de café a producir es el biodiésel.

A partir del Cuadro 4.1, en la sección de Posibles usos y compradores de este capítulo, se puede determinar que la aplicación que tiene un mayor potencial en el país es la de combustible para motores, ya que es la única de la que se tiene información del mercado o posibles compradores y cuenta con estudios detallados sobre su proceso a nivel técnico, lo cual es de mucha ayuda para el desarrollo del proyecto; además pese a que no se cuenta con reglamentos para vender el biodiésel mezclado con diésel, el producto se puede vender para que el cliente realice la mezcla.

4.10. Volumen de Producción del Biodiésel

Al determinar el volumen de producción del biodiésel se toman en cuenta tres factores muy importantes, región socioeconómica que se quiere abastecer, demanda y materia prima disponible. Vale resaltar que para determinar este volumen de producción se toman en cuenta algunos de los resultados de la encuesta, y como se mencionó anteriormente, existe la posibilidad de que algunos de los resultados estén sesgados por el medio utilizado para realizar la encuesta y la población que esta logró abarcar, ya que la mayoría de esta última son personas jóvenes (menores a 30 años). Por lo que no se estaría abarcando la opinión de distintas generaciones y puede que estas no tengan la misma opinión del producto.

Sin importar el tipo de combustible que se utilice, la mayor parte de la población encuestada habita la Región Central (en la Figura 4.8 se muestra el porcentaje de personas encuestadas que pertenecen a la Región Central por tipo de combustible), por lo que se plantea abastecer la demanda de esta región, ya que por la distancia entre las diferentes zonas y teniendo en cuenta que el comprador llegaría a la planta, es muy poco probable que las personas de otras regiones se desplacen hasta esta.

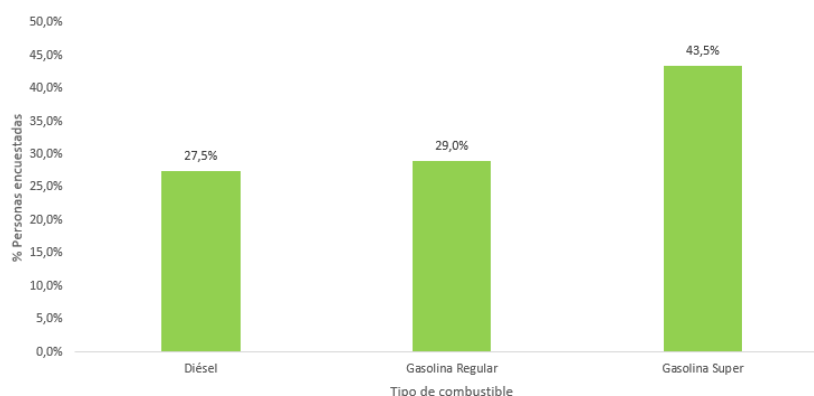


Figura 4.8. Porcentaje de personas encuestadas que pertenecen a la Región Central por tipo de combustible (Elaboración Propia).

Tomando esto en cuenta, se utilizó la información de las personas encuestadas que pertenecen a la región central; se promedió la cantidad de dinero mensual que destinaban al consumo de combustibles y multiplicando este dato por la cantidad de vehículos que tenían un gasto similar, se obtuvo un monto mensual, el cual se dividió entre el precio del combustible respectivo y se multiplicó por los doce meses del año; a partir de esto se determinó el consumo en litros anual de cada combustible. Para el caso del diésel, la cantidad de combustible requerido por parte de las personas encuestadas es de 33 775,8 L/año.

Durante la encuesta 173 personas contestaron que sí poseían vehículo y partir de estas fue que se realizó todo el análisis. Ahora bien, si bien es cierto la encuesta no se definió para un tamaño de población en específico, el volumen a producir sí va orientado a un tamaño en específico. Uno de los puntos que se consultó con se realizó la entrevista a la empresa productora de biodiésel fue respecto a la estimación del volumen de producción; a lo que ellos indicaron que al inicio recomendaban no abarcar una gran población ya que son productos nuevos que deben pasar por un proceso de aceptación por parte de los compradores (Madriz, 2021).

Partiendo de lo anterior, se seleccionó una población de 10 000 personas, ya que se considera que esta es una cantidad pequeña como fue recomendado. Además, en promedio para el 2018 por cada mil habitantes se tenían aproximadamente 231

vehículos (La República, 2018), por lo que con la cantidad antes mencionada se estaría abarcando un aproximado de 2 310 vehículos lo cual tampoco es un volumen muy alto y se estaría siguiendo la recomendación dada. Por ende, al utilizar el tamaño de población antes mencionado y la cantidad de personas encuestadas, se determina por medio de una regla de equivalencias que el consumo de diésel de la población de 10 000 personas es de 1 952 357 L/año.

La demanda de diésel no es la misma demanda de biodiésel que se tendrá, ya que como se ha mencionado en distintas secciones de este proyecto, usualmente se utiliza una mezcla de biocombustible y combustible. Según el Reglamento de Combustibles N° 35091-MAG-MINAE, en el artículo 4, indica que la adición inicial de biocombustibles a los combustibles fósiles, puede ser de 5 % (volumen/volumen) en el caso del biodiésel, este reglamento indica un porcentaje inicial o recomendado que utilizaría RECOPE al implementar los biocombustibles, por lo que pese a que los posibles compradores pueden hacer las mezclas en los porcentajes que ellos deseen, se tomará el antes descrito como base para determinar la demanda de biocombustible, con esto se evita sobre estimar la demanda.

Aunado a lo anterior, se debe tomar en cuenta el porcentaje de las personas encuestadas, que consumen diésel, que estarían dispuestas a comprar el biodiésel, y al mismo tiempo el porcentaje que estaría dispuesto a pagar lo mismo o más que el diésel, ya que al ser un producto novedoso es posible que el precio de venta sea mayor o igual al del combustible con el que se va a mezclar. Como se observa en la Figura 4.9 el porcentaje de las personas que actualmente utilizan diésel, y que estarían dispuestas a pagar lo mismo o más de lo que pagan por este es de 16,3 %, por lo que se utilizará este porcentaje para estimar el volumen de biodiésel a producir.

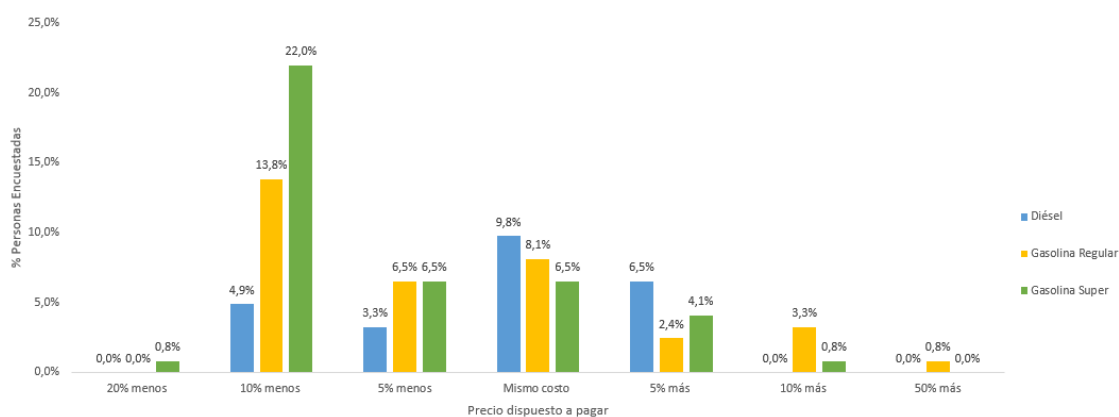


Figura 4.9. Porcentaje que estarían dispuestas a pagar las personas encuestadas por tipo de combustible (Elaboración Propia).

A partir de la información anterior, se estima que el volumen a producir de biodiésel es de 15 912 L/año. Es importante rescatar que el café no se cosecha a lo largo de todo el año y por ende la generación de la pulpa tampoco se da durante todo este periodo, por lo que se debe pretratar y almacenar para la producción anual.

En el caso del biodiésel, como el proceso de producción de ese biocombustible tiene un rendimiento de 14,35 % (Castro, 2020) para producir 15 912 L/año se requieren 106,4 toneladas de pulpa; al año en promedio se generan 210 120 toneladas de pulpa por lo que se tiene biomasa de sobra, logrando así producir el 100 % del volumen estimado.

CAPÍTULO V. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA

Como parte de este capítulo, se realiza el estudio de prefactibilidad técnica donde se determinan flujos de trabajo, condiciones del proceso, equipos y su dimensionamiento así como la distribución y ubicación de la planta productora de biodiésel obtenido a partir de la pulpa de café, es importante mencionar que en la sección de balance de masa y energía de cada proceso solo se presentan los resultados, la muestra de cálculo de estos se muestra en el Apéndice C.

5.1. Ubicación de la Planta

Como se ha mencionado anteriormente, la planta va a abastecer la demanda de la región central del país, como la venta del biodiésel se da en la misma planta, lo ideal es que esta se ubique en esta misma región o en una muy cercana.

Un punto importante a tomar en cuenta al definir la zona exacta de la región central en la que se ubica la planta, es determinar el lugar de procedencia de la pulpa. En el Cuadro 5.1, se presenta el promedio de la cantidad de pulpa generada por cada zona cafetalera y el periodo de cosecha; al año se requieren 106,4 toneladas, por lo que cualquier región podría abastecer la demanda.

Cuadro 5.1. Promedio de la pulpa de café generada anualmente por región cafetalera (ICAFE, 2021).

Región Cafetalera	Pulpa generada/ (ton/año)
Zona de los Santos	80 154,0
Valle Occidental	41 377,3
Valle Central	28 815,9
Pérez Zeledon	23 855,5
Coto Brus	16 999,6
Turrialba	7 713,5
Zona Norte	2 566,4

Tomando en cuenta que Alajuela es una de las provincias de Costa Rica con una mayor presencia de zonas industriales y por ende una mayor circulación de vehículos pesados, los cuales son uno de los principales compradores del biodiésel, se propone ubicar la planta en La Garita de Alajuela. Una ventaja de esta ubicación es que se tienen dos regiones cafetaleras cerca de las que se puede adquirir la pulpa, las cuales son la central y la occidental. Otro factor que se toma en cuenta es el clima de la región central del país, Alajuela cuenta con una mayor temperatura, si se compara con otra provincia como Cartago; y según lo que nos indicó una empresa que se dedica a la producción de biodiésel, este factor disminuye los costos de inversión del proceso, ya que en zonas con bajas temperaturas se deben colocar aislantes en todas las tuberías con el fin de evitar que a lo largo del proceso se solidifiquen los componentes (Madriz, 2021). Otra ventaja es que cerca de esta zona se ubica una de las sedes de RECOPE, a la cual algunos compradores van directamente a adquirir el combustible, por lo que si la planta está cerca se puede atraer parte de estos compradores y al mismo tiempo si en un futuro RECOPE opta por trabajar con biocombustibles se estaría cerca de un potencial comprador .

5.2. Proceso Productivo

A continuación se detalla por sección del proceso, las tecnologías utilizadas y su selección, los balances de masa y energía y el dimensionamiento de los equipos. Es importante mencionar que como ya se ha detallado en varias ocasiones, la pulpa se genera en solo un periodo del año, por lo que para evitar la descomposición de esta, se estima que el proceso de secado se dé durante solo 3 meses. Es decir que al realizar los balances de masa y energía, se dimensiona el proceso para pretratar las 106,4 toneladas de pulpa en 3 meses, se propone que el proceso ocurra entre noviembre y enero conforme se van generando los residuos de pulpa en la región central. Para el resto del proceso los cálculos se hacen de manera anual, teniendo en cuenta que se toma para la producción, que un año son 50 semanas (a las 52 as del año se restan 2 de vacaciones) y que son 5 días de producción por semana.

Por su parte, al hablar de la producción del biodiésel como tal, para la producción de 15 912 L/año y tomando que la planta opera cincuenta semanas al año, se requiere producir por semana 318,24 L (305,5 kg) de biodiésel. Para lo anterior, como el rendimiento es de aproximadamente 90 % (base seca) se necesita extraer 380,18 L (340,64 kg) de grasas, para extraer esta cantidad de grasa como el rendimiento de pulpa a grasa es de 37,2 % en base seca (16 % en base húmeda) se requieren aproximadamente 2 129 kg de pulpa seca a la semana (Blinová *et al.*, 2017). Es importante aclarar que por semana van a ingresar cinco lotes, el primer lote ingresa el lunes, el segundo el martes y así sucesivamente; con esto todos los días se ejecutarían todas las tareas pero con distintos lotes. La Figura 5.1 muestra el ejemplo del gantt del proceso del lote que inicia el lunes.

Actividad	Día				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Extracción de las grasas	■				
Extracción de las grasas		■			
Separación y análisis de las grasas			■		
Transesterificación y decantación del biodiésel				■	
Análisis del biodiésel, empaque y mantenimiento y limpieza de equipos					■

Figura 5.1. Gantt del proceso que ingresa a la planta el lunes (Elaboración Propia).

5.2.1. Pretratamiento de la Pulpa de Café

Un punto muy importante a tomar en cuenta al hablar del pretratamiento que debe recibir la pulpa de café, es el tiempo, ya que como el café solo se cosecha en un periodo del año, la pulpa también se genera en un solo periodo; por lo que esta se debe pretratar y almacenar para la producción de todo el año. El pretratamiento consiste en secar la pulpa y posteriormente almacenarla en un recipiente o cuarto hermético. Se recomienda que el secado se dé a 75 °C por 6 h y se busca disminuir la humedad de 65 % a aproximadamente 7 % (Tun *et al.*, 2020).

5.2.1.1. Tecnologías utilizadas y su selección

Para el proceso de secado se tiene varios tipos de secadores, entre los más utilizados se tienen los de platos perforados o de bandejas, tamices transportadores, torres de secado y rotatorios, en el Cuadro 5.2 se detalla el funcionamiento de cada uno de estos secadores.

Cuadro 5.2. Funcionamiento de los distintos secadores (McCabe *et al.*, 2007).

Tipo de secador	Funcionamiento
Secador de Bandeja	El producto a secar se coloca en bandejas o soportes perforados, por estos circula aire caliente a una velocidad dada, por lo que este aire circula de manera uniforme por todos los platos
Secador de Tamices Transportadores	El material se transporta lentamente sobre un tamiz metálico que se mueve a través de una larga cámara o túnel de secado, el aire circula por toda esta cámara.
Torre de Secado	Son bandejas circulares montadas una sobre la otra con un eje central rotativo, el sólido que se coloca en la bandeja superior se expone a la corriente de aire o gas caliente que pasa a lo largo de la bandeja, posteriormente el sólido se raspa y cae a la bandeja inferior.
Secador Rotatorio	Es un cilindro giratoria, colocado en forma horizontal o ligeramente inclinada hacia la salida. Por un extremo se alimenta el producto y por el otro se descarga el producto seco. Al girar la carcasa o cilindro, las pestañas internas levantan los sólidos para que luego caigan en forma de lluvia a través del interior de la carcasa, en esta el material a secar está en contacto directo con el aire.

Todos los secadores antes mencionados pueden ser utilizados en el secado de la pulpa de café, sin embargo, se deben analizar las ventajas y desventajas de estos

para realizar una selección adecuada, en el Cuadro 5.3 se presentan estas.

Cuadro 5.3. Ventajas y desventajas de los secadores (Cano Cruz, 2014).

Tipo de secador	Ventajas	Desventajas
Secador de Bandeja	Es de bajo costo, es fácil de mantener y bastante flexible	Se requiere de mano de obra que lo carga y descargue constantemente
Secador de Tamices Transportadores	Utilizado cuando se deben secar grandes cantidades de producto	Requiere un control riguroso de temperatura y velocidad de secado y giro
Torre de Secado	Al final del proceso, los sólidos presentan una humedad uniforme	Altos costos de mantenimiento
Secador Rotatorio	Método rápido y de bajo costo cuando se trata de grandes cantidades de producto	No son adecuados para productos que requieran más de una hora de secado

De acuerdo a lo anterior, las opciones más viables son el secador de bandeja y el rotatorio, pero como se mencionó anteriormente, el secado de la pulpa es de 6 h y una desventaja del secador rotatorio es que no se recomienda cuando el secado es de más de 1 h; por lo tanto el secador seleccionado es el de bandejas o platos perforados.

5.2.1.2. Balances de masa y energía

La cantidad total de pulpa a secar por año es 106 450 kg. Como ya se mencionó, el secado solo se dará por 3 meses, por ende la cantidad de pulpa a secar por día es 1 633,2 kg.

Sabiendo que la masa de pulpa húmeda a secar por día es de 1 633,2 kg y que se pasa de una humedad de 65 % a 7%, se determina que la masa de pulpa seca ($m_{p,s}$) es de 702,5 kg y la de agua (m_w) es de 930,7 kg.

Para el caso de la temperatura de salida del aire, la idea es optimizar los costos del proceso, por lo que se recurrió a utilizar un número de unidades de transferencia (N_T), donde el rango de un valor económico es de 1,0 a 2,5, por lo que se selecciona 2.0 ya que es el valor intermedio (Baselga, sf), con esto se obtuvo una temperatura de salida del aire de 117 ° C.

Luego se estimó la transferencia de calor que se daba durante este proceso y esta tiene un valor de 119 974,5 W. Para el flujo de aire diario que entra al secador, se procesa una tanda por día con una duración de 6 h (tiempo de secado de los 1 633,2 kg de pulpa), con esto se obtiene un flujo de aire de 4,67 kg/s. El Cuadro 5.4 resumen los resultados de estos balances de masa y energía realizados.

Cuadro 5.4. Resultados de los balances de masa y energía del proceso de secado.

Variable	Valor
Masa de pulpa seca, $m_{p,s}$	702,5 kg/día
Temperatura de salida del aire, $T_{a,o}$	117 °C
Transferencia de calor, Q	119 974,5 W
Flujo másico de aire que ingresa al secador, m_a	100 952 kg/día

5.2.1.3. Dimensionamiento del equipo

Para el dimensionamiento del secador, se parte de las condiciones a las que debe operar este y posteriormente se procederá a seleccionar uno del mercado que cumpla con estas condiciones. Como se ha detallado anteriormente, el flujo diario de pulpa es de 1633,2 kg, como el tiempo de secado es de 6 h, se plantea que se trabaje con un solo lote por día, con esto el tiempo para secar toda la pulpa sería de 6 h y quedarían 2 h que se utilizarían para cargar y descargar el material del secador. El rango de temperaturas de secado del material debe estar entre los 75 ° C y el de flujo de aire entre 4,67 kg/s; lo anterior tomando como base los balances de masa y energía realizados.

En la Figura 5.2 se presenta el secador seleccionado, es de la marca JKI (modelo JK-FDH200), el cual acepta un flujo máximo de 2 000 kg/lote. Con esto se permi-

tiría en un futuro aumentar el volumen de producción y a la vez permite variar los volúmenes a secar por lote; su rango de temperatura va de 0 ° C a 120 ° C y puede trabajar bajo el flujo de aire antes estimado (Alibaba, 2021a).



Información	
Modelo	JK-FDH200
Rango de Temperatura (°C)	0 a 120
Capacidad (kg/lote)	2 000

Figura 5.2. Secador de bandejas seleccionado (Alibaba, 2021a).

En este secador la pulpa se coloca en las bandejas, el equipo tiene varios ventiladores que permiten que el aire circule y se distribuya por todas las bandejas, permitiendo así que se dé un secado uniforme de la pulpa.

5.2.2. Extracción de las Grasas de la Pulpa

Para extraer las grasas usualmente se recurre a un proceso Soxhlet, en este es vital una buena selección del disolvente, así como la relación de este último con la biomasa a utilizar; la temperatura y el tiempo de extracción también son de suma importancia para obtener el mayor rendimiento posible (Urribarrí *et al.*, 2014). Es importante resaltar que según las fuentes utilizadas, con las condiciones del proceso que se presentarán a continuación, se obtiene un biocombustible que cumple con lo indicado en el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.43:07 Biocombustibles.

Se selecciona como disolvente el metanol, ya que según Urribarrí *et al.* (2014),

con un tiempo de extracción de 5 h se puede obtener un rendimiento de hasta 17,8 %, el cual es uno de los más altos al utilizar pulpa de café como biomasa, ya que con disolventes como el isopropanol y la acetona los porcentajes de extracción van de 11 % a 13 %.

Para efecto de los cálculos se toma un rendimiento de pulpa a grasas de 16 % ya que se tienen factores externos que pueden impedir que se llegue al rendimiento antes mencionado (17,8 %) y además otros autores como Blinová *et al.* (2017) también indican rendimiento de aproximadamente 16 % al utilizar metanol como disolvente. Se utiliza una relación de pulpa:metanol de 1 kg:3 L y una temperatura de extracción de 70 °C (mayor a la temperatura de ebullición del metanol, 65 ° C) Urribarrí *et al.* (2014). Posteriormente se realiza la separación de las grasas y por ende la recuperación del solvente; primero se da un proceso de decantación que dura aproximadamente 2 h y luego, por evaporación, a una temperatura cercana a los 100 ° C por 1 h, se separan los restos de disolvente que quedan en las grasas de la pulpa (Blinová *et al.*, 2017).

5.2.2.1. Tecnologías utilizadas y su selección

Para el proceso de extracción de las grasas de la pulpa de café se requiere de tres equipos, uno que extraiga las grasas y dos que las separen del solvente. Existen varios métodos para la extracción como lo son la hidrodestilación, la extracción asistida por ultrasonido, la extracción Soxhlet, entre otros; de estos el más utilizado es el Soxhlet ya que para el caso de la pulpa del café, es el que permite una mejor extracción de las grasas y además como se puede recuperar una gran parte del solvente es accesible económicamente hablando (Castro, 2020) vale recalcar que a nivel industrial lo que se busca es un extractor que tenga un funcionamiento similar al Soxhlet, ya que este se utiliza mas a nivel de laboratorio.

Para el caso de separación del solvente de las grasas, primero se recurre a una separación física, donde la utilizada para este tipo de mezclas es la decantación,

las grasas se van al fondo del decantador y el solvente queda en la parte superior. Después de este proceso se puede utilizar un destilador simple, uno fraccionado, un rotavapor, para remover los residuos de disolvente que quedan en las grasas decantadas; para este caso se recomienda la utilización de un destilador simple ya que con los otros métodos se debe tener un mayor cuidado con las condiciones o parámetros del proceso, y al mismo tiempo el proceso como tal que se debe seguir al utilizar este equipo es más sencillo (Castro, 2020).

5.2.2.2. Balances de masa y energía

Primero se estima la cantidad de metanol (por día y al año) necesaria para extraer las grasas de la pulpa, para esto se utiliza la relación metanol pulpa de 3 L de metanol por cada kg de pulpa (Urribarrí *et al.*, 2014). Con esto obtiene que por día se requieren 68,1 litros.

También se estima la transferencia de calor que se da para hacer que el metanol pase a fase vapor, es decir que ebulle, para esto se toma en cuenta que inicialmente el metanol está a temperatura ambiente y luego pasa a aproximadamente la temperatura del proceso (70 ° C). Posteriormente, se estima la transferencia que se da para que el metanol se condense, para esto se sabe que el metanol para condensarse debe llegar a una temperatura menor a la de ebullición (65 ° C) por lo que se toma que llega a aproximadamente 50 ° C.

Finalmente se estima el flujo másico de agua de enfriamiento, para esto sabemos que el calor que gana el agua es igual al que pierde el metanol al condensarse. Es importante mencionar que para estimar este flujo se usan valores aproximados de temperatura de entrada y salida del agua. En el Cuadro 5.5 se resumen los resultados de los balances de masa y energía del proceso de extracción.

Cuadro 5.5. Resultados de los balances de masa y energía de proceso de extracción de las grasas.

Variable	Valor
Flujo volumétrico de metanol, V_{MeOH}	1 277,3 L/día
Transferencia de calor al evaporar el metanol, $Q_{ebu,MeOH}$	31 995 W
Transferencia de calor al condensar el metanol, $Q_{cond,MeOH}$	16 581 W
Flujo de agua de enfriamiento, m_w	714 kg/día

Una vez que se da la extracción, se debe realizar la separación de las grasas, primero por decantación y después por evaporación. Para el caso del decantador se estima el flujo que llega a este, según Blinová *et al.* (2017) la cantidad de metanol que se podría llegar a recuperar es del 78 %, al mismo tiempo se tiene que la decantación tiene una eficiencia aproximada de 90 % (Voicu y Ungureanu, 2018). El Cuadro 5.6 presenta los resultados de los balances másicos relacionados con la decantación.

Cuadro 5.6. Resultados de los balances de masa y energía de proceso de decantación de las grasas.

Variable	Valor
Flujo que llega al decantador, V_d	1 072 L/día
Flujo de metanol que se separa en la decantación, $V_{sep,MeOH}$	897 L/día

Para el caso de la evaporación se utiliza un destilador simple, para este se estima el flujo de grasa con residuos de metanol que llega, obteniéndose un flujo de 177 L/día. También, se determina que 100 L/día es el flujo que llega al destilador correspondiente a residuos de solvente y que la transferencia de calor que se debe dar en el equipo para separar, y por ende recuperar, el metanol que queda en las grasas es de 2 496 W, para este cálculo se tomó en cuenta que el metanol ebulle a 70 ° C y que este inicialmente está a una temperatura ambiente de aproximadamente 25 ° C. El Cuadro 5.7 resume los resultados de los balances relacionados con el destilador.

Cuadro 5.7. Resultados de los balances de masa y energía del proceso de evaporación para la separación de las grasas.

Variable	Valor
Flujo que llega al destilador, V_{desti}	163 L/día
Flujo de metanol que se separa en el destilador, $V_{MeOH,desti}$	100 L/día
Transferencia de calor al evaporar el metanol, $Q_{MeOH,desti}$	2 495 W

5.2.2.3. Dimensionamiento del equipo

Al dimensionar el equipo tipo Soxhlet se debe tomar en cuenta que este debe almacenar el volumen de metanol y de grasas que se extraen, por lo que debe almacenar 1 072 L (996 L de metanol y 76 L de grasas) a lo largo del proceso se va a perder parte del metanol pero de igual forma se toma este valor por seguridad, además el volumen del contenedor debe ser mayor. También se debe tomar en cuenta la masa de pulpa que debe contener la cual es de 425,8 kg. A partir de lo anterior, se selecciona el extractor industrial de la marca JNBAN, modelo TQ-D-2.0 de un volumen de 1 500 L y una capacidad de hasta 500 kg de materia sólida (ver Figura 5.3) una ventaja de este equipo es que incluye todo el sistema de recirculación y enfriamiento del agua que se utiliza para condensar el metanol.



Información	
Modelo	TQ-D-2.0
Capacidad/ (L)	1 500
Capacidad másica/ (kg)	500
Altura/ (mm)	8 000

Figura 5.3. Extractor seleccionado (Alibaba, 2020).

Para dimensionar el decantador, se pretende que este almacene el volumen de un día, es decir 1 076 L, agregando un factor de seguridad del 20 %, el volumen final es de aproximadamente 1 291 L. El tipo de decantador que se busca es un decantador por gravedad cónico, consultando a distintos proveedores, se selecciona el decantador de 1 500 L, de la marca Boada (ver Figura 5.4), este tiene un diámetro de 1,150 m, una altura de 2,2 m y un fondo cónico de 60 ° (Boada, 2021).



Figura 5.4. Decantador seleccionado (Boada, 2021).

Al destilador llega por día un volumen de 177 L el cual corresponde a 77 L de grasas y 100 L de residuos de metanol. Se selecciona el destilador de la marca , el cual tiene una capacidad de 200 L para contener toda la muestra y una de hasta 100 L para el disolvente que se separa (ver Figura 5.5), la parte térmica de este equipo funciona con electricidad.



Información	
Capacidad muestra/ (L)	200
Capacidad disolvente/ (L)	100

Figura 5.5. Destilador seleccionado (Alibaba, 2021).

5.2.3. Transesterificación de las Grasas

La transesterificación es el proceso mediante el cual las grasas al entrar en contacto con un alcohol y un catalizador, se convierten en éster metílico de ácido graso (FAME por sus siglas en inglés) que es el que comúnmente conocemos como biodiésel (Singh *et al.*, 2019).

Para la transesterificación de las grasas, por los buenos resultados, se sigue el proceso estudiado por Aiello *et al.* (2019), para esto se selecciona como catalizador hidróxido de potasio (KOH) en una relación de 2 mg KOH/g grasas; en el caso del disolvente se utiliza metanol con una relación de grasas:disolvente de 1:6; la transesterificación como tal tiene una duración de 1 h, se da a 60 °C y a 100 rpm en un reactor.

5.2.3.1. Tecnologías utilizadas y su selección

Los reactores más utilizados son el batch y el CSTR. En el caso del CSTR es muy utilizado para operaciones continuas y a gran escala, mientras que el batch es por lotes por lo que no tiene un flujo constante de entrada y salida y es muy utilizado para operaciones a escala baja-media. De estos dos reactores el que más se adapta a las condiciones del proceso es el batch y por ende es el que se va a utilizar, además al tomar en cuenta los costos; el CSTR posee un costo considerablemente mayor que el batch y su proceso de limpieza y mantenimiento es más complicado (Fogler, 2008).

5.2.3.2. Balances de masa y energía

Inicialmente se estima la cantidad de catalizador necesario por día, para esto se parte de que la relación de 2 mg de KOH por g de grasas; posteriormente se estima la cantidad de metanol necesaria, para esto se utiliza la relación molar 6:1 de metanol:grasas, es importante mencionar que para la masa molar de las grasas se toma el dato estándar de los triglicéridos.

En volumen, la cantidad de metanol requerida sería 9,09 L/día. Finalmente, se

estima la transferencia de calor necesaria para llevar la mezcla a 60 °C; para este cálculo se utiliza la cantidad a producir de biodiésel ya que es lo que se genera, en su mayoría, al darse la reacción. En el Cuadro 5.8 se presenta un resumen de estos balances de masa y energía.

Cuadro 5.8. Resultados de los balances de masa y energía del proceso de transesterificación.

Variable	Valor
Flujo másico de KOH, m_{KOH}	113,5 g/día
Flujo másico de metanol, m_{MeOH}	15,6 kg/día
Transferencia de calor del proceso de transesterificación, Q_{tran}	1 039,6 W

5.2.3.3. Dimensionamiento del equipo

Para estimar el tamaño del reactor se parte de que este va a contener el volumen de un día, por lo sabemos que de un 90 % de los que se va a producir es biodiésel (63,6 L) y un 10 % glicerol (7,06 L), por lo que el volumen final a contener serían 70,6 L. Tomando un 20 % como factor de seguridad, el volumen mínimo que debería tener el reactor es de 85 L; este reactor debe poder trabajar a 60 ° C y a 100 rpm. Se selecciona el reactor marca Borui de 100 L (ver Figura 5.6), este funciona bajo los rangos de temperatura y velocidad antes mencionado, además su sistema de calefacción es eléctrico.



Figura 5.6. Reactor batch seleccionado (Made In China, 2021).

5.2.4. Separación del Biodiésel y almacenamiento

Para separar el biodiésel este se coloca en un decantador por 12 h a temperatura ambiente donde la fase inferior corresponde a glicerol (7,06 L/día) y la superior al biodiésel (63,6 L/día) (Urribarrí *et al.*, 2014).

En cuanto al almacenamiento, el biodiésel se empaca en garrafas, ya que es la forma más sencilla para que los compradores lo transporten y posteriormente lo mezclen, y al mismo tiempo la cantidad que se produce por semana no es tan alta como para almacenar el biocombustible en tanquetas.

5.2.4.1. Dimensionamiento del equipo

El decantador a utilizar debe tener el mismo volumen que el reactor antes mencionado, por lo que debe ser de al menos 85 L. Se selecciona el decantador de 100 L de la marca Cassman (ver Figura 5.7), el cual según su descripción es utilizado en sustancias aceitosas.



Figura 5.7. Decantador seleccionado (Alibaba, 2021b).

A partir de todos los balances másicos y energéticos realizados, se determina que técnicamente el proceso se puede llevar a cabo, ya que existe materia prima suficiente y equipos que se adaptan a las condiciones (como la temperatura, tiempo, volumen, entre otras) del proceso.

5.3. Diagramas

La Figura 5.8 presenta el Flujo del Proceso (DFP) de secado de la pulpa de café, como se puede observar en este proceso solo se utiliza un secador y aire como servicio auxiliar.

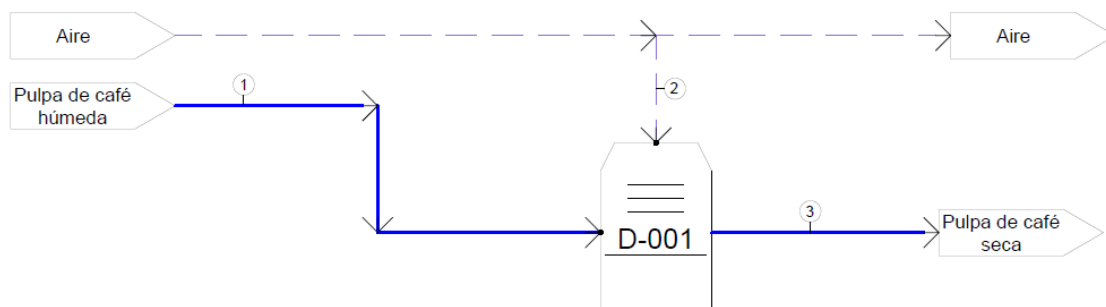


Figura 5.8. Flujo del proceso de secado de la pulpa de café (elaboración propia).

En la Figura 5.9 se presenta el flujo de obtención de Biodiésel a partir de la pulpa de café, el agua es el único servicio auxiliar con el que se cuenta en este proceso. Es importante mencionar que todo el proceso es batch y que como se detalló anteriormente, el proceso es continuo, es decir que todos los días se realizan todos los procesos.

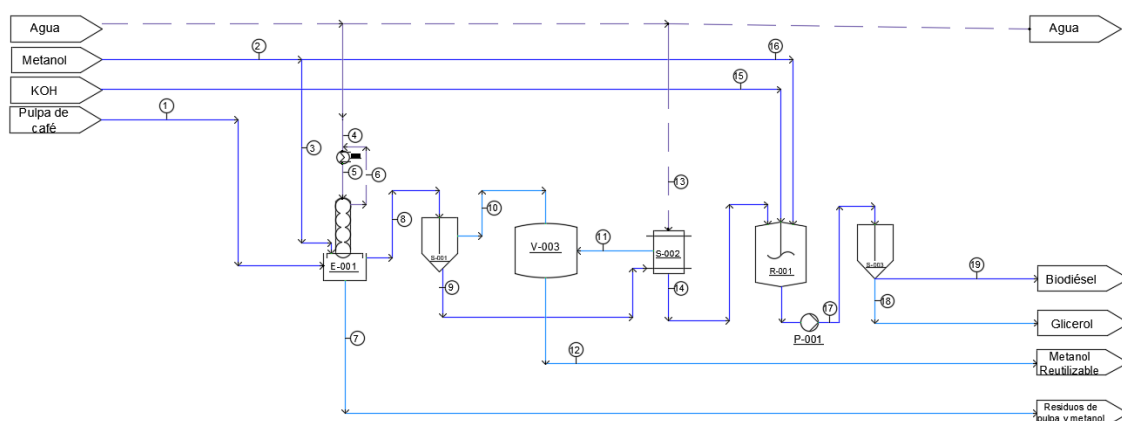


Figura 5.9. Flujo del proceso de obtención de Biodiésel a partir de la pulpa de café (elaboración propia).

Para determinar el diseño de la planta se analizaron los distintos tipos de distribución. Se analiza la distribución en U, lineal y en islotes; la distribución en U es aquella en la que la entrada y salida de la línea se encuentra en el mismo lugar, una de sus ventajas que es permite desarrollar las áreas para operaciones específicas, permite retrabajar o retornar (fácilmente) el material a la estación anterior si se le debe realizar algún ajuste y se facilita el trabajo en equipo. Por su parte la distribución en línea en este caso como su nombre lo dice las estaciones se acomodan en línea recta lo cual facilita el flujo del material. Por último, la distribución en islotes donde se hacen grupos de estaciones que se encargan de todo el procesamiento del material, una desventaja de esta es que se tiende a acumular el material y es complicado reasignar tareas y al mismo tiempo esta distribución no es apta para el manejo de productos líquidos (Reid y Sanders, 2013).

A partir del detalle antes mencionado, las distribuciones que se adaptan mejor a este proceso, son la lineal y en U. Tomando en cuenta las ventajas de cada una y el aprovechamiento del espacio, se selecciona la distribución en U, en esta el punto de ingreso del material y el de decantación final y por ende de obtención del producto terminado es el mismo. Es importante mencionar que dentro de la planta se tiene un cuarto de químicos, un producto terminado y un laboratorio pero estos no se encuentran incluidos en la distribución en U. La Figura 5.10 se presenta la dis-

tribución de la planta.

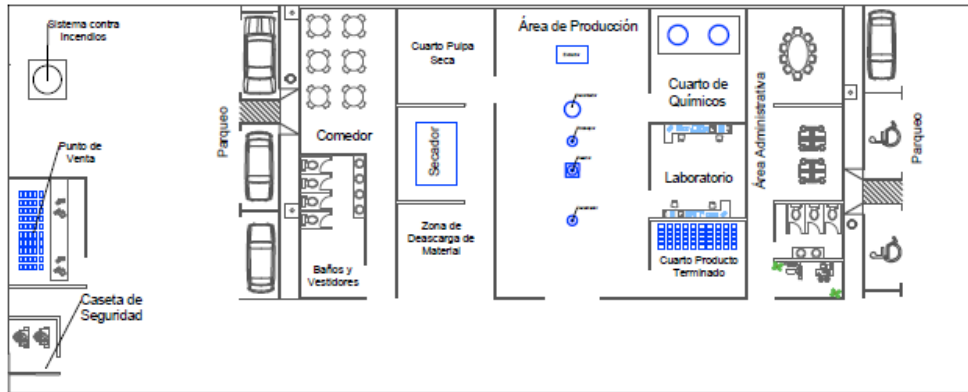


Figura 5.10. Distribución de la planta de obtención de Biodiésel a partir de la pulpa de café (elaboración propia).

CAPÍTULO VI. MARCO AMBIENTAL

Con el fin de determinar los posibles impactos al ambiente relacionados con la instalación de la planta de obtención de biodiésel a partir de la pulpa de café, se completó el Documento de Evaluación Ambiental-D1 de SETENA y para los componentes o subcomponentes que presenten un mayor impacto se proponen medidas de mitigación. En la Figura 6.1 se presenta la Ficha de Descripción del Proyecto, la cual habla un poco de la ubicación de la planta así como el tiempo de construcción y los materiales a usar para esta.

Ministerio de Ambiente y Energía Secretaría Técnica Nacional Ambiental ANEXO 2 Ficha de Descripción del Proyecto		
a.	Justificación técnica del Proyecto y sus opciones	Se instalará una planta de obtención de biodiésel a partir de pulpa de café. En La Garita, en la provincia de Alajuela.
b.	Concordancia con el plan de uso del suelo (no es permiso de uso del suelo)	En la zona de La Garita de Alajuela en la cual se instalará la planta el suelo es apto para realizar la construcción.
c.	Resumen del proyecto a desarrollar (área del proyecto neta, metros cuadrados de construcción, componentes, detalle descriptivo del diseño de sitio)	El proyecto consiste en una planta productora de leche en polvo. Esta será ubicada en La Garita de Alajuela. El total del proyecto es de 1 000 m ² y el área construcción es de 440 m ² .
d.	Actividades a realizar en cada fase del Proyecto	La primera fase se destina a construir el área de proceso, administrativa y comedor, y la segunda fase se destina a la construcción del punto de venta
e.	Tiempo de ejecución	El tiempo aproximado de construcción será 6 meses
f.	Infraestructura a desarrollar	Una construcción que incluye el área de producción, administrativa y comedor y otra que se destina como punto de venta del producto
g.	Materiales a utilizar	Agua, cemento, varillas, tierra, piedra, acero, tubería
h.	Rutas de movilización	Autopista Bernardo Soto por radial El Coyol o por calle paralela a autopista
i.	Frecuencia de movilización	5 veces por semana
j.	Número de empleados	3 personas
k.	Campamentos	1

Figura 6.1. Ficha de Descripción del Proyecto.

Por su parte, en la Figura 6.2 se presenta la evaluación de consumir o afectar el agua, suelo, energía y biotopos, como se puede observar, no hay ningún impacto de los componentes antes mencionados. Pese a que no hay impacto no está demás detallar la razón de la selección de cada valor. Para el caso del subcomponente "Acueducto público existente" se asigna un valor de 1 ya que el consumo de agua no supera los 50 m³/mes, por su parte, para el caso de "Modificación de uso" se tiene un valor de 1 ya que este no se modifica. En el área energética, en el subcomponente de "Abastecimiento" se selecciona una valor de 1 debido a que se consumirán menos de 240 MWh/año. Finalmente, para los biotopos se asigna un valor de 1 en flora y fauna ya que esta no se ve afectada por la instalación de la planta.


 EVALUACIÓN AMBIENTAL INICIAL 2. CONSUMO / AFECTACIÓN										
Componente/ Subcomponente	CASO 1 (Valor = 1)		CASO 2 (Valor = 2)	CASO 3 (Valor = 3)	CASO 4 (Valor = 4)	CASO 5 (Valor = 5)	y	X=	Valoración por efecto	
							z=			
2.1. Agua	2.1.1 Acueducto público existente.	Consumo de agua no supera los 50 m ³ /mes.		Consumo de agua entre 50 y 200 m ³ /mes.		Consumo de agua mayor a los 200 m ³ /mes.	1	3.00	3.00	
	2.1.2 Superficial.		Consumo de agua no supera el 25% del caudal remanente.	Consumo de agua es mayor al 25% y menor al 50% del caudal remanente	Consumo de agua es mayor al 50% y menor al 100% del caudal remanente.	Consumo mayor que el caudal remanente.	0	0.00		
	2.1.3 Subterránea.		Consumo de agua no supera los 50 m ³ /día.	Consumo de agua entre 50 y 200 m ³ /día.	Consumo de agua mayor a los 200 y menor a 500 m ³ /día.	Consumo de agua mayor a los 500 m ³ /día.	0	0.00		
2.2	2.2.1 Modificación de uso	No se produce modificación de uso.				Se produce modificación de uso.	1	3.00	3.00	
2.3. Energía	2.3.1 Autoabastecimiento.	2.3.1.1	Se generarán menos de 240 Mwh/año.	Se generarán más de 240 y menos de 2500 Mwh/año.	Se generarán más de 2500 y menos de 5000 Mwh/año.	Se generarán más de 5000 y menos de 10000 Mwh/año.	Se generarán más de 10000 Mwh/año.	0	0.00	0.00
		2.3.1.2	Se generarán menos de 240 Mwh/año.	Se generarán más de 240 y menos de 500 Mwh/año.	Se generarán más de 500 y menos de 1200 Mwh/año.	Se generarán más de 1200 y menos de 2400 Mwh/año.	Se generarán más de 2400 Mwh/año.	0	0.00	
	2.3.2 Abastecimiento externo.	Se consumirán menos de 240 Mwh/año, o 360.000 litros de combustible por año, o 12 Tj/año.			Se consumirán más de 240 y menos de 1200 Mwh/año, o más de 360.000 L y menos de 1800.000 L de combustible por año, o más de 12 o menos de 60 Tj/año.		Se consumirán más de 1200 Mwh/año, o 1.800.000 L de combustible por año, o de 60 Tj/año.	1	2.00	2.00
2.4. Biotopos	2.4.1 Fauna.	No hay afectación.			Hay afectación.		Hay afectación a especies en peligro, indicadoras o con poblaciones reducidas.	1	4.00	4.00
	2.4.2 Flora.	No hay afectación.		Si hay afectación de flora pero no eliminación de árboles.	Se eliminan árboles aislados en área sin cobertura boscosa.	Se eliminan parches arbóreos en sitios menores de 2 ha.	El desarrollo de la actividad, obra o proyecto implica la corta de árboles en áreas con cobertura boscosa.	1	4.00	4.00
TOTAL									16.00	

Figura 6.2. Evaluación de Consumo y Afectación.

En el caso de la Figura 6.3, se tiene el impacto del proyecto en el aire y el agua, en este caso por la naturaleza del proyecto a instalar el aire no se ve afectado y la generación de aguas residuales ordinarias es baja, ya que solo se tiene agua de enfriamiento en el proceso de extracción y separación de las grasas, y estas se recirculan en el extractor y destilador. Por lo que, para el subcomponente de "Aguas de escorrentía superficial" se selecciona un valor de 1 ya que el aumento del caudal superficial neto es menor a un 10% referido al área de desfogue. Por su parte para "Aguas residuales ordinarias" como se utilizará alcantarillado sanitario sin planta de tratamiento se selecciona un valor de 5, este hace referencia al alcantarillado sanitario de la municipalidad, por lo que en la planta como tal no se tendrá un sistema de tratamiento de aguas.


 3. IMPACTO EN AIRE, AGUA SUELO Y HUMANO									
Impacto	Factor	CASO 1 (Valor = 1)	CASO 2 (Valor = 2)	CASO 3 (Valor = 3)	CASO 4 (Valor = 4)	CASO 5 (Valor = 5)	y	X=zy	Valoración
									por efecto
3.1. Aire	3.1.1.1 Fuentes fijas.			Hay emisiones controladas.		Hay emisiones no controladas.	0	0.00	0.00
	3.1.1.2 Fuentes móviles.				Se utilizan equipos móviles.		0	0.00	
	3.1.1.3 Radiaciones ionizantes.					Hay emisiones controladas.	0	0.00	
	3.1.2 Contribución de las emisiones generales a la contaminación atmosférica con olores, gases y otros efectos.			Las emisiones del proyecto contribuyen a la generación de contaminación atmosférica, pero están controladas.		Las emisiones del proyecto contribuyen a la generación de contaminación atmosférica, pero no están controladas.	0	0.00	
	3.1.3. Ruidos y vibraciones.			Hay producción de ruido o vibraciones y la producción total es cercana al límite de la regulación vigente, se puede confinar.		Hay producción de ruido o vibraciones y la producción total es cercana al límite de la norma, no es confinable.	0	0.00	
3.2. Agua	3.2.1 Aguas de escorrentía superficial.	El aumento del caudal superficial neto es menor a un 10% referido al área de desfogue.	El aumento del caudal superficial neto es mayor al 10% y menor al 25% referido al área de desfogue.	El aumento del caudal superficial neto es mayor al 25% y menor al 50% referido al área de desfogue.	El aumento del caudal superficial neto es mayor al 50% y menor al 75% referido al área de desfogue.	El aumento del caudal superficial neto es mayor al 75% referido al área de desfogue.	1	2.00	22.00
	3.2.2 Aguas residuales ordinarias.	Producción de aguas residuales ordinarias y se utilizará una planta de tratamiento o alcantarillado sanitario con planta de tratamiento.	Producción de aguas residuales ordinarias y se dispondrán en alcantarillado sanitario con un sistema de tratamiento de probada eficiencia.		Producción de aguas residuales ordinarias y se dispondrán en un tanque séptico o similar.	Producción de aguas residuales ordinarias y se dispondrán en alcantarillado sanitario sin planta de tratamiento.	5	20.00	
	3.2.3 Aguas residuales de tipo especial.	Producción de aguas residuales de tipo especial en cantidad inferior a 50 m ³ /mes.		Producción de aguas residuales de tipo especial en cantidad superior a 50 y menor a 200 m ³ /mes.		Producción de aguas residuales de tipo especial en cantidad superior a 200 m ³ /mes.	0	0.00	
TOTAL									22.00

Figura 6.3. Evaluación de Impacto en Aire y Agua.

En el caso de la evaluación de impacto en el suelo (ver Figura 6.4), se tienen dos puntos (en amarillo) en los que se presentan un impacto en el suelo que se puede decir que es intermedio. Este está relacionados con los residuos ordinarios ya que a estos se le asignan un valor de 2 debido a que se clasifican para recuperar, reutilizar, reciclar y su disposición final en un relleno sanitario propio o un gestor debidamente autorizado. Por su parte, a los residuos químicos se les asigna un valor de 2 ya que se clasifica in situ para recuperar, reutilizar y la disposición final se da en un lugar debidamente autorizado por la autoridad competente; es importante resaltar que el principal contribuyente en la parte química son los residuos de pulpa con metanol que se generan durante la extracción de los aceites.


 3. IMPACTO EN AIRE, AGUA SUELO Y HUMANO									
Factor	CASO 1 (Valor=1)	CASO 2 (Valor=2)	CASO 3 (Valor=3)	CASO 4 (Valor=4)	CASO 5 (Valor=5)	y	X=zy	Valoración por efecto	
3. Impacto 3.3 Suelo	3.3.1 Residuos sólidos	3.3.1.1 Ordinarios.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, reciclar y su disposición final en un relleno sanitario propio o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, reciclar y disposición final en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se dispone finalmente en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado con clasificación por autoridad competente.	Disposición final en relleno sanitario o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	2	6.00	24.00
		3.3.1.2 Especiales	Se clasifica para recuperar, reutilizar, reciclar y disposición final en un relleno sanitario propio o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, reciclar y disposición final en un relleno sanitario especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se dispone finalmente en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado con clasificación.	Disposición final en relleno sanitario o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	0	0.00	
		3.3.1.3 Escombros	Se dispone finalmente en una escombrera dentro del AP o a un tercero sin fines comerciales, de conformidad con el reglamento de construcciones y el reglamento para el control nacional de fraccionamiento y urbanizaciones.		Se dispone finalmente en un relleno sanitario con clasificación o una escombrera debidamente autorizada fuera del AP.		0	0.00	
	3.3.2 Residuos peligrosos	3.3.2.1 Químicos.	Se clasifica in situ para recuperar, reutilizar, se trata y la disposición final se da en un relleno propio especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica in situ para recuperar, reutilizar, se trata y la disposición final se da en un relleno especializado o lugar debidamente autorizado (sin tratamiento previo).	Se clasifica in situ para recuperar, reutilizar y la disposición final se da en un relleno especializado, o lugar debidamente autorizado para su tratamiento y disposición final.	Se clasifica in situ disposición final en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado para su tratamiento y disposición final.	2	8.00	
		3.3.2.2 Radiactivos.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, se trata y disposición final en un relleno propio especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, se trata y disposición final en un relleno especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica para recuperar, reutilizar y disposición en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado para su tratamiento y disposición final.	Se clasifica disposición final en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado, para su tratamiento y disposición final.	0	0.00	
		3.3.2.3 Biológicos	Se clasifica, se trata y disposición final en un relleno sanitario especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica, se trata y disposición final en un relleno especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Disposición en un relleno especializado o lugar debidamente autorizado, para su tratamiento y disposición final.	Se clasifica disposición final en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado, para su tratamiento y disposición final.	0	0.00	
	3.3.3 Movimientos de tierra.		Se contempla movimientos de tierra y relleno sin movilización fuera del área del proyecto.	Se contempla movimientos de tierra con acarreo fuera del AP de volúmenes hasta 1,000 m ³	Se contempla movimientos de tierra con acarreo fuera del AP de volúmenes hasta 10,000 m ³	Se contempla movimientos de tierra con acarreo fuera del AP de volúmenes superiores a 10,000 m ³	2	4.00	
	3.3.4 Pendiente.	El área afectada tiene pendiente entre 0-15%.	El área afectada tiene pendiente entre 15-30%.	El área afectada tiene pendiente entre 30% y 60%.	El área afectada tiene pendiente mayor 60%.		1	3.00	
	3.3.5 Densidad de población.	Se espera una densidad máxima menor que 50 ocupantes por hectárea.		Se espera una densidad máxima mayor que 50 y menor que 200 ocupantes por hectárea.		Se espera una densidad máxima mayor que 200 ocupantes por hectárea.	1	3.00	
	3.3.6 Densidad de construcción.		La cobertura de construcción es menor al 25% de la propiedad del Área Total del Proyecto.	La cobertura de construcción es mayor al 25% pero menor al 50% de la propiedad Área Total del Proyecto.	La cobertura de construcción es mayor que 50% y menor que el 70% de la propiedad Área Total del Proyecto.	La cobertura de construcción es mayor que el 70% de la propiedad Área Total del Proyecto.	0	0.00	
Total									24.00

Figura 6.4. Evaluación de Impacto en el Suelo.

Para la evaluación de impacto humano, como se puede observar en la Figura 6.5 el factor en el que el proyecto genera un efecto es el social, específicamente en la generación de empleos, ya que con este proyecto se generan solo 3 plazas y por ende se le asigna un valor de 4. En este caso, se debe entender que es una empresa nueva, que no tiene una producción muy alta y por ende al inicio no va a requerir de muchos trabajadores pero que con el tiempo la cantidad de plazas nuevas puede aumentar. Otro factor es el viabilidad, ya que por la naturaleza del proyecto y como la venta del biodiésel se desarrolla en la misma planta, se genera un tráfico nuevo en la zona en una proporción inferior al 25 % de la capacidad vial instalada, por lo que se le asigna un valor de 1.


 3. IMPACTO EN AIRE, AGUA SUELO Y HUMANO										
Factor		CASO 1 (Valor = 1)	CASO 2 (Valor = 2)	CASO 3 (Valor = 3)	CASO 4 (Valor = 4)	CASO 5 (Valor = 5)	y	X=z* y	Valoración por efecto	
Impacto Humano	3.4.1 Social	3.4.1.1 Generación de empleo.	Genera más de 100 plazas nuevas.	Genera entre 50 a 100 plazas nuevas.	Genera entre 25 a 50 plazas nuevas.	Genera menos de 25 plazas nuevas.	No genera nuevas plazas.	4	8.00	24.00
		3.4.1.2 Movilización, reubicación traslado de personas del AP.	No se produce movilización, reubicación, traslado, etc. de personas que habitan en el AP, por efecto del proyecto.				Se produce movilización, reubicación, traslado, etc. de personas que habitan en el AP, por efecto del proyecto.	1	3.00	
	3.4.2 Cultural	3.4.2.1 Paisaje.	Se desarrolla infraestructura en una zona urbana o rural y utiliza una infraestructura preexistente.	Se desarrolla infraestructura en una zona urbana y no provoca un desequilibrio en la textura del paisaje existente.	Se desarrolla infraestructura en una zona rural y no provoca un desequilibrio en la textura del paisaje existente.	Se desarrolla infraestructura en una zona urbana y provoca un desequilibrio en la textura del paisaje existente.	Se desarrolla infraestructura en una zona rural y provoca un desequilibrio en la textura del paisaje existente.	1	3.00	
		3.4.2.2 Patrimonio.	El proyecto no afecta el patrimonio científico, arquitectónico o arqueológico.	El proyecto contempla la conservación y el mejoramiento del patrimonio científico, arquitectónico o arqueológico existente en el AP.	El proyecto contempla la conservación del patrimonio científico, arquitectónico o arqueológico existente en el AP.	El proyecto afecta de forma parcial y con autorización el patrimonio científico, arquitectónico o arqueológico existente en el AP.	El proyecto afecta de forma total y con autorización el patrimonio científico, arquitectónico o arqueológico existente en el AP.	1	4.00	
	3.4.3 Viabilidad		Genera tráfico nuevo en una proporción inferior al 25% de la capacidad vial instalada.		Genera tráfico nuevo en una proporción mayor al 25% y menor al 50% de la capacidad vial instalada.		Genera tráfico nuevo en una proporción mayor al 50% de la capacidad vial instalada.	1	6.00	
TOTAL									24.00	

Figura 6.5. Evaluación de Impacto Humano.

También se evalúan otros posibles riesgos (ver Figura 6.6), en este caso se determina que para el proyecto que se plantea, el mayor impacto es el de Manejo de Sustancias Peligrosas y por esto se le asigna un valor de 5. En este caso se toma como sustancia peligrosa los compuestos químicos utilizados a lo largo del proceso y a la vez el biodiésel que se genera. Al final de este capítulo, se detallan todas las medidas de mitigación que se aplicaran para controlar este factor.


									
Factor	CASO 1 (Valor = 0)	CASO 2 (Valor = 1)	CASO 3 (Valor = 2)	CASO 4 (Valor = 3)	CASO 5 (Valor = 4)	y	X=zy	Valoración por efecto	
4. Otros riesgos	4.1 Manejo de combustible fósil.	No consume, maneja o almacena.	Consume, maneja o almacena una cantidad menor a 5.000 litros al mes.	Consume, maneja o almacena una cantidad mayor a 5.000 y menor a 50.000 litros al mes.	Consume, maneja o almacena una cantidad mayor a 50.000 y menor a 500.000 litros al mes.	Consume, maneja o almacena una cantidad mayor a 500.000 litros al mes.	1	4.00	4.00
	4.2 Manejo de agroquímicos.	No consume, maneja o almacena.				Se usan, almacenan y consumen agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, insecticidas, etc.).	0	0.00	0.00
	4.3 Manejo de Sustancias peligrosas	No hay consumo, manejo o almacenamiento de sustancias peligrosas.				Sí hay consumo, manejo o almacenamiento de sustancias peligrosas.	5	20.00	20.00
	4.4 Manejo de material radiactivo.	No hay consumo, manejo o almacenamiento de material radiactivo.				Sí hay consumo, manejo o almacenamiento de material radiactivo.	0	0.00	0.00
	4.5 Manejo de Bio riesgos.	No hay consumo, manejo o almacenamiento de material biológico.				Sí hay consumo, manejo o almacenamiento de material biológico.	0	0.00	0.00
TOTAL									24.00

Figura 6.6. Evaluación de Otros Riesgos.

Una vez que se completa toda la Evaluación de Impacto Ambiental, se determina la Significancia del Impacto Ambiental (SIA), para este caso se obtiene un valor de 110 (ver Figura 6.7), como este valor es menor a 300, el proyecto se clasifica como de tipo B2, por lo que para instalar la planta solo se debe presentar una Declaración Jurada de Compromisos al ambiente, esto a la vez indica que a nivel ambiental el proyecto no genera un gran impacto. La declaración jurada antes mencionada, debe venir firmada por el apoderado de la empresa y debe indicar que se compromete a cumplir con los términos y condiciones estipuladas ya sea, en los formularios D1,

Plan de Gestión Ambiental (PGA) o Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) y que en caso de tener algún cambio en el proyecto que pueda impactar el ambiente, le informará al MINAE y se encargará de cumplir todos los requisitos que este ente solicite.


5. CRITERIOS DE PONDERACIÓN			
La nota obtenida (Valor preliminar de SIA) en el formulario adjunto debe ser ponderada con los factores siguientes para obtener la calificación final que servirá de criterio para la clasificación según la Significancia del impacto ambiental (SIA) que se indica en este documento.			
1. Valor preliminar de SIA, es decir la sumatoria de todos los valores individuales (Σ)		110.00	
Según las regulaciones aplicables a la operación de la actividad, obra o proyecto			
2.a Con Reglamento específico en materia ambiental que regule la actividad, obra o proyecto (p). Se multiplica la sumatoria de SIA (Σ) por un factor de 1 =	1	Decreto Ejecutivo No.7544	3. Sin Reglamento específico en materia ambiental (p) que regule la operación, se multiplica la sumatoria (Σ) de SIA por un factor de 2=
2.b Con compromiso del desarrollador a adherirse voluntariamente a una norma o guía ambiental de construcción y operación, según corresponda que exista para la actividad, obra o proyecto que se plantea en el D1(p). Dicha norma o guía ambiental será de acatamiento obligatorio para el desarrollador, en lo que corresponda, desde el momento en que la SETENA le otorga la viabilidad ambiental. En este caso se multiplica la sumatoria de SIA (Σ) por un factor de 0,75 =	0.75		
4. Valor de SIA ajustado por regulaciones (SIA_R) =		110	
Clasificación del área según la zona de ubicación del proyecto (β)			
5. Localización autorizada por Plan Regulador u otra planificación ambiental de uso del suelo, aprobados por la SETENA, incluyendo la variable ambiental según la metodología establecida por la SETENA. Se multiplica el valor de SIA_R por un valor de 0,5 =	0.5		6. Localización autorizada por Plan Regulador NO aprobado por SETENA. Se multiplica el valor de SIA_R por un valor de 1,0 =
7. Localización en área sin Plan Regulador. Se multiplica el valor de SIA_R por un valor de 1,5 =	1.5		8. Localización en área ambientalmente frágil, excepto que este contemplado en el numeral 5. Se multiplica el valor de SIA_R por un valor de 2 =
Nota: Deberá brindarse la cita correcta del Plan Regulador o del Plan Ambiental de Uso del Suelo a que se refiere.			
		(β)	1
9. Calificación final de la SIA:		110	
10. Clasificación en función de la calificación final y que establece el procedimiento en SETENA, según la ruta de decisión.			
Tipo	Nota	Procedimiento	
A	Mayor que 1000.	Estudio de Impacto Ambiental.	
B ₁	Mayor que 300 y menor o igual que 1000.	Pronóstico-Plan de Gestión Ambiental.	
B ₂	Menor o igual que 300.	Declaración Jurada de Compromisos Ambientales.	

Figura 6.7. Determinación de la Significancia del Impacto Ambiental (SIA).

Como parte de la Evaluación de Impacto Ambiental se tiene la Matriz de Efectos Acumulativos y Sinérgicos, el punto que presentan un * es al que se le debe asignar una medida estratégica, para el caso de este proyecto el efecto acumulativo son los desechos sólidos y como se puede observar en la Figura 6.8 la medida que se asigna es sub contratar una empresa que se pueda encargar del manejo de los residuos de pulpa de café con metanol, con el fin de que a estos se les dé la gestión adecuada.


6. MATRIZ DE EFECTOS ACUMULATIVOS Y SINÉRGICOS					
<p>INTRODUCCION: Con esta matriz se pretende realizar una aproximación general a la identificación de efectos acumulativos o sinérgicos que podría producir la actividad, obra o proyecto planteado en su entorno exterior, es decir, fuera del Área del Proyecto (AP). Su identificación no forma parte del proceso de valoración de la Significancia de Impacto Ambiental (SIA) de la actividad, obra o proyecto. No obstante, su llenado es obligatorio. El objetivo del análisis tiene dos partes. En primer lugar que el desarrollador y su consultor ambiental responsable realicen un reconocimiento básico de las condiciones ambientales del entorno en el que plantean el desarrollo de la actividad, obra o proyecto en análisis. En segundo lugar, que en el caso de que se detecte que la ejecución de la actividad, obra o proyecto podría venir a incrementar o contribuir con un impacto acumulativo o sinérgico, que se proceda a minimizar el mismo dentro del entorno del AP, de forma tal que se logre la meta de armonizar el impacto ambiental con el proceso productivo.</p>					
	Efecto Acumulativo	RESPUESTA			Medida estratégica a aplicar por la actividad obra o proyecto propuesto
		SI	NO	NA ¹	(llene esta casilla en caso de que la casilla que responda esté marcada con un asterisco (*) ²)
1	¿Se producirá un efecto acumulativo en los recursos hídricos debido al aprovechamiento que plantea la actividad, obra o proyecto?		x		
2	¿Las emisiones, el ruido y las vibraciones, que se producirán generarán un efecto acumulativo en la situación de la calidad ambiental del aire del AP y su entorno?		x		
3	¿Existe capacidad de carga disponible para el abastecimiento de energía que plantea la actividad, obra o proyecto a desarrollar?	x			
4	¿El uso del suelo que se plantea se adapta a la capacidad de carga del espacio geográfico donde se plantea instalar?	x			
5	¿Los efectos ambientales que producirá la actividad, obra o proyecto planteado generará presión sobre los recursos de flora y fauna existentes en la zona?		x		
6	¿La actividad, obra o proyecto producirá un aumento significativo de las aguas de escorrentía superficial disminuyendo la capacidad de carga neta del sistema?		x		
7	¿Las aguas residuales ordinarias o de tipo especial que se producirán representarán un aumento de la carga ambiental al sistema?		x		
8	¿Los desechos sólidos (ordinarios o especiales) que se producirán como parte del desarrollo de la actividad humana planteada, podrán ser asimilados por el sistema de gestión de desechos que opera en la actualidad, sin que implique una alteración al mismo?		x(*)		Se sub contratará un gestor autorizado que se encargue del manejo de los residuos de pulpa de café con metanol. Con el fin de que a estos se les dé la gestión adecuada.
9	¿La impermeabilización del terreno que implica el desarrollo de la actividad, obra o proyecto que se plantea, produciría un efecto neto de disminución de la recarga acuífera en la zona?		x		
10	¿El entorno de la actividad, obra o proyecto, tiene capacidad de carga para asimilar los efectos de viabilidad que se podrían producir con su desarrollo?	x			
11	¿Los servicios disponibles en el entorno de la actividad, obra o proyecto que se plantea, tienen capacidad de carga para asimilarla y satisfacer las nuevas necesidades?	x			
12	¿La actividad, obra o proyecto producirá un efecto de recarga del paisaje del espacio geográfico donde se localizará?		x		

Figura 6.8. Matriz de Efectos Acumulativos y Sinérgicos.

6.1. Medidas de Mitigación

A partir de la Evaluación de Impacto Ambiental, se determinaron los factores que requieren algunas medidas de mitigación. A continuación se detallan las medidas para cada uno de estos.

- Residuos Sólidos-Ordinarios

En el caso de los residuos ordinarios que se generen en la planta, para mitigar su impacto, se clasificarán para recuperar, reutilizar, reciclar y darle disposición final, siguiendo la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Ley No. 8839). En este caso no se subcontratará un gestor autorizado para darle disposición a estos residuos, ya que en La Garita de Alajuela (lugar en el que se ubica la planta) la municipalidad tiene un programa para recolectar los residuos tanto reciclables como a los que no se les puede dar un segundo uso.

- Aguas residuales ordinarias

En el caso de las aguas residuales ordinarias, se dispondrán en alcantarillado sanitario sin planta de tratamiento. La razón de esto es que las aguas que se generan son debido a uso de servicios sanitarios, lavatorios, y lavado de equipos. De las anteriores, las aguas que pueden tener un mayor impacto son las de los lavados de equipos, por lo que antes de que estas sean descartadas por el alcantarillado se les verificarán condiciones como pH, temperatura, entre otros. En caso de que estas se encuentren fuera de lo que indica el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N-33601, se contratará a un gestor autorizado para que se encargue del tratamiento de aguas residuales para que les brinde su debido tratamiento.

- Residuos Peligrosos-Químicos

En este caso el residuo que se genera es la pulpa de café con rastros de metanol, por lo que para mitigar el efecto que este tenga sobre el ambiente, se subcontratará

un gestor autorizado para darle su debida disposición en un relleno especializado, o lugar debidamente autorizado para su tratamiento y disposición. Este gestor se encargará de compostar los residuos de la pulpa de manera que no generen daño al ambiente.

- Social-Generación de Empleos

En el caso de la generación de empleos, como se detalló anteriormente se debe entender que es una empresa nueva, que no tiene una producción muy alta y por ende al inicio no va a requerir de muchos trabajadores pero que con el tiempo la cantidad de plazas nuevas puede aumentar.

- Vialidad

La vialidad se ve impactada ya que lo más probable es que se genere tránsito nuevo debido a que los vehículos se desplazan hasta la ubicación de la planta para adquirir el biodiésel. Si bien es cierto, no podemos disminuir el traslado de los vehículos a la planta, en el diseño de esta se contempló suficiente espacio para que los vehículos puedan ingresar a las instalaciones y por ende no retrasen o alteren significativamente el flujo vehicular; se colocará la correcta demarcación vial, para facilitar el tránsito.

También, en cuanto a los camiones que lleguen a dejar la materia prima, se coordinará para que las entregas se lleven a cabo durante horas en las que regularmente no se tiene congestión vial.

- Manejo de Sustancias Peligrosas

El mayor riesgo de este proyecto es el manejo de sustancias peligrosas, ya que se trabaja con metanol y se genera biodiésel los cuales son inflamables, las medida para mitigar el impacto de estos son:

1. Asegurar que todas las sustancias almacenadas estén debidamente etiquetadas (sistema NFPA), para identificar los riesgos que conlleva su manejo.
2. Almacenar las sustancias peligrosas en un sitio adecuado.
3. Suministrar a los trabajadores el equipo necesario para prevenir derrames o fugas. Así como equipo de protección personal.
4. Instruir a los trabajadores en el manejo de las sustancias peligrosas considerando los riesgos y demás propiedades que se mencionan en las hojas de seguridad (MSDS) y etiquetas respectivas para cada sustancia. Además de cumplir con la reglamentación nacional propuesta en el decreto N° 28930-S: Reglamento para el manejo de productos peligrosos

CAPÍTULO VII. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD FINANCIERA

Para determinar la prefactibilidad financiera de este proyecto, se estima la inversión de capital y el costo total del producto, luego se determina el precio de venta del biodiésel y con toda esta información se realiza el flujo de caja. Finalmente se hace un análisis de sensibilidad y riesgo, a continuación se presenta el detalle de cada una de estas partes. Durante el desarrollo de este estudio se utiliza el tipo de cambio del Banco Central ($\$1 = \text{C}\678) del día 18 de mayo del 2022 (Banco Central, 2022).

7.1. Estimación de la Inversión de Capital

Para determinar la inversión de capital se debe calcular la inversión de capital fijo y el capital de trabajo. A continuación se desarrolla cada una de estas partes.

7.1.1. Estimación de la Inversión de Capital Fijo

La inversión de capital fijo es el capital necesario para adquirir e instalar los equipos destinados al proceso con todos los servicios auxiliares requeridos para el funcionamiento del proceso completo. Esta inversión está formada por los costos directos y los indirectos.

A. Costos Directos

- Equipos Adquiridos

En el Cuadro 7.1 se detalla el costo de cada uno de los equipos adquiridos para el proceso, como se puede observar el costo total de los equipos es $\text{C}\$29\,072\,640$ ($\$42\,880$).

Cuadro 7.1. Detalle del costo de los equipos adquiridos.

Equipo Adquirido	Costo		Referencia
	Colones/ (₡)	Dólares/ (\$)	
Balanza	347 814	513	(SPrecision Weighing, 2021)
Secador	3 390 000	5 000	(Alibaba, 2021a)
Soxhlet	5 220 600	7 700	(Alibaba, 2020)
Decantador	1 943 826	2 867	(Boada, 2021)
Tanque Etanol	687 000	1 000	(Alibaba, 2021b)
Destilador	10 170 000	15 000	(Alibaba, 2021)
Reactor	6 780 000	10 000	(Made In China, 2021)
Decantador	542 400	800	(Alibaba, 2021b)
Total	29 072 640	42 880	–

- Importación de equipos

Para determinar este costo se recurre a la metodología Peters *et al.* (2003), el cual indica el costo de instalación e internamiento es del 25 % al 55 % del costo de los equipos adquiridos, para efectos de este proyecto se toma un porcentaje del 55 % ya que la mayoría de equipos vienen desde China, es decir que deben recorrer una gran distancia. Este costo representa un valor de ₡15 989 952 (\$23 584). Por otro lado, según el Ministerio de Hacienda, el costo de los impuestos por importación de este tipo de equipos es del 13 % del costo de estos (Ministerio de Hacienda, 2022) por lo anterior serían ₡3 779 443 (\$5 570) en Impuestos. Para un total de \$29 158 en importación de equipos.

- Instrumentación y Control

La planta no tiene un diseño automatizado, por lo que para efectos de este rubro solo se toma el precio de ₡54 240 (\$80) para un termómetro (PCE, 2021) y ₡20 340 (\$30) (Made In China TM, 2021) para un pHmetro, teniendo un gasto total de instrumentación y control de ₡74 580 (\$110).

- Cañerías y Tuberías

En el caso de cañerías y tuberías se toma en cuenta el costo de la conexión de los equipos de proceso, se requieren aproximadamente 55 m del tubo de PVC con un costo de ₡74 580 (\$110) (EPA, 2021a) para conectar la fuente de agua a los equipos y para conectar estos a los distintos desagües o puntos de recolección de residuos. También, se requiere de dos válvulas de compuerta que en conjunto tienen un precio de ₡14 916 (\$22) (EPA, 2021b); para un total de ₡89 496 (\$132).

- Equipo Eléctrico Instalado

Para este rubro se recurre a la metodología de Peters *et al.* (2003) la cual indica que este costo está entre un 10 % y un 40 % del costo de los equipos adquiridos, se toma un porcentaje de 10 %, ya que solo se debe considerar la conexión eléctrica que se debe instalar para conectar los equipos. Por lo que el costo de este rubro es de ₡2 907 264 (\$4 288).

- Obras Civiles

Para este rubro no se contempla, ya que se plantea alquilar una bodega que ya está acondicionada para el proceso que se va a desarrollar.

- Instalación de Servicios y Mejoras del Terreno

Esta sección incluye las instalaciones de los servicios y mejoras que se deben realizar al terreno; sin embargo, por tratarse de un alquiler y no un terreno propio, este costo no se toma en consideración . Además, el lugar por alquilar cuenta ya con los servicios necesarios de luz y agua instalados. Lo que se debe tomar en cuenta es el agua que entra a los equipos, pero estos costos ya fueron considerados en la sección de cañerías y tuberías.

- Terreno

No se toma en cuenta este rubro ya que no se va a comprar un terreno si no que se va a alquilar.

En el Cuadro 7.2 se muestra un resumen de los costos directos, como se puede observar estos tienen un valor de ₡51 913 375 (\$76 568)

Cuadro 7.2. Detalle del Costo de Directos.

Rubro	Costo	
	Colones/ (₡)	Dólares/ (\$)
Equipos Adquiridos	29 072 640	42 880
Importación de equipos	19 769 395	29 158
Instrumentación Y Control	74 580	110
Cañerías y Tuberías	89 496	132
Equipo Eléctrico Instalado	2 907 264	4 288
Total	51 913 375	76 568

B. Costos Indirectos

Los costos indirectos hacen referencia a los gastos no directamente relacionados con los materiales y mano de obra, pero que son necesarios para completar la instalación de la planta, para el caso de esta planta, los gastos eventuales son los únicos que se tomarán en cuenta, ya que los otros como honorarios de contratista no aplican para este proyecto.

- Eventuales

Los gastos eventuales son aquellos gastos que no son parte de la operación normal de la planta. Este costo se estima tomando entre el 5 % y el 15 % de los costos directos (Peters *et al.*, 2003), para efectos de este proyecto, que se clasifica como a pequeña o mediana escala, se selecciona un porcentaje de 5 %, para un valor de gastos eventuales de ₡2 595 668 (\$3 068).

7.1.2. Estimación del Capital de Trabajo

Para la determinación del capital de trabajo necesario, se define que este debe cubrir los tres meses iniciales de la planta, ya que en Costa Rica cada tres meses se tiene un pago parcial de impuestos (Procuraduría General de la República de Costa Rica, 1995). Por lo que para los primeros tres meses ya la planta debe estar generando ingresos para cubrir estos montos y al mismo tiempo se logra alinear con el periodo fiscal del país.

Por tanto, se toma en cuenta las materias primas y suministros para la operación, los salarios, seguros y el valor de los impuestos a pagar. En el Cuadro 7.3 se muestran los rubros y el total del capital de trabajo, en las secciones posteriores se detalla la estimación de cada rubro de este capital, es importante mencionar que se da por hecho que se cuenta con este dinero para iniciar la operación de la planta, es decir que no está incluido en el financiamiento del proyecto.

Cuadro 7.3. Desglose del capital de trabajo.

Rubro	Costo	
	Colones/ (₡)	Dólares/ (\$)
Materias primas y suministros en Depósito	4 720 291	6962
Salarios	4 092 103	6 036
Seguros	1 105 573	1 631
Total	9 917 968	14 628

En el Cuadro 7.4 se presenta un resumen de los costos de los tres rubros que conforman la Inversión de Capital la cual tiene un costo de ₡64 427 012 (\$95 025).

Cuadro 7.4. Resumen de la Inversión de Capital.

Rubro	Costo	
	Colones/ (₡)	Dólares/ (\$)
Inversión de capital Fijo (Costos Directos)	51 913 375	76 568
Inversión de capital Fijo (Costos Indirectos)	2 595 669	3 828
Capital de Trabajo	9 917 968	14 628
Inversión de Capital	64 427 012	95 025

7.2. Estimación del Costo Total del Producto

El costo total del producto se calcula tomando en cuenta el costo directo de producción, los gastos fijos y los gastos generales de la planta, a continuación se detalla cada uno de estos.

7.2.1. Estimación del Costo de Fabricación

Para estimar los costos de fabricación se toman en cuenta los costos directos de producción, los gastos fijos y los gastos generales de la planta como limpieza y embalaje. A continuación se detalla cada uno de estos rubros.

A. Costos Directos de Producción

- Materias Primas

Como materia prima se considera la pulpa de café, de la cual anualmente se requieren 19,1 toneladas. El precio de venta de las biomásas lo establece la Ley de Fomento a la Producción Agropecuaria FODEA y Orgánica del MAG. Ley N°7064. Sin embargo, consultando esta Ley no se reporta el precio de la pulpa de café, por lo que al ser un residuo de la industria cafetalera, que como se mencionó desde el inicio de este proyecto, usualmente se acumula en los beneficios y que no se le da un segundo uso, se le da un valor de \$0 y se plantea que este será donado por algunos beneficios.

También se toma en cuenta el metanol y el KOH como materia prima. Consultando diferentes proveedores se determinó que anualmente se requieren aproximadamente 6 480 L de metanol, un contenedor de 5 galones tiene un precio de ₡54 600, por lo que al año se requieren 341 contenedores que tienen un costo total de ₡18 618 374 (\$27 460) (Racing CR, 2022). En este caso se recuerda que una parte del metanol se recupera (aproximadamente el 80 %) y se puede reutilizar por lo que la cantidad requerida anualmente no es la misma a comprar. En el caso del KOH

anualmente se requieren aproximadamente 34 kg. El costo de un paquete de 3 kg es de aproximadamente ₡21 900, por lo que anualmente se requieren 12 paquetes que tienen un costo total de ₡262 792 (\$387,6) (Gluu, 2022). A partir de lo anterior, se tiene que anualmente la materia prima tienen un costo de ₡18 881 167 (\$27 843).

- Salarios/ Mano de obra

En este rubro se toman en cuenta el costo de la mano de obra, un administrador del proyecto y la subcontratación por horas de un regente químico. Para el proceso de fabricación se requieren dos operarios; para esto se selecciona un trabajador de ocupación especializada, el cual se encarga de la producción diaria, según el MTSS (2022) el pago por jornada de este es de ₡12 139,1, por lo que al mes es de aproximadamente ₡263 735,9 y al año considerando el aguinaldo y vacaciones es de ₡3 428 566 (\$5 057). El segundo operario es un trabajador de especialización superior el cual se encargaran de la limpieza de los equipos y de las pruebas de laboratorio que se realizan a lo largo del proceso; según el MTSS (2022) el pago por jornada de este es de ₡14 205,1, por lo que al mes es de aproximadamente ₡308 623,5 y al año considerando el aguinaldo y vacaciones es de ₡4 012 105 (\$5 918).

Se toma en cuenta el salario de un Administrador de Empresas el cual se encargará de la parte administrativa y ventas de la planta, según el MTSS (2022) el salario mensual de un bachiller es de aproximadamente ₡580 780,2, por lo que tomando en cuenta aguinaldo y vacaiones anualmente se requiere un monto de ₡7 550 143 (\$11 136). El Cuadro 7.5 resumen el salario de cada empleado.

Cuadro 7.5. Resumen del monto anual de los salarios para cada puesto.

Puesto	Monto anual	
	Colones/ (₡)	Dólares/ (\$)
Trabajador de ocupación especializada	3 428 566	5 057
Trabajador de especialización superior	4 012 105	5 918
Administrador	7 550 143	11 136
Total	14 990 814	22 110

Finalmente, se toman en cuenta un regente químico externo, al cual se le pagará por horas. Según la Normativa del Colegio de Químicos de Costa Rica N^o 34699-MINAE-S, la cantidad de horas de regente externo depende del tipo de proceso que se desarrolle y también la ubicación de la planta. La planta es de tipo A ya que se manejan distintos reactivos inflamables y el producto final también lo es, además la zona en la que se ubica la planta no se encuentra dentro de una zona franca, por lo que la cantidad de horas mensuales requeridas es de al menos dos (Procuraduría General de la República de Costa Rica, 2004). Ahora bien según las tasas de servicio establecidas por el Colegio de Ingenieros Químicos y Profesionales Afines (CIQPA), la hora mensual de un regente externo es de mínimo ₡57 400 (Procuraduría General de la República de Costa Rica, 2014), por lo que al año se pagarían ₡1 377 600 (\$2 032).

- Servicios Auxiliares

Para abastecer el suministro de agua, se contrata el servicio fijo ordinario de la Municipalidad de Alajuela. El cual tiene un costo fijo mensual de ₡19 634 (\$28,96) y anual sería de ₡235 619 (\$348) (Municipalidad de Alajuela, 2021).

El servicio de electricidad es brindado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Se tiene que el consumo anual es de aproximadamente 251 022 kWh, según las tarifas del ICE un kWh tiene un costo de ₡142,38 (\$0,21) (Instituto Costarricense de Electricidad, 2021), por lo que el costo anual sería de ₡35 740 512 (\$52 715).

Con lo anterior, el costo anual para servicios auxiliares es de ₡35 976 131 (\$53 062).

- Mantenimiento y Reparaciones

Siguiendo la metodología de Peters *et al.* (2003) el costo del mantenimiento y la reparación se estima entre un 2% y 10% de la inversión de capital fijo, por el

tamaño de este proyecto se selecciona un porcentaje de 2 % por lo que el costo anual es de ₡1 090 181 (\$1 608).

En el Cuadro 7.6 se presenta el resumen de los costos directos de Producción anuales.

Cuadro 7.6. Resumen de los Costos Directos de Producción.

Rubro	Monto anual	
	Colones/ (₡)	Dólares/ (\$)
Materias Primas	18 881 168	27 848
Salarios y Regencia	16 368 414	24 142
Servicios Auxiliares	35 976 131	53 062
Mantenimiento y Reparación	10 901 181	1 608
Costo Directo de Producción	72 315 894	106 661

B. Gastos Fijos

▪ Depreciación

Según Peters *et al.* (2003) a modo general el costo de la depreciación es de aproximadamente el 10 % del costo de los equipos adquiridos, por lo que se define un costo de depreciación de ₡2 907 264 (\$4 288).

▪ Seguros

En este caso se toma el costo del seguro médico de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) y el de la póliza de riesgo del Instituto Nacional de Seguros (INS). Según la CCSS el patrono mensualmente debe cancelar un 26.5 % del salario del trabajador y en el caso del INS la póliza representa un aproximado del 3 % del salario. Por lo anterior, anualmente en seguros se cancela un 29.5 % del costo de los salarios. Al año la empresa paga ₡14 990 814 (\$22 110) en salarios (no se toma en cuenta el del regente externo ya que no es un puesto fijo), por lo que en seguros anualmente se cancela ₡4 422 290 (\$6 523).

- Alquileres

Consultando diferentes alquileres en la Garita de Alajuela se determinó que en promedio el costo mensual del alquiler de la bodega en la que se va a instalar la planta es de ₡1 049 544 (\$1 548) (InmoTico, 2021), por lo que anualmente el alquiler es ₡12 594 528 (\$18 576).

- Financiamiento

Se plantea solicitar un préstamo para cubrir la inversión de capital fija, la cual tiene un valor de ₡54 509 044 (\$80 397) este se saca a un plazo a 10 años y según el Banco de Costa Rica (2021) con un tasa de interés del 7,3 % se debe cancelar anualmente ₡8 151 377 (\$12 023).

En el Cuadro 7.7 se presenta el resumen de los gastos fijos.

Cuadro 7.7. Resumen de los Gasto Fijos anuales.

Rubro	Monto anual	
	Colones/ (₡)	Dólares/ (\$)
Depreciación	2 907 264	4
288 Seguros	4 422 290	6 523
Alquileres	12 594 528	18 576
Financiamiento	8 151 377	12 023
Gastos Fijo	28 075 459	41 409

C. Gastos Generales de la Planta

- Limpieza General

Para este rubro se destinan ₡558 422 (\$813) anuales para la compra de productos de limpieza como desinfectantes, jabón, entre otros en el Cuadro B.6 que se encuentra en el Apéndice B, se presenta el desglose de los distintos productos.

- Embalaje

El biodiésel se va a empacar en garrafas de 60 L, anualmente se requieren aproximadamente 263 unidades, consultando varios proveedores se selecciona Renvasa, cada una de estas garrafas cuesta ₡9 700 (\$14) (Renvasa, 2021) por lo que anualmente se invierte ₡2 496 396 (\$3 682) en este rubro.

En el Cuadro 7.8 se presenta el resumen de los gastos generales de la planta.

Cuadro 7.8. Resumen de los Gastos Generales de la Planta.

Rubro	Monto anual	
	Colones/ (₡)	Dólares/ (\$)
Limpieza General	558 442	813
Embalaje	2 496 396	3 682
Gastos Generales de la Planta	3 047 522	4 495

En el Cuadro 7.9 se presenta el resumen de la estimación del Costo Total del Producto.

Cuadro 7.9. Resumen del Costo Total del Producto.

Rubro	Monto anual	
	Colones/ (₡)	Dólares/ (\$)
Costo Directo de Producción	72 315 894	106 661
Gastos Fijos	28 075 676	41 409
Gastos Generales de la Planta	3 047 522	4 495
Costo Total del Producto Anual	103 439 092	152 565

7.3. Estimación del Precio de Venta y la Ganancia del Producto

Se tiene que el costo total de producción anual del biodiésel es de ₡103 439 092 (\$152 565) para la producción anual de biodiésel de 15 912 L. Por lo que el costo de producir cada litro es de ₡6 501 (\$9,58) este precio es elevado si se compara con el

precio de venta del biodiésel en el país, el cual es de aproximadamente ₡800 (\$1,12) por litro.

Partiendo de que el volumen de producción se determinó tomando en cuenta las personas que estarían dispuestas a pagar al menos el mismo precio del diésel, al 3 de julio del 2022 el precio del diésel es de ₡909 (\$1,34) por litro. Por lo que se tomará este como precio de venta del biodiésel. Con lo anterior, anualmente se tendría un ingreso de ₡14 464 008 (\$21 333) por los 15 912L de biodiésel.

Otra ganancia que se obtiene del proceso es el glicerol que se genera como subproducto, el cual se vende a alguna empresa que lo utilice como materia prima, anualmente se generan aproximadamente 1 768 L. Es importante resaltar que este glicerol no ha pasado por un proceso de purificación, por lo que su precio es bajo. Consultando algunas fuentes, el precio por litro de este subproducto, bajo las condiciones antes mencionadas, es de aproximadamente ₡1 356 (\$2) (Alibaba, 2021a), por lo que al año se tendría una ganancia de ₡2 397 408 (\$3 536).

7.4. Flujo de Caja

El préstamo solicitado es en dólares, por lo que el flujo de caja es realiza en esta moneda. Como se menciono anteriormente, se solicita un financiamiento para cubrir la inversión de capital fijo, este se saca a un plazo de 10 años con una tasa de interés anual del 7,3% . En el Cuadro 7.10 se muestra la cuota, el interés y la amortización anual para los 10 años en los que se planteó pagar el préstamo.

Cuadro 7.10. Cuota, interés y amortización anual del préstamo solicitado.

Año	Principal	Cuota	Interés	Amortización
1	80 396,82	-11 605,95	5 868,97	-5 736,98
2	74 659,84	-11 605,95	5 450,17	-6 155,78
3	68 504,06	-11 605,95	5 000,80	-6 605,15
4	61 898,90	-11 605,95	4 518,62	-7 087,33
5	54 811,57	-11 605,95	4 001,24	-7 604,70
6	47 206,87	-11 605,95	3 446,10	-8 159,85
7	39 047,02	-11 605,95	2 850,43	-8 755,52
8	30 291,51	-11 605,95	2 211,28	-9 394,67
9	20 896,84	-11 605,95	1 525,47	-10 080,48
10	10 816,36	-11 605,95	789,59	-10 816,36

Una vez que se tiene la información pertinente del préstamo solicitado, se procede a analizar el flujo de caja que se presenta en la Figura 7.1. Como el préstamo se solicita a 10 años, este flujo se realiza en este mismo periodo. Primero se tienen los ingresos relacionados con la venta del biodiésel y del glicerol, a estos se les debe restar los costos de operación, la depreciación de los equipos y los intereses relacionados con el préstamo; el resultado de este cálculo genera la utilidad bruta, según el Ministerio de Hacienda (2021) el 10% de esta representa el impuesto de la renta y se le debe restar para obtener la utilidad neta de cada año. Para obtener el flujo neto a la utilidad neta se le sumó la depreciación y se le restó la amortización del préstamo. Es importante mencionar que al inicio del proyecto (año cero) se toma en cuenta el préstamo, la inversión de capital fijo y el capital de trabajo, es decir todo lo requerido para iniciar la producción.

Flujo de caja						
Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos por biodiésel		\$21 333,0	\$21 333,0	\$21 333,0	\$21 333,0	\$21 333,0
Ingresos por glicerol		\$3 536,0	\$3 536,0	\$3 536,0	\$3 536,0	\$3 536,0
Costos operación		-\$152 565,0	-\$152 565,0	-\$152 565,0	-\$152 565,0	-\$152 565,0
Menos depreciación		-\$4 288,0	-\$4 288,0	-\$4 288,0	-\$4 288,0	-\$4 288,0
Menos intereses		-\$5 869,0	-\$5 450,2	-\$5 000,8	-\$4 518,6	-\$4 001,2
Utilidad bruta		-\$137 853,0	-\$137 434,2	-\$136 984,8	-\$136 502,7	-\$135 985,3
Impuestos		-\$13 785,3	-\$13 743,4	-\$13 698,5	-\$13 650,3	-\$13 598,5
Utilidad neta		-\$151 638,3	-\$151 177,6	-\$150 683,3	-\$150 152,9	-\$149 583,8
Más depreciación		\$4 288,0	\$4 288,0	\$4 288,0	\$4 288,0	\$4 288,0
Menos amortización		-\$5 737,0	-\$6 155,8	-\$6 605,2	-\$7 087,3	-\$7 604,7
ICF	-\$80 396,8					
Capital de trabajo	-\$14 628,3					
Préstamo	\$80 396,8					
Flujo neto	-\$14 628,3	-\$153 087,3	-\$153 045,4	-\$153 000,5	-\$152 952,2	-\$152 900,5

Figura 7.1a. Flujo de Caja del Proyecto de los primeros 5 años del proyecto.

Flujo de caja					
Año	6	7	8	9	10
Ingresos por biodiésel	\$21 333,0	\$21 333,0	\$21 333,0	\$21 333,0	\$21 333,0
Ingresos por glicerol	\$3 536,0	\$3 536,0	\$3 536,0	\$3 536,0	\$3 536,0
Costos operación	-\$152 565,0	-\$152 565,0	-\$152 565,0	-\$152 565,0	-\$152 565,0
Menos depreciación	-\$4 288,0	-\$4 288,0	-\$4 288,0	-\$4 288,0	-\$4 288,0
Menos intereses	-\$3 446,1	-\$2 850,4	-\$2 211,3	-\$1 525,5	-\$789,6
Utilidad bruta	-\$135 430,1	-\$134 834,5	-\$134 195,3	-\$133 509,5	-\$132 773,6
Impuestos	-\$13 543,0	-\$13 483,4	-\$13 419,5	-\$13 351,0	-\$13 277,4
Utilidad neta	-\$148 973,1	-\$148 317,9	-\$147 614,8	-\$146 860,5	-\$146 051,0
Más depreciación	\$4 288,0	\$4 288,0	\$4 288,0	\$4 288,0	\$4 288,0
Menos amortización	-\$8 159,8	-\$8 755,5	-\$9 394,7	-\$10 080,5	-\$10 816,4
ICF					
Capital de trabajo					
Préstamo					
Flujo neto	-\$152 845,0	-\$152 785,4	-\$152 721,5	-\$152 652,9	-\$152 579,3

Figura 7.1b. Flujo de Caja del Proyecto del año 6 al 10.

A partir del flujo de caja anterior, se estima la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el periodo de recuperación de la inversión (PRI) del proyecto. Ante las condiciones antes mencionadas, se obtuvo un valor de VAN negativo (-\$954 132,97) y el TIR no se puede estimar ya que durante los diez años el flujo neto es negativo. Por otro lado, para el flujo de caja establecido, en los diez años no se recupera la inversión.

Los resultados antes mencionados están relacionados con que el costo de producir cada litro de biodiésel es de ₡6 385 (\$9,42); mientras que su precio de venta por litro es de ₡909 (\$1,34). Es decir que realmente el proyecto no genera ganancias y en su lugar se tienen pérdidas; ante estas condiciones el proyecto no es rentable. Con el fin

de evaluar si la rentabilidad del proyecto mejora, a continuación se realiza un análisis de sensibilidad y riesgo en el cual se modifican distintos puntos del flujo de caja.

7.5. Análisis de Sensibilidad y Riesgo

Con el fin de analizar la sensibilidad y el riesgo financiero del proyecto, se analizan tres casos: uno donde se aumente la producción, otro donde se evalúen potenciales ahorros y finalmente uno donde se varíe el precio de venta, la variable respuesta para cualquiera de los casos es el TIR y el VAN.

■ Aumento de la producción

Para lograr aumentar la producción se evalúa la opción de aumentar los turnos de la empresa, para esto, los rubros de materia prima, servicios auxiliares, embalaje, salarios y seguros se verían afectados. Es importante mencionar que se plantea que este aumento de turnos no se dé los primeros meses, por lo que el capital de trabajo no se ve afectado.

Para este caso se contrataría a un operario para cada uno de los turnos extra, y la persona que se encarga en el primer turno de las pruebas de calidad del producto, haría las de los tres turnos durante su jornada de trabajo. En la Figura 7.2, se puede observar el comportamiento del VAN conforme se aumenta el volumen de producción, en este caso el VAN se mantiene negativo y no se observa una mejora en el proyecto. Esto se debe principalmente a que la única manera de aumentar la producción es agregando entre uno y dos turnos más, pero esto a la vez implica que no solo los costos de materia prima y servicios auxiliares aumenten, si no que también aumenta el monto de salarios y seguro; y aunque solo se agregue una persona, los turnos nuevos son mixtos y nocturnos y por ende el salario es mayor al de una jornada diurna. Vale aclarar que no se presenta un gráfico de TIR debido a que en los diez años no hay ni un solo flujo neto positivo y por ende esta tasa no se puede estimar.

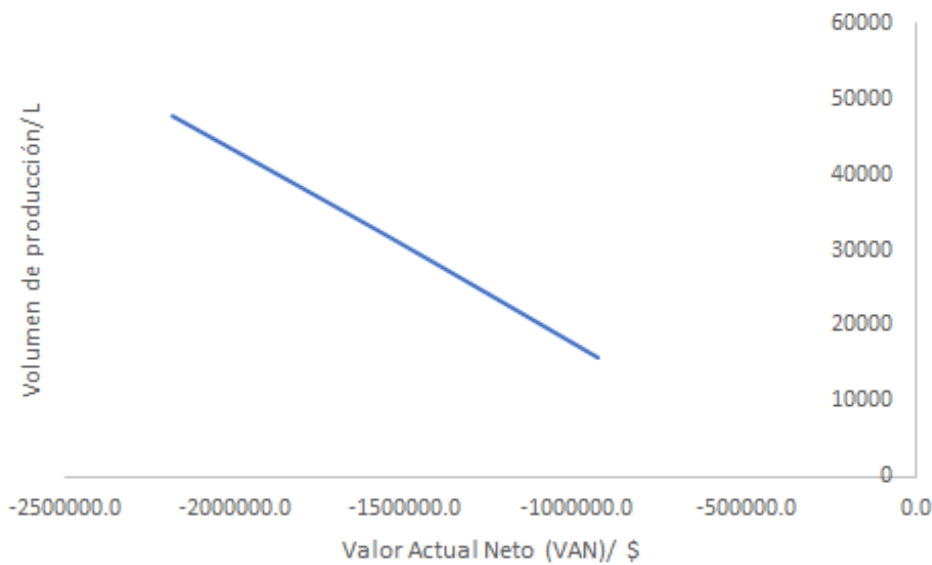


Figura 7.2. Comportamiento del VAN con el aumento del volumen de producción (elaboración propia).

■ Potenciales ahorros al proyecto

Otro punto muy importante a evaluar es la reducción del costo de operación, para esto se evalúa la disminución de los rubros de salarios y seguros para el cual se trabajaría con un solo operario de especialización superior. También se analiza la disminución del financiamiento, con este último variaría la inversión de capital, específicamente reduciendo el costo de la instalación eléctrica ya que si la planta a utilizar cuenta con las condiciones adecuadas, el costo de este rubro también disminuye. De igual forma, de manera indirecta el capital de trabajo de los primeros tres meses disminuye.

Analizando los montos de financiamiento (tomando en cuenta el rubro de instalación eléctrica), salarios y seguros, estos se pueden disminuir en un máximo de \$5 066 016 (\$7 472) el cual representa aproximadamente un 5% del costo de operación del caso base. Por lo anterior, el estudio se realiza disminuyendo el costo de operación de 0% a 5%.

En la Figura 7.3, se observa que aunque se disminuya el costo de operación en un

5% el proyecto no llega a ser rentable y por este el VAN se mantiene negativo. En este caso sucede lo mismo que en el anterior, en los diez años no hay ni un solo flujo neto positivo y por ende esta tasa no se puede estimar. Es importante aclarar que pese a que el VAN no indica rentabilidad, sí se observa una mejora que de alguna manera favorece el proyecto.

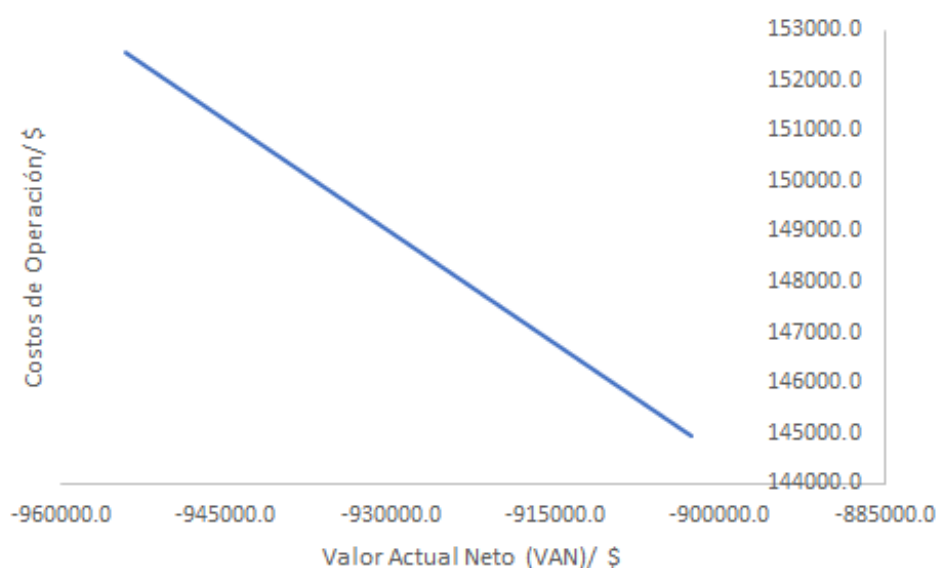


Figura 7.3. Comportamiento del VAN con la disminución de los costos de operación (elaboración propia).

▪ Variación del precio de venta

Con el fin de estimar el costo mínimo viable, se plantea tomar el caso anterior que abarca los posibles ahorros al proceso y con el resto de datos del caso base, se plantea determinar el precio mínimo que debe tener el proyecto para que sea rentable. Para esto se parte del precio de venta del caso base (C909 (\$1,34) por litro). Vale rescatar que no se toma en cuenta el caso en el que se aumenta la producción porque esta no generó una mejora a la rentabilidad del proyecto en ninguno de los puntos evaluados.

Al evaluar los distintos precios de venta del biodiésel, se determina que el proyecto llega a generar una ganancia, cuando el precio de venta mínimo es de \$9,74

(C\$6 604) por litro de biocombustible (ver Figura 7.4).

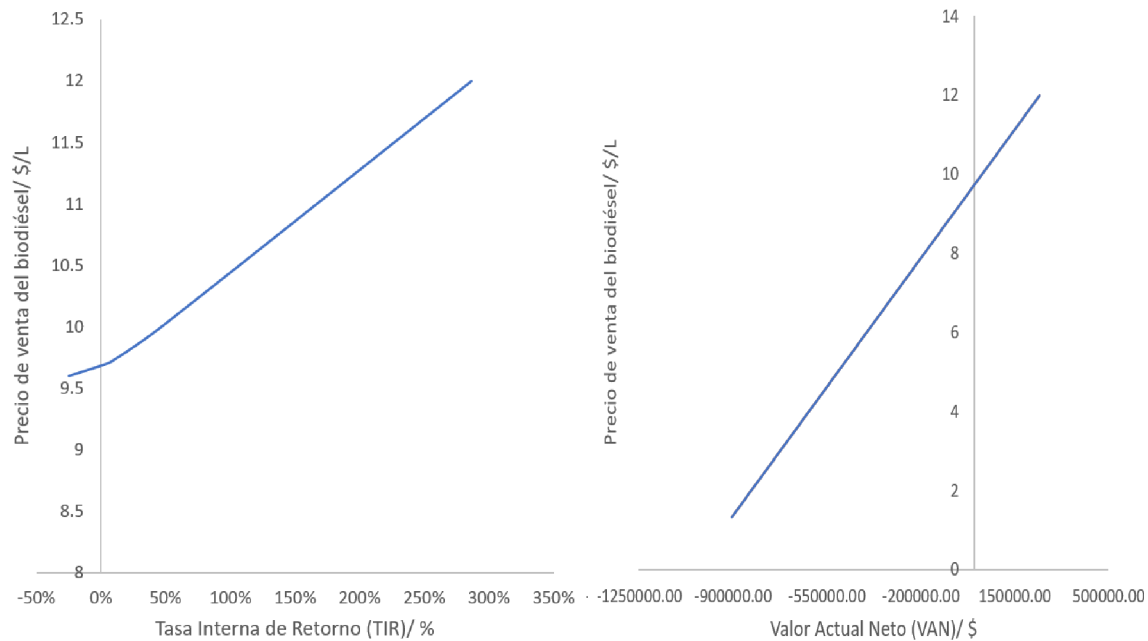


Figura 7.4. Comportamiento del VAN con la disminución de los costos de operación (elaboración propia).

Con el análisis anterior se determina que a nivel financiero el proyecto no llega a ser viable, ya que el precio mínimo con el que se genera una ganancia es de \$9,74 (C\$6 604) por litro. Este precio es sumamente alto si se compara con el de las otras empresas que producen biodiésel o incluso con el diésel como tal, donde en ambos casos la precio no llega ni a \$1,4 (C\$949) por litro. Es decir que no es factible competir en un mercado donde el precio de las otras productoras de biocombustible y del combustible a sustituir es mucho más bajo (aproximadamente \$8,30 por litro menos). Es decir que se determina que bajo las condiciones establecidas, a nivel financiero el proyecto no es viable.

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- ☞ Por su rendimiento y al ser el sustituto del hidrocarburo de mayor importación en el país, de los biocombustible líquidos obtenidos a partir de la pulpa de café que se evaluaron, el biodiésel es el que tiene mayor potencial productivo en el país.
- ☞ El seleccionar a partir de los resultados de la encuesta la región central del país como zona a abastecer, el biodiésel como bicocombustible a producir y un costo igual o mayor al del diésel como posible precio de venta, generaron que el volumen a producir de biodiésel fuera de 15 912 L por año.
- ☞ Los tiempos de separación de hasta 12 h y el hecho de que tanto las grasas como el biodiésel deban pasar por un análisis de laboratorio para asegurar que cumplan con las condiciones indicadas en RTCA 75.02.43:07, hacen que para alcanzar las condiciones del proceso diseñado se requiera trabajar cinco días a la semana con un volumen de producción de 318,24 L de biodiésel.
- ☞ El contar con equipos y materia prima que se adapten con facilidad a las condiciones estimadas en cada etapa del proceso, hacen que a nivel técnico el proyecto sea factible y por ende se pueda llevar a cabo.
- ☞ El elevado precio de producción (C\$ 6 500 (\$9,59) por litro) y el bajo precio de venta (C\$ 909 (\$1,34) por litro) del biodiésel, donde no se genera ninguna ganancia, ocasionan que la producción de este biocombustible, bajo las condiciones establecidas, no sea financieramente viable.
- ☞ La pérdida de rentabilidad financiera del proyecto al aumentar la producción, genera que este no sea financieramente atractivo y al mismo tiempo viable.
- ☞ Por la naturaleza del proyecto y los requisitos con los que este debe cumplir, el seguir las medidas correctas para el manejo de sustancias peligrosas y al mismo

tiempo clasificar correctamente el proceso que se va a desarrollar son factores indispensables a nivel legal y ambiental para tener un adecuado desarrollo del proyecto.

8.2. Recomendaciones

- ☛ Extender la evaluación de mercado utilizando otros medios para conocer la opinión de los posibles compradores, esto con el fin de abarcar una mayor población de distintas generaciones y al mismo tiempo disminuir cualquier tipo de sesgo.
- ☛ Evaluar la prefactibilidad técnica y financiera de este proyecto al ser instalado en alguna empresa que ya produzca biodiésel, es decir que ya cuente con los equipos necesarios para la operación, esto con el fin de analizar si las condiciones a nivel financiero del proyecto mejoran.
- ☛ Se recomienda realizar pruebas a nivel de laboratorio con los parámetros seleccionados para la producción del biodiésel, con el fin de evaluar si se pueden replicar las condiciones documentadas en los distintos artículos científicos y al mismo tiempo determinar puntos de mejora en el proceso.

NOMENCLATURA

Acrónimos

ARESEP Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos

CCSS Caja Costarricense del Seguro Social

CIUU Clasificación Industrial Internacional Uniforme

FANAL Fabrica Nacional de Licores

FODEA Ley de Fomento a la Producción Agropecuaria

INS Instituto Nacional de Seguros

INVU Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo

KOH Hidróxido de Potasio

MAG Ministerio de Agricultura y Ganadería

MINAE Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica

MSDS Material Safety Data Sheet

NFPA National Fire Protection Association

PRI Periodo de Recuperación de la Inversión

PROCOMER Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica

PVC Policloruro de Vinilo

RECOPE Refinadora Costarricense de Petróleo

SETENA Secretaría Técnica Nacional Ambiental

SIA Significancia de Impacto Ambiental

TIR Tasa Interna de Retorno

VAN Valor Actual Neto

Griegas

η Eficiencia %

Mayúsculas

Cp Calor específico J/kgK

D Demanda L/ao

H Entalpía J/kg

M Monto ¢/mes

MM Masa Molar g/mol

N Tamaño de la población personas

N Unidades adim

Q Calor transferido W

R Relación Molar mol/mol

T Temperatura C

V Flujo volumétrico L/día

X Humedad %

Z Nivel de confianza %

Minúsculas

e Margen de error %

n Muestra mínima personas p

p Probabilidad de que ocurra el evento %

q Probabilidad de que no ocurra el evento %

Superíndices

vap Vapor

Subíndices

KOH Hidróxido de Potasio

MeOH Metanol

RV Rotavapor

T Transferencia

a Aire

bh Bulbo húmedo

cond Condensación

d Decantador

ebu Ebullición

g Gaseoso

h Húmeda

i Entrada

l Líquido

max Máximo

min Mínimo

o Salida

p Pulpa

r Reactor

s Seca

sep Separación

v Vapor

w Agua

BIBLIOGRAFÍA

- Aiello, C., Salazar, Y., y Ysambertt, F. (2019). Producción de biodiésel a partir de las grasas extraídas de la borra de café: esterificación con H_2SO_4 y transesterificación en *conkoh*. 29(1) : 53 – 66.
- Alibaba (2020). Jnban 750l 1500l 3000l medium and large extractor herbal machine extraction production units. Accesado el día 19 de Septiembre del 2021 mediante https://www.alibaba.com/product-detail/1500l-Extractor-Extraction-Jnban-750L-1500L_1600524396467.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.2176511fz7Z75v&s=p.
- Alibaba (2021). Destilador de equipos eléctricos de aceite esencial. Accesado el día 19 de Septiembre del 2021 mediante [://spanish.alibaba.com/p-detail/100L-1600113965893.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.382d306cJREPbhs=p](https://spanish.alibaba.com/p-detail/100L-1600113965893.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.382d306cJREPbhs=p).
- Alibaba (2021a). Glicerol. Accesado el día 21 de Noviembre del 2021 mediante <https://spanish.alibaba.com/g/glycerol-sale.html>.
- Alibaba (2021b). Maquinaria. Accesado el día 22 de Septiembre del 2021 mediante <https://spanish.alibaba.com/product-detail/>.
- Alibaba (2021a). Secador de frutas y verduras, 2000kg por lote. Accesado el día 11 de Julio del 2022 mediante <https://spanish.alibaba.com>.
- Alibaba (2021b). Tanque mezclador de líquido de acero inoxidable. Accesado el día 01 de Noviembre del 2021 mediante <https://spanish.alibaba.com>.
- Anwar, M. (2021). Biodiesel feedstocks selection strategies based on economic , technical , and sustainable aspects. *Fuel*, 283(May 2020):119204.
- ARESEP (2022). *Tarifas vigentes de combustibles líquidos*. Accesado el día 04 de Abril del 2022 mediante <https://aresep.go.cr/combustible/tarifas>.

- Balinge, K. R. y Balakrishnan, J. (2020). Materials Today : Proceedings Mini review on recent progress toward sustainable production of biodiesel from biomass. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx):8–10.
- Banco Central (2022). Tipo de cambio. Accesado el día 18 de mayo del 2022 mediante <https://tipodecambio.larepublica.net/>.
- Banco de Costa Rica (2021). Tasas de interés de los créditos. Accesado el día 07 de Noviembre del 2021 mediante https://www.bancobcr.com/wps/portal/bcr/bancobcr/soporte/cotizador/cotizador_dolares/.
- Baselga, L. (s.f.). *Desarrollo y aplicaciones de los biocarburantes*. Chile: CONAMA.
- Blinová, L., Bartosová, A., y Sirotiak, M. (2017). Biodiesel production from spent coffee grounds. 25:113–121.
- Boada (2021). Depósito inoxidable con fondo cónico de 60°. Accesado el día 19 de Septiembre del 2021 mediante <https://boadashop.com/>.
- Cano Cruz, O. (2014). Tipos de secado en alimentos. p. 74.
- Castro, C. (2020). Evaluación Del Biodiésel Producido a Partir De Aserrín De Café Bajo Un Proceso De Transesterificación a Nivel Laboratorio Como Fuente De Energía Alternativa. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9):1689–1699.
- D 33601 (2010). *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*. Accesado el día 2 de Mayo del 2021 mediante http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=59524&nValor3=83250&strTipM=TC.
- D 34728-S (2012). *Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento del Ministerio de Salud*. Accesado el día 2 de Mayo del 2021 mediante http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=63938&nValor3=92587&strTipM=TC.
- D 40050 (2016). *Reglamento de Biocombustibles líquidos y sus mezclas*. Accesado el día 2 de Mayo del 2021 mediante <http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/>

Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83579&nValor3=107514&strTipM=TC.

Dahiya, A. (2020). *Bionergy: Biomass to Biofuels and Waste to Energy*.

Dattatraya, G., Bhosale, R., Shobana, S., Banu, J. R., Pugazhendhi, A., Mahmoud, E., Sirohi, R., Kant Bhatia, S., Atabani, A. E., Mulone, V., Yoon, J. J., Seung Shin, H., y Kumar, G. (2020). A review on valorization of spent coffee grounds (SCG) towards biopolymers and biocatalysts production. *Bioresource Technology*, 314(July):123800.

Duarte, A., Carlos, J., y Sarache, W. (2021). Economic , environmental , and social assessment of bioethanol production using multiple coffee crop residues s Calder o n d. 216.

Energías Biodegradables (2021). *Tienda Virtual*. Accesado el día 26 de Junio del 2021 mediante <https://www.energiasbiodegradables.com/>.

EPA (2021a). Tubo pvc. Accesado el día 01 de Noviembre del 2021 mediante <https://cr.epaenlinea.com/tubo-de-pvc-sdr-50-2-x-1-m.html>.

EPA (2021b). Válvulas. Accesado el día 16 de Julio del 2022 mediante <https://cr.epaenlinea.com/catalogsearch/result/?q=valvula+>.

Fanal (2022). *Productos*. Accesado el día 9 de Mayo del 2022 mediante <https://fanal.co.cr/>.

Fogler, S. (2008). *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas Cuarta edición*. México: Pearson Education.

García, A. (2013). *Estimación del potencial de producción de biocombustibles en Costa Rica a partir de cultivos energéticos, agroenergéticos y aceites usados, al 2021*. (Tesis para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Costa Rica) . Accesado el día 9 de Abril del 2021 mediante <https://repositoriotec.tec.ac.cr/>.

- Gluu (2022). Hidróxido de potasio (koh). Accesado el día 16 de Julio del 2022 mediante <https://www.gluuhandmade.com/product/hidroxido-de-potasio-koh/>.
- Hernández, D., Jiménez, G., Aguirre, D., y Mantilla, M. (2018). Emission comparisson of engines using e0 and e10 fuel during transient driving cycle. 39(1):3–12.
- ICAFFE (2021). Informe sobre la actividad cafetalera de costa rica. Accesado el día 8 de Mayo del 2022 mediante http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informacion_mercado/informes_actividad/actual/Informe%20Actividad%20Cafetalera.pdf.
- INEGI (2022). Índice nacional de precios al consumidor. Accesado el día 09 de Julio del 2022 mediante <https://www.inegi.org.mx/>.
- InmoTico (2021). Alquiler bodegas. Accesado el día 07 de Noviembre del 2021 mediante <https://www.inmotico.com/>.
- Instituto Costarricense de Electricidad (2021). Disposiciones generales consumo eléctrico. Accesado el día 02 de Noviembre del 2021 mediante <https://www.grupoice.com/>.
- INVU (2012). *Reglamento de Construcciones*. Accesado el día 3 de Mayo del 2021 mediante http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=53161&nValor3=91036&strTipM=TC.
- Kamil, M., Ramadan, K. M., Awad, O. I., Ibrahim, T. K., Inayat, A., y Ma, X. (2019). Environmental impacts of biodiesel production from waste spent coffee grounds and its implementation in a compression ignition engine. *Science of the Total Environment*, 675:13–30.
- Khuong, L. S., Zulkifli, N. W. M., Masjuki, H. H., Mohamad, E. N., Arslan, A., Mosarof, M. H., y Azham, A. (2016). A review on the effect of bioethanol dilution on the properties and performance of automotive lubricants in gasoline engines. *RSC Advances*, 6(January):66847–66869.
- La República (2018). *Costa Rica es el tercer país con mayor densidad vehicular de Latinoamérica*. Accesado el día 9 de Mayo del 2021 mediante <https://www.larepublica.net/>.

- Lombana, J., Vega, J., Britton, E., y Herrera, S. (2015). *Análisis del sector biodiesel en Colombia y su cadena de suministro*. Colombia: Universidad del Norte.
- López, B. (2011). *Plan Estratégico de producción de biodiésel para consumo propio en una industria azucarera Guatemalteca*. (Tesis para optar por el título de Maestría en Energía y Ambiente, Universidad de San Carlos de Guatemala). Accesado el día 27 de Junio de 2021 mediante <https://core.ac.uk/download/pdf/45359533.pdf>.
- Made In China (2021). Reactor químico de acero inoxidable de calefacción eléctrica industrial. Accesado el día 22 de Septiembre del 2021 mediante https://spanish.alibaba.com/product-detail/1m3-industrial-electric-heating-stainless-steel-chemical-reactor-1600306998935.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_title.7b325b236oI05K&zs=p.
- Made In China TM (2021). ph meter. Accesado el día 01 de Noviembre del 2021 mediante <https://kinglead.en.made-in-china.com/product/CqXJUMdufxly/China-High-Precision-Water-Test-pH-Meter-pH-025M-.html>.
- Madriz, L. (2021). Producción de biocombustibles en costa rica/ entrevistado por lilliam gamboa.
- McCabe, W., Smith, J., y Harriott, P. (2007). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. México: The McGraw-Hill Companies. Accesado el día 8 de Agosto del 2021.
- Medina, Chávez, y Jáuregui (2012). Biodiesel , un combustible renovable. *Investigación y Ciencia*, (55):1–9.
- MIDEPLAN (2022). Plan nacional de desarrollo y de inversión pública 2019-2022 (vigente). Accesado el día 09 de Julio del 2022 mediante <https://www.mideplan.go.cr/plan-nacional-desarrollo>.
- MINAE y MAG (2008). *Programa Nacional de Biocombustibles*. Accesado el día 26 de Junio del 2021 mediante <https://sepse.go.cr/>.

- Ministerio de Hacienda (2021). Ejemplos cálculos impuesto sobre la renta. Accesado el día 29 de Noviembre del 2021 mediante <https://www.hacienda.go.cr/contenido/14448-ejemplos-calculos-impuesto-sobre-la-renta>.
- Ministerio de Hacienda (2022). Calculando impuestos de las mercancías. Accesado el día 03 de julio del 2022 mediante <https://www.hacienda.go.cr>.
- Mora, P. (2018). *Mejoramiento de la producción de inóculo para biotratamiento de pulpa de café con fines de aprovechamiento energético*. (Tesis para optar por el título de Licenciatura En Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica). Accesado el día 9 de Abril del 2021 mediante <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/>.
- Moreno, J. (2017). Biobutanol como combustible: una alternativa sustentable. Accesado el día 8 de Mayo del 2021 mediante <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/index>.
- MTSS (2022). Lista de salarios mínimos del sector privado. Accesado el día 16 de Julio del 2022 mediante <https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/lista-salarios.html>.
- Municipalidad de Alajuela (2021). Tarifas. Accesado el día 02 de Noviembre del 2021 mediante <https://www.munialajuela.go.cr/servicios/impuestos/tarifas>.
- Nguyen, H. C., Nguyen, M. L., Wang, F. M., Juan, H. Y., y Su, C. H. (2020). Biodiesel production by direct transesterification of wet spent coffee grounds using switchable solvent as a catalyst and solvent. *Bioresource Technology*, 296(October 2019):122334.
- Nguyen, Q. A., Cho, E., Trinh, L. T. P., su Jeong, J., y Bae, H. J. (2017). Development of an integrated process to produce D-mannose and bioethanol from coffee residue waste. *Bioresource Technology*, 244(August):1039–1048.
- Orrego, D., Zapata-Zapata, A. D., y Kim, D. (2018). Ethanol production from coffee mucilage fermentation by *S. cerevisiae* immobilized in calcium-alginate beads. *Bioresource Technology Reports*, 3(August):200–204.
- Ortiz, J. (2011). *Análisis de sistemas catalíticos empleados en la obtención de biodiésel a partir de aceites de *Jatropha Curcas**. (Caso de estudio para optar por la

especialidad en Química Aplicada: Análisis y evaluación de polímeros). Accesado el día 9 de Abril del 2021 mediante <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/378/1/Juan%20Carlos%20Ortiz%20Rodriguez.pdf>.

Pasqualino, J. (2014). Uso de biodiesel en la biorremediación de derrames de petróleo crudo. 1(14):69–78.

PCE (2021). Medición de temperatura. Accesado el día 01 de Noviembre del 2021 mediante <https://www.pce-instruments.com>.

Pereira, A. (2017). *Avaliação química e sensorial de café Catuaí amarelo fermentado pelo processamento por via seca com inoculação de leveduras*. (Tesis para optar por el título de Maestría en Ciencias de Alimentos, Universidad Federal de Lavras). Accesado el día 9 de Abril del 2021 mediante http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/12581/2/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Avalia%C3%A7%C3%A3o%20qu%C3%ADmica%20e%20sensorial%20de%20caf%C3%A9%20Catua%C3%AD%20amarelo%20fermentado%20pelo%20processamento%20por%20via%20seca%20com%20inocula%C3%A7%C3%A3o%20de%20leveduras.pdf.

Peters, M., Timmerhaus, K., y West, R. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York: McGraw Hill Chemical Engineering Series.

PROCOMER (2020). Portal estadístico del comercio exterior. Accesado el día 19 de Marzo del 2020 mediante <http://sistemas.procomer.go.cr/estadisticas/inicio.aspx>.

Procuraduría General de la República de Costa Rica (1995). Ley de impuesto sobre bienes inmueble n^o 7509. Accesado el día 03 de Julio del 2022 mediante <http://www.pgrweb.go.cr/>.

Procuraduría General de la República de Costa Rica (2004). Reglamento al título ii de la ley orgánica del colegio de ingenieros químicos y profesionales afines y ley orgánica del colegio de químicos de costa rica, ley n^o 8412 del 22 de abril de 2004, normativa del colegio de químicos de costa rica n^o 34699-minae-s. Accesado el día 03 de Julio del 2022 mediante <http://www.pgrweb.go.cr/>.

- Procuraduría General de la República de Costa Rica (2014). Reglamento interno de tasas de servicios de ciqpa. Accesado el día 03 de Julio del 2022 mediante <http://www.pgrweb.go.cr/>.
- Racing CR (2022). Vp racing fuels m1. Accesado el día 16 de Julio del 2022 mediante <https://www.racing.cr/products/47/vp-racing-fuels-m1#descripcion>.
- RECOPE (2020a). *Datos Estadísticos Anuales de Importación*. Accesado el día 9 de Mayo del 2021 mediante <https://www.recope.go.cr>.
- RECOPE (2020b). *Gasolina Super + Etanol*. Accesado el día 9 de Mayo del 2021 mediante <https://www.recope.go.cr/productos/gasolina-etanol/>.
- Reid, R. y Sanders, N. (2013). *Operations Management An Integrated Approach*. USA: Wiley.
- Renvasa (2021). Pichinga 60 lts. Accesado el día 07 de Noviembre del 2021 mediante <https://www.renvasa.com/producto/pichinga-60-lts/>.
- Rodríguez, N. (2013). Producción de alcohol a partir de la pulpa de café. 64(2):78–93.
- RTCA 75.02.43:07 (2007). *Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.43:07 Biocombustibles. Biodiésel (BI00) y sus mezclas con aceite combustible diésel. Especificaciones*. Accesado el día 9 de Abril del 2021 mediante http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=61964&nValor3=70513&strTipM=TC.
- RTCA 75.02.46:07 (2005). *Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.02.46:07 Biocombustibles. Etanol Carburante Anhidro y el Etanol Carburante Anhidro Desnaturalizado. Especificaciones*. Accesado el día 9 de Abril del 2021 mediante http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/textos/regulamentos/NIC_85.pdf.
- Salas, A. (2013). *Estimación del potencial de producción de biocombustibles en Costa Rica a partir de cultivos energéticos , agroenergéticos y aceites usados , al 2021*. (Tesis para optar por el título de Ingeniera Ambiental, Tecnológico de Costa Rica). Accesado el día 26 de Junio de 2021 mediante <https://repositoriotec.tec.ac.cr/>.

- Salinas, E. y Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano.*, 157:75–82.
- Schneuer, D. (2010). *Estudio exoratorio para la producción de bioetanol y co-productos de refinéri, a partir de rastrojos de maíz.* (Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil Industrial, Universidad de Chile) . Accesado el día 9 de Abril del 2021 mediante <https://repositoriotec.tec.ac.cr/>.
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., y Kumari, D. (2019). Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review. *Fuel*, 253(May):60–71.
- SPrecision Weighing (2021). Ws600xl10 bench scale. Accesado el día 01 de Noviembre del 2021 mediante <https://scaleman.com/ws600xl10-bench-scale.html>.
- Thenepalli, T., Ramakrishna, C., y Ahn, J. W. (2017). Environmental Effect of the Coffee Waste and Anti-Microbial Property of Oyster Shell Waste Treatment. *Journal of Energy Engineering*, 26(2):39–49.
- Tun, M. M., Raclavská, H., Juchelková, D., Růžičková, J., Šafář, M., Štrbová, K., y Gikas, P. (2020). Spent coffee ground as renewable energy source: Evaluation of the drying processes. *Journal of Environmental Management*, 275(July).
- Uddin, M., Techato, K., Rasul, M., Hassan, N., y Mofijur, M. (2019). Waste coffee Oil: A promising source for biodiesel production. *Energy Procedia*, 160:677–682.
- Urribarrí, A., Zabala, A., Sánchez, J., Arenas, E., Chandler, C., Rincón, M., González, E., y Mazzarri, C. A. (2014). Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel Evaluation of the Potential for Used Coffee Grounds as Raw Material for Biodiesel Production. *Multiciencias*, 14(2):129–139.
- Vargas, A. (2019). Prefactibilidad técnica y financiera sobre la producción y comercialización de bebida fermentada de broza de café para el beneficio de coopetarrazu. 53(9):1689–1699.

Vignola, R., Watler, W., Poveda, K., y Vargas, A. (2018). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de café en Costa Rica*. Accesado el día 9 de Abril del 2021 mediante <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-cafe.pdf>.

Vindas, L. (2014). Productores de biodiesel no logran crecer más por falta de materia prima y de apoyo. Accesado el día 09 de Julio del 2022 mediante <https://www.elfinancierocr.com/negocios/productores-de-biodiesel-no-logran-crecer-mas-por-falta-de-materia-primay-de-apoyo/PCIBYTXZNFBBHNIVEJWMWWTNRM/story/>.

Voicu, G. y Ungureanu, N. (2018). Factors that influence the efficiency of the decanting process. (6).

Xtream Clean (2022). Suministros de limpieza. Accesado el día 22 de mayo del 2022 mediante <https://xtremecleancostarica.com>.

APÉNDICES

A. Encuesta Aplicada

Pregunta 1: Edad

- 18 a 30
- 31 a 40
- 41 a 50
- 51 a 60
- 61 a 70
- 71 en adelante

Pregunta 2: Región en la que reside

- Región Central
- Región Chorotega
- Región Pacífico Central
- Región Brunca
- Región Huetar Atlántica
- Región Huetar Norte

Pregunta 3: ¿Posee o conduce un vehículo (puede ser liviano o pesado)?

- Sí
- No

Pregunta 4: ¿Cuál tipo de vehículo conduce? En caso de poseer más de uno puede marcar varias opciones

- Automóvil
- Autobus
- Camión
- Buseteta
- Furgón
- Maquinaria agrícola

Maquinaria de construcción

Pregunta 5: ¿Cuál tipo de combustible utiliza su vehículo? En caso de poseer más de un vehículo y que estos sean de diferente combustible, puede marcar varias opciones

Diésel

Gasolina Regular

Gasolina Super

Pregunta 6: ¿Cuánto dinero gasta aproximadamente en combustible mensualmente?

Menos de ₡15 000

De ₡15 000 a ₡30 000

De ₡31 000 a ₡40 000

De ₡41 000 a ₡50 000

De ₡51 000 a ₡60 000

Más de ₡61 000

Pregunta 7: ¿Ha escuchado hablar de los biocombustibles líquidos? Ejemplo: Bioetanol o biodiésel

Sí

No

Pregunta 8: ¿Estaría dispuesto (a) a utilizar una mezcla de combustible y biocombustible (obtenido a partir de la pulpa de café) o incluso solo biocombustible en su vehículo?

Sí

No

Pregunta 9: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un litro de una mezcla de combustible y biocombustible (obtenido a partir de la pulpa de café)?

- Un 10 % menos del costo del combustible que utiliza
- Un 5 % menos del costo del combustible que utiliza
- El mismo costo del combustible que utiliza
- Un 5 % más del costo del combustible que utiliza
- Un 10 % más del costo del combustible que utiliza
- Un 50 % más del costo del combustible que utiliza
- Otro

Pregunta 10: ¿Porqué no estaría dispuesto (a) a utilizar una mezcla de combustible y biocombustible (obtenido a partir de la pulpa de café) o incluso solo biocombustible en su vehículo?

- Costo
- No tiene suficiente información al respecto
- Posible daño que le pueda causar a su vehículo
- Otro

B. Cuadros de Resultados

Cuadro B.1. Estimación del consumo anual de combustible de las personas entrevistadas que habitan en la región central del país.

Combustible	Monto Promedio /(C\$/mes)	Cantidad de Vehículos	Monto Promedio por Vehículos /(C\$/mes)	Promedio de combustible requerido /(L/mes)	Combustible Requerido /(L/año)
Diésel	15 000	3	45 000	81,4	33 775,8
	22 500	8	180 000	325,5	
	35 500	7	248 500	449,4	
	45 500	6	273 000	493,7	
	55 500	8	444 000	802,9	
	61 000	6	366 000	661,8	
Gasolina regular	15 000	4	60 000	87,1	22 354,1
	22 500	17	382 500	555,2	
	35 500	9	319 500	463,7	
	45 500	5	227 500	330,2	
	55 500	2	111 000	161,1	
	61 000	3	183 000	265,6	
Gasolina super	15 000	3	45 000	63,6	35 847,5
	22 500	24	540 000	762,7	
	35 500	13	461 500	651,8	
	45 500	8	364 000	514,1	
	55 500	5	277 500	391,9	
	61 000	7	427 000	603,1	

Cuadro B.2. Datos para la estimación de la muestra mínima de personas a encuestar.

Variable	Valor
Nivel de confianza, Z	90 %
Margen de error, e	7 %
Probabilidad de que ocurra el evento, p	50 %
Probabilidad de que no ocurra el evento, q	50 %
Muestra mínima, n	138 personas

Cuadro B.3. Datos utilizados para los balances de masa y energía del secador.

Variable	Valor
Masa de pulpa húmeda, $m_{p,h}$	1 633,2 kg
Calor específico de la pulpa, Cp_p	2 070 J/kg K
Temperatura de la pulpa seca, $T_{p,s}$	75 °C
Temperatura de la pulpa húmeda, $T_{p,h}$	25 °C
Humedad de la pulpa húmeda, $X_{p,h}$	60 %
Humedad de la pulpa seca, $X_{p,s}$	7 %
Calor específico del agua en estado líquido, $Cp_{w,l}$	4 181,3 J/kg K
Calor específico del agua en estado gaseoso, $Cp_{w,g}$	2 080 J/kg K
Temperatura de bulbo húmedo, T_{bh}	115,79 °C
Temperatura de entrada del aire, $T_{a,i}$	127 °C
Entalpía de vaporización, H_v^{vap}	2 388 802,3
Humedad del aire que entra, $X_{a,i}$	75 %
Calor específico del aire, Cp_a	1 007 J/kg K

Cuadro B.4. Datos utilizados para los balances de masa y energía del proceso de extracción.

Variable	Valor
Relación metanol pulpa, $R_{MeOH,p}$	3 L MeOH/kg de pulpa
Flujo másico diario de pulpa, m_p	425,8 kg/día
Calor específico del metanol líquido, $Cp_{MeOH,l}$	2 530 J/kg K
Calor específico del metanol gaseoso, $Cp_{MeOH,g}$	2 950 J/kg K
Temperatura inicial de ebullición, $T_{inicial,ebu}$	25 °C
Temperatura final de ebullición, $T_{final,ebu}$	70 °C
Temperatura inicial de condensación, $T_{inicial,cond}$	70 °C
Temperatura final de condensación, $T_{final,cond}$	50 °C
Calor específico del agua, Cp_w	4 181 J/kg K
Temperatura inicial del agua $T_{inicial,w}$	5 °C
Temperatura final del agua, $T_{final,w}$	25 °C
Temperatura inicial en el rotavapor $T_{inicial,RV}$	25 °C
Temperatura final en el rotavapor $T_{final,RV}$	70 °C

Cuadro B.5. Datos utilizados para los balances de masa y energía del proceso de transesterificación.

Variable	Valor
Relación de KOH grasas, $R_{KOH,grasas}$	2 mg KOH/g grasas
Masa molar de las grasas extraídas, MM_{grasas}	886 g/mol
Masa molar del metanol, MM_{MeOH}	32,02 g/mol
Calor específico del biodiésel, $C_{pbiodiesel}$	1 750 J/kg K
Temperatura inicial de la transesterificación, $T_{inicial,tran}$	25 °C
Temperatura final de la transesterificación, $T_{final,tran}$	60 °C

Cuadro B.6. Detalle de la cotización de productos de limpieza (Xtream Clean, 2022).

Producto	Cantidad	Precio
Rollo grande de Toallas de papel	12	€120 000
Rollo grande de Papel higiénico	12	€101 800
Galón de cloro	12	€14 400
Galón de alcohol en gel	12	€102 000
Galón de jabón	12	€51 300
Galón de Desinfectante	12	€73 800
Limpiador de baño 300 mL	12	€16 848
Bolsas de basura (25 unidades)	6	€13 716
Guantes multiuso	12	€11 976
Total+IVA		€558 442

C. Muestra de Cálculo

C.1. Cálculo de la muestra mínima de la encuesta

Para el cálculo de esta muestra se utiliza la ecuación:

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q}{e^2} \quad (\text{C.1})$$

Donde:

- n Muestra mínima de la encuesta, personas.
- Z Nivel de confianza, %.
- e Margen de error, %.
- p Probabilidad de que ocurra el evento, %.
- q Probabilidad de que no ocurra el evento, %.

Utilizando los valores del Cuadro B.2, fila 2 a la 6, columna 2.

$$n = \frac{0,90^2 \times 0,50 \times 0,50}{0,07^2} = 138 \text{ personas}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B.2, fila 8, columna 2.

C.2. Combustible requerido por monto promedio y cantidad de vehículos

Para el cálculo de este combustible se utiliza la ecuación:

$$\text{Combustible Requerido} = \frac{\frac{M_{min} + M_{max}}{2} \times \text{Cantidad Vehiculos}}{\text{Precio Combustible}} \quad (\text{C.2})$$

Donde:

- M_{min} Monto mínimo, ₡/mes.
- M_{max} Monto máximo, ₡/mes.

Utilizando los valores de los rangos de precio presentados en la pregunta 6 de la encuesta (ver Apéndice A) y la cantidad de vehículos del Cuadro B.1, fila 3, columna 3.

$$\text{Combustible Requerido} = \frac{\frac{\text{C}\$15\,000/\text{mes} + \text{C}\$30\,000/\text{mes}}{2} \times 8}{\text{C}\$553/\text{L}} = 325,5 \text{ L/mes}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el Cuadro B.1, fila 3, columna 5. Este cálculo se repitió para todos los montos promedios y combustibles del cuadro antes mencionado, los que corresponden a la gasolina regular utilizan un precio de combustible de C\$689/L y los de la gasolina super utilizan un precio de C\$708/L.

C.3. Diésel requerido anual

Para el calculo del diésel requerido se utiliza la ecuación:

$$\text{Diésel Requerido} = \sum \text{Combustible requerido} \times 12 \quad (\text{C.3})$$

Utilizando los valores del Cuadro B.1 fila de la 2 a la 6, columna 5.

$$\text{Diésel Requerido} = (81,4 + 325,5 + 449,4 + 493,7 + 802,9 + 661,8) \times 12$$

$$\text{Diésel Requerido} = 33\,775,8 \text{ L/año}$$

Resultado que se encuentra en el Cuadro B.1, fila 2, columna 6. Este mismo cálculo se repite para la gasolina súper y regular.

C.4. Estimación de la demanda de biodiésel de la población

Para el cálculo de este combustible se utiliza la ecuación:

$$D_{\text{población}} = \frac{\text{Población}}{\text{Muestra}} \times D_{\text{muestra}} \quad (\text{C.4})$$

Donde:

$D_{población}$ Demanda de diésel de la población, L/año.

$D_{muestra}$ Demanda de diésel la muestra, L/año.

Utilizando el valor de población presente en el Cuadro B.2, fila 2, columna 2 y una muestra presente en la fila 8, columna 2. Y la demanda de la muestra presente en el Cuadro,B.1, fila 2, columna 6.

$$D_{población} = \frac{10\ 000}{173} \times 33\ 775,8L/año$$

$$D_{población} = 1\ 952\ 357\ L/año$$

C.5. Estimación del volumen de biodiésel a producir

Para el cálculo de este combustible se utiliza la ecuación:

$$V_{biodiesel} = D_{diésel} \times \%_{mezcla} \times \%_{encuesta} \quad (C.5)$$

Donde:

$V_{biodiesel}$ Volumen de biodiésel a producir, L/año.

$D_{diésel}$ Demanda de diésel, L/año.

$\%_{mezcla}$ Porcentaje de biodiésel en la mezcla, %.

$\%_{encuesta}$ Porcentaje de las personas que utilizan diésel y que estarían dispuestas a comprar el biodiésel y a pagar igual o más que el diésel, %.

Utilizando un porcentaje de mezcla del 5% y el porcentaje de personas que utilizan diésel y que estarían dispuestas a pagar igual o más que el diésel de 16,3% (ver Figura 4.9).

$$V_{biodisel} = 1\,952\,357 \text{ L/año} \times 0,05 \times 0,163 = 15\,912 \text{ L/año}$$

C.6. Estimación de la masa de pulpa seca

Para el cálculo de esta masa se utilizan las ecuaciones:

$$m_{p,h} = m_{p,s} + m_w = 1\,633,2 \text{ kg} \quad (\text{C.6})$$

Donde:

$m_{p,h}$ Masa de pulpa húmeda, kg.

$m_{p,s}$ Masa de pulpa seca, kg.

m_w Masa de agua, kg.

$$X_{p,h} \times m_{p,h} = X_{p,s} \times m_{p,s} + m_w \quad (\text{C.7})$$

Donde:

$X_{p,h}$ Humedad de la pulpa húmeda, %.

$X_{p,s}$ Humedad de la pulpa seca, %.

Utilizando las ecuaciones antes mencionadas, se obtiene el siguiente balance másico:

$$m_{p,s} = m_{p,h} - m_w = 1\,633,2 \text{ kg} - m_w \quad (\text{C.8})$$

Utilizando los porcentajes de humedad presentes en el Cuadro B.3, fila 7 y 8, columna 2 y la masa de pulpa seca de este mismo cuadro, fila 2, columna 2.

$$60\% \times 1\,633,2 \text{ kg} = 7\% \times (1\,633,2 \text{ kg} - m_w) + m_w$$

$$m_w = 930,7 \text{ kg}$$

$$m_{p,s} = 1633,2 - 930,7 = 702,5 \text{ kg}$$

Resultado que se presenta en el Cuadro 5.4 fila 2, columna 2.

C.7. Estimación de la temperatura de salida del aire

Para este cálculo se utiliza la ecuación:

$$N_T = \ln\left[\frac{T_{a,i} - T_{bh}}{T_{a,o} - T_{bh}}\right] \quad (\text{C.9})$$

Donde:

- N_T Unidades de transferencia, adim.
- $T_{a,i}$ Temperatura de entrada del aire, °C.
- T_{bh} Temperatura de bulbo húmedo, °C.
- $T_{a,o}$ Temperatura de salida del aire, °C.

Utilizando la temperatura de entrada del aire y de bulbo húmedo presente en el Cuadro B.3, fila 11 y 12, respectivamente, columna 2. Y teniendo en cuenta que la idea es optimizar los costos del proceso, por lo que se recurre al número de unidades de transferencia (N_T) de 2.0 ya que es el valor intermedio (Baselga, sf).

$$2 = \ln\left[\frac{127 - 115,79}{T_{a,o} - 115,79}\right]$$

$$T_{a,o} = 117^\circ\text{C}$$

Resultado que se presenta en el Cuadro 5.4 fila 3, columna 2.

C.8. Estimación de la transferencia de calor que se da en el proceso de secado de la pulpa

Para calcular esta transferencia se utiliza la ecuación:

$$Q = m_{p,h} \{ C_{p,p}(T_{p,s} - T_{p,h}) + X_{p,h} C_{p,w,l}(T_{bh} - T_{p,h}) + X_{p,s} C_{p,w,l}(T_{p,s} - T_{bh}) \} \quad (C.10)$$

$$+ (X_{p,h} - X_{p,s}) [\Delta H_v^{vap} + C_{p,w,g}(T_{a,o} - T_{bh})]$$

Donde:

- Q Transferencia de calor, W.
 $C_{p,p}$ Calor específico de la pulpa, J/kg K.
 $C_{p,w,l}$ Calor específico del agua en estado líquido, J/kg K.
 $C_{p,w,g}$ Calor específico del agua en estado gaseoso, J/kg K.
 H_v^{vap} Entalpía de vaporización, J/kg.

Utilizando los valores de calor específico presentes en el Cuadro B.3, fila 3, 9 y 10, columna 2 y una entalpía de vaporización presente en este mismo cuadro, fila 14, columna 2.

$$Q = 1\,633,2 \{ 2\,070(75 - 25) + 60\% \times 4\,181,3(115,79 - 25) + 7\% \times$$

$$4\,181,3(85 - 115,79) + (60\% - 7\%) [2\,388\,802,3 + 2\,080(117 - 115,79)] \}$$

$$Q = 259,1 \times 10^7 \text{ J/día} = 119\,974,5 \text{ W}$$

Resultado que se presenta en el Cuadro 5.4 fila 5, columna 2.

C.9. Estimación del flujo de aire diario que entra al secador

Para estimar la masa de aire que entra al secador se utiliza la ecuación:

$$m_a = \frac{Q}{[C_{p,a} + X_{a,i} \times C_{p,w,g}](T_{a,i} - T_{a,o})} \quad (C.11)$$

Donde,

m_a	Flujo másico de aire, kg/día.
Cp_a	Calor específico del aire, J/kg K.
$X_{a,i}$	Humedad del aire que entra, %.

Utilizando el calor transferido calculado anteriormente, y la humedad del aire que entra y calor específico presente en el Cuadro B.3, fila 15 y 16, respectivamente, columna 2.

$$m_a = \frac{119\,974,5}{[1\,007 + 75\% \times 2\,080](127 - 117)} = 4,67 \text{ kg/s} = 100\,957 \text{ kg/día}$$

Resultado que se presenta en el Cuadro 5.4 fila 5, columna 2.

C.10. Estimación del flujo volumétrico requerido para el proceso de extracción de las grasas

Para realizar este cálculo se utiliza la ecuación:

$$V_{MeOH} = R_{MeOH,p} \times m_p \quad (\text{C.12})$$

Donde:

V_{MeOH}	Flujo volumétrico de Metanol, L/día.
$R_{MeOH,p}$	Relación Metanol pulpa, L/kg.
m_p	Flujo másico de pulpa, kg/día.

Utilizando una relación de metanol pulpa y el flujo másico diario de pulpa presentes en el Cuadro B.4, fila 2 y 3, respectivamente, columna 2.

$$V_{MeOH} = \frac{3 \text{ L MeOH}}{1 \text{ kg pulpa}} \times 425,8 \text{ kg/día}$$

$$V_{MeOH} = 1\,277,4 \text{ L/día}$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.5, fila 2, columna 2.

C.11. Estimación de la transferencia de calor para pasar el metanol a fase vapor

Para esta transferencia se utiliza la ecuación:

$$Q_{ebu,MeOH} = m_{MeOH} \times C_{pMeOH,l} \times (T_{final,ebu} - T_{inicial,ebu}) \quad (C.13)$$

Donde:

$Q_{ebu,MeOH}$ Calor transferido para la ebullición del metanol, J/día.

$m_{MeOH,p}$ Flujo másico de metanol, kg/día.

$C_{pMeOH,l}$ Calor específico del metanol líquido, J/kg K.

$T_{inicial,ebu}$ Temperatura inicial de ebullición, °C.

$T_{final,ebu}$ Temperatura final de ebullición, °C.

Utilizando el calor específico y las temperaturas presentes en el Cuadro B.4, fila 4, 6 y 8, columna 2.

$$Q_{ebu,MeOH} = 1\,012 \times 2\,530 \times (70 - 25)$$

$$Q_{ebu,MeOH} = 115,2 \times 10^6 \text{ J/día} = 31\,995 \text{ W}$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.5, fila 3, columna 2.

C.12. Estimación de la transferencia de calor para que el metanol se condense

Para esta transferencia se utiliza la ecuación:

$$Q_{cond,MeOH} = m_{MeOH} \times C_{pMeOH,g} \times (T_{final,cond} - T_{inicial,cond}) \quad (C.14)$$

Donde:

$Q_{cond,MeOH}$ Calor transferido para la condensación del metanol, J/día.

$C_{p_{MeOH,g}}$ Calor específico del metanol gaseoso, J/kg K.

$T_{inicial,cond}$ Temperatura inicial de condensación, °C.

$T_{final,cond}$ Temperatura final de condensación, °C.

Utilizando el calor específico y las temperaturas presentes en el Cuadro B.4, fila 5, 9 y 10, columna 2.

$$Q_{cond,MeOH} = 1\,012 \times 2\,950 \times (50 - 70)$$

$$Q_{cond,MeOH} = 59,7 \times 10^6 \text{ J/día} = 16\,581 \text{ W}$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.5, fila 4, columna 2.

C.13. Estimación del flujo de agua de enfriamiento que llega al extractor

Para calcular este flujo de agua se utiliza la ecuación:

$$m_w = \frac{Q_{cond,MeOH}}{C_{p_w} \times (T_{final,w} - T_{inicial,w})} \quad (C.15)$$

Donde:

C_{p_w} Calor específico del agua, J/kg K.

$T_{inicial,w}$ Temperatura inicial del agua, °C.

$T_{final,w}$ Temperatura final del agua, °C.

Utilizando el calor específico y las temperaturas presentes en el Cuadro B.4, fila 11, 12 y 14, columna 2.

$$m_w = \frac{59,7 \times 10^6 \text{ J/día}}{4\,181 \times (25 - 5)}$$

$$m_w = 714 \text{ kg/día}$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.5, fila 5, columna 2.

C.14. Estimación del flujo que llega al decantador

Para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación, según Blinová *et al.* (2017) la cantidad de metanol que se podría llegar a recuperar es del 78 %.

$$V_d = V_{MeOH} \times 78 \% + V_{grasa} \quad (C.16)$$

V_d Flujo volumétrico que llega al decantador, L/día.

V_{grasa} Flujo volumétrico de grasa, L/día.

Sustituyendo el flujo de metanol antes calculado.

$$V_d = 1\,277,4 \times 78 \% + 76 = 1\,072 \text{ L/día}$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.6, fila 2, columna 2.

C.15. Estimación del flujo de metanol que se separa en la decantación

Para estimar este flujo se utiliza la ecuación:

$$V_{sep,MeOH} = V_{MeOH,r} \times \eta_d \quad (C.17)$$

$V_{sep,MeOH}$ Flujo volumétrico de metanol que se separa en la decantación, L/día.

$V_{MeOH,r}$ Flujo volumétrico de metanol que se recupera, L/día.

η_d Eficiencia del decantador, %.

Sabiendo que la eficiencia aproximada del proceso es de 90 % (Voicu y Ungureanu, 2018).

$$V_{sep,MeOH} = 996 \times 0,9 = 897 \text{ L/día}$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.6, fila 3, columna 2.

C.16. Estimación del flujo de grasa con residuos de metanol que llega al destilador

Para estimar este flujo se utiliza la ecuación:

$$V_{desti} = V_d - V_{sep,MeOH} \quad (C.18)$$

V_{desti} Flujo volumétrico de grasas con residuos de metanol que llegan al destilador, L/día.

Utilizando los resultados de flujo del decantador y de separación antes estimados.

$$V_{desti} = 1\,072 - 897 = 175 \text{ L/día}$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.7, fila 2, columna 2.

C.17. Flujo volumétrico de metanol que se separa en el destilador

Para estimar este flujo se utiliza la ecuación:

$$V_{MeOH,desti} = V_{desti} - V_{grasas} \quad (C.19)$$

$V_{MeOH,desti}$ Flujo volumétrico de metanol que se separa en el destilador, L/día.

V_{grasas} Flujo volumétrico de grasas extraídas de la pulpa de café, L/día.

Utilizando el flujo de grasas a extraer de la pulpa y el flujo que entra al destilador, los cuales se estimaron anteriormente.

$$V_{MeOH,desti} = 175 - 75 = 100 \text{ L/día}$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.7, fila 3, columna 2.

C.18. Estimación de la transferencia de calor necesaria para evaporar el metanol

Para estimar esta transferencia se utiliza la ecuación:

$$Q_{MeOH,desti} = m_{MeOH,desti} \times C_{p_{MeOH,l}} \times (T_{final,desti} - T_{inicial,desti}) \quad (1)$$

$m_{MeOH,desti}$ Flujo másico de residuos de metanol que llega al destilador, kg/día.

$T_{inicial,desti}$ Temperatura inicial en el destilador, °C.

$T_{final,desti}$ Temperatura final en el destilador, °C.

$Q_{MeOH,desti}$ Tránsito de calor necesaria para evaporar los residuos de metanol, J/día.

Utilizando el calor específico del metano líquido y las temperaturas presentes en el Cuadro B.4, filas 4, 15 y 16, columna 2.

$$Q_{MeOH,desti} = 78,9 \times 2\,530 \times (70 - 25)$$

$$Q_{MeOH,desti} = 8,98 \times 10^6 \text{ J/día} = 2\,495 \text{ W}$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.7, fila 4, columna 2.

C.19. Estimación del flujo másico de KOH requerido para transesterificar las grasas extraídas de la pulpa

Para estimar este flujo se utiliza la ecuación:

$$m_{KOH} = R_{KOH:grasa} \times m_{grasa} \quad (C.20)$$

m_{grasas} Flujo másico de grasa, g/día.

m_{KOH} Flujo másico de KOH, mg/día.

$R_{KOH:grasa}$ Relación de catalizador y grasas, mg KOH/g grasas.

Utilizando la relación presente en el Cuadro B.5, fila 2, columna 2.

$$m_{KOH} = 2mgKOH/g \times 68\,198\,g/día$$

$$m_{KOH} = 136\,256mg/día = 0,14\,kg/día$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.8, fila 2, columna 2.

C.20. Estimación del flujo de metanol requerido para el proceso de transesterificación

Para estimar este flujo se utiliza la ecuación:

$$m_{MeOH} = \frac{m_{grasas}}{MM_{grasas}} \times R_{MeOH:grasas} \times MM_{MeOH} \quad (C.21)$$

m_{MeOH} Flujo másico de metanol, g/día.

MM_{grasas} Masa molar de las grasas, g/mol.

MM_{MeOH} Masa molar del metanol, g/mol.

$R_{MeOH:grasa}$ Relación molar metanol:grasas, mol MeOH/mol grasas.

Utilizando la relación y masas molares presentes en el Cuadro B.5, fila 2, 3 y 4, columna 2.

$$m_{MeOH} = \frac{68\,198\,g/día}{886\,g/mol} \times \frac{6\,molMeOH}{1\,molgrasas} \times 32,02\,g/mol$$

$$m_{MeOH} = 14\,778\,g/día = 14,78\,kg/día$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.8, fila 3, columna 2.

C.21. Estimación de la transferencia de calor que se da en el proceso de transesterificación

Para estimar esta transferencia se utiliza la ecuación:

$$Q_{tran} = m_{biodiesel} \times C_{p_{biodiesel}}(T_{final,tran} - T_{inicial,tran}) \quad (C.22)$$

Q_{tran} Transferencia de calor en el proceso de transesterificación, W.

$m_{biodiesel}$ Flujo másico de biodiésel, kg/día.

$C_{p_{biodiesel}}$ Calor específico del biodiésel, J/kg K.

$T_{inicial,tran}$ Temperatura inicial del proceso de transesterificación, °C.

$T_{final,tran}$ Temperatura final del proceso de transesterificación, °C.

Utilizando los valores presentes en el Cuadro B.5, fila 5, 6 y 8, columna 2.

$$Q_{tran} = 61,1 \times 1\,750(60 - 25)$$

$$Q_{tran} = 3,74 \times 10^6 \text{ J/día} = 1\,039,5 \text{ W}$$

Resultado que se muestra en el Cuadro 5.8, fila 4, columna 2.

D. Diagramas

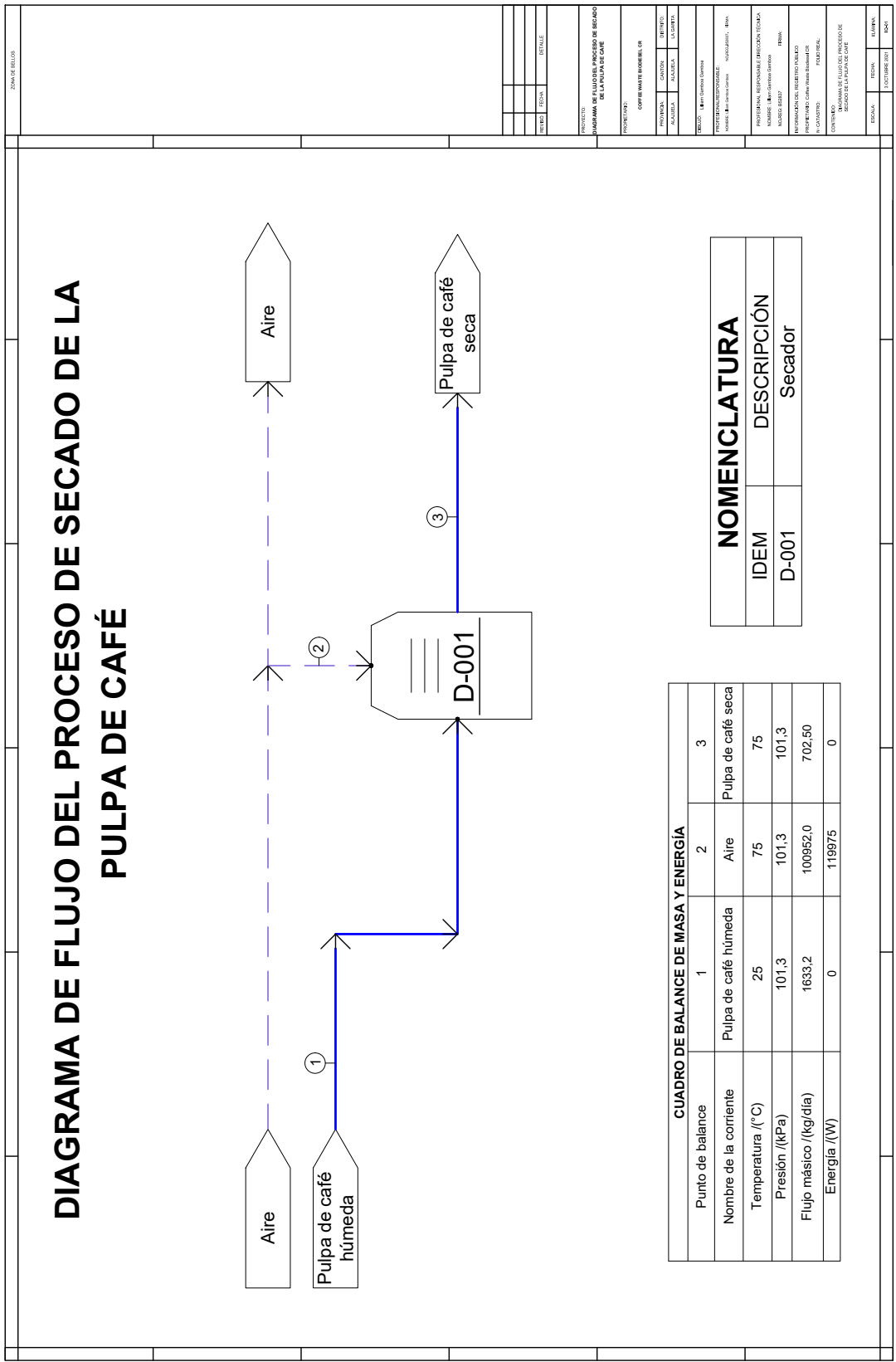


Figura 11.1. Diagrama de flujo del proceso de secado de la pulpa de café (elaboración propia).

