



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

BIODIÉSEL OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE DE HIGUERILLA: DISEÑO DE  
UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ELIZABETH CRISTINA MONTES LÓPEZ

TUTOR PRINCIPAL  
M.I. FRANCISCA IRENE SOLER ANGUIANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dra. Flores De la Mota Idalia

Secretario: Dr. Rivera Colmenero José Antonio

1<sup>er.</sup> Vocal: M. I. Soler Anguiano Francisca Irene

2<sup>do.</sup> Vocal: Dr. Del Moral Dávila Manuel

3<sup>er.</sup> Vocal: M. en C. Milla López Andrés

Ciudad Universitaria, CDMX

## **TUTOR DE TESIS:**

M.I. FRANCISCA IRENE SOLER ANGUIANO



Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ingeniería  
División de Ingeniería Mecánica e Industrial  
Departamento de Investigación de Operaciones  
e Ingeniería Industrial

Tesis: Biodiésel obtenido a partir del aceite de higuera:  
Diseño de una planta de producción

Para obtener el grado de Maestra en Ingeniería de  
Sistemas

Trabajo realizado por:

Ing. Elizabeth Cristina Montes López

Con la tutoría de:  
M. en I. Francisca Irene Soler Anguiano

Hecho en México.

2022

## **Biodiésel obtenido a partir del aceite de higuera: Diseño de una planta de producción**

### **Resumen**

Con el auge de los biocombustibles como alternativa sostenible al uso de los combustibles fósiles para la generación de diferentes tipos de energía, se ha planteado el uso de una diversidad de cultivos como materia prima en la producción de estos, gracias al gran interés que despiertan por resultar una opción económica y natural que representa beneficios con respecto a emisiones contaminantes, el cambio climático y el uso de recursos renovables. En este sentido, se desarrolla el presente trabajo de investigación, en el cual se diseña una planta de producción de biodiésel, el cual se obtendrá a partir del aceite de la semilla higuera, una semilla oleaginosa perteneciente a los llamados bioenergéticos y que presenta ventajas que la hacen más atractiva tales como su fácil adaptación a tierras marginales, bajos requerimientos de agua, alta potencia de rendimiento y al no ser apta para su consumo humano, no compite con requerimientos de producción para la alimentación. Para lograr el objetivo propuesto, se siguió una metodología que permitiera desarrollar todos los aspectos a tener en cuenta, donde se contempla el diseño del producto, el proceso de producción que se llevará a cabo, se define el sistema de producción, luego con la información recabada se determinaron los recursos requeridos teniendo en cuenta los factores influyentes en la distribución de plantas y, por último, se construyó el layout propuesto de la planta de producción a partir del cual se tiene un elemento fundamental para iniciar con este tipo de procesos productivos.

**Palabras claves:** biocombustibles, biodiésel, higuera, diseño de plantas.

## **Biodiesel made from castor oil: Design of a production plant**

### **Abstract**

As a result of the boom of biofuels as a sustainable alternative to the use of fossil fuels for the generation of different types of energy, has been considered a variety of crops as a raw material for their production caused by the great interest they cause as a cheap and natural option that represents benefits related to polluting emissions, climate change and the use of renewable resources. Consequently, this research has been developed, in which a biodiesel production plant has been designed. This production plant will manufacture biodiesel from castor oil seeds. This oleaginous seed belongs to the known bioenergetic as well as it has several attractive advantages such as an easy adaptation to the marginal soils, low water requirements, high-performance power, moreover it does not compete with food production requirements owing to it is generally unsuitable for consumption. Furthermore, to achieve the objective that has been presented. This research used a methodology that would allow developing all the aspects that need to be considered, such as the product design, the production process that will be implemented, the production system is defined, afterward with all the information collected the required resources were determined considering all the factors that impact in a plant layout. Finally, the proposed layout for the production plant was built, from which have a fundamental element to start with this type of production process.

**Keywords:** biofuels, biodiesel, castor oil, industrial plant design

## Índice

INTRODUCCIÓN .....	10
<b>Objetivos y alcance</b> .....	13
CAPÍTULO I: LOS COMBUSTIBLES .....	15
1.1. Biocombustibles.....	16
1.1.1. Biocombustibles con bioenergéticos (biodiésel) .....	17
1.1.1.1. Jatropha Curcas: .....	18
1.1.1.2. Higuera:.....	20
1.1.1.3. Sorgo dulce: .....	22
1.1.2. Procesos de obtención de biodiesel .....	24
1.2. Biocombustibles en México y el mundo .....	25
1.2.1. Biocombustibles en el mundo .....	25
1.2.2. Biocombustibles en México .....	42
1.2.2.1. Plantas de biocombustibles existentes en México .....	44
CAPÍTULO II: Diseño de plantas.....	46
2.1. Diseño de plantas .....	46
2.2. Metodologías para calcular espacios:.....	49
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA APLICADA AL DISEÑO DE PLANTA .....	52
3.1. Aplicación de la metodología: Planta de producción de biodiésel.....	54
3.1.1. Diseño del producto.....	54
3.1.2. Definir proceso de producción .....	56
3.1.3. Definir el tipo de sistema de producción .....	58
3.1.4. Determinar los recursos requeridos.....	59
3.1.5. Determinar el tamaño de los espacios.....	67
3.1.6. Layout.....	73
CAPÍTULO IV: Conclusiones .....	80
BIBLIOGRAFÍA .....	82
ANEXO.....	87
<b>1. Volumen de producción plantas de Biodiésel en México .....</b>	<b>87</b>

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Objetivos de desarrollo sostenible CDMX .....	12
Ilustración 2. Jatropha Curcas.....	19
Ilustración 3. Higuera.....	20
Ilustración 4. Sorgo dulce.....	23
Ilustración 5. Representación esquemática del proceso general .....	25
Ilustración 6. La energía en el mundo 2018 .....	27
Ilustración 7. Top countries biodiesel Production .....	28
Ilustración 8. Principales productores de biodiesel.....	29
Ilustración 9. Perspectivas Biodiesel .....	31
Ilustración 10. Producción primaria de los principales biocombustibles en EU .....	35
Ilustración 11. Materia prima para producción de biodiésel .....	36
Ilustración 12. Estructura de la producción de energía primaria en México 2016 .	42
Ilustración 13. Factores influyentes en la distribución de una planta.....	46
Ilustración 14. Metodología de la tesis .....	52
Ilustración 15. Ficha técnica del producto .....	55
Ilustración 16. Ciclo del biodiésel .....	57
Ilustración 17. Diagrama del proceso de producción de biodiésel.....	58
Ilustración 18. Primer proceso producción de biodiésel .....	59
Ilustración 19. Segundo proceso producción biodiésel .....	60
Ilustración 20. Tercer proceso producción de biodiésel .....	61
Ilustración 21. Cuarto proceso producción de biodiésel .....	63
Ilustración 22. Quinto proceso producción biodiésel .....	64
<i>Ilustración 23. Sexto proceso producción de biodiésel.....</i>	<i>65</i>
Ilustración 24. Diagrama de espacios .....	74
Ilustración 25. Vista general de la planta de producción .....	75
Ilustración 26. Vista frontal de la planta de producción .....	75
<i>Ilustración 27. Vista general del área de producción.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 28. Vista del área de producción.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 29. Almacén de producto terminado .....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 30. Vista frontal almacén de materia prima.....</i>	<i>78</i>



<i>Ilustración 31. Vista general almacén de materia prima</i> .....	79
<i>Ilustración 32. Servicios sanitarios</i> .....	79

## Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de los combustibles .....	15
Tabla 2. Taxonomía de la higuera .....	20
Tabla 3. Otros nombres comunes de Ricinus Communis .....	21
Tabla 4. Rendimiento de los cultivos energéticos .....	23
Tabla 5. Situación en el continente americano para producción de biodiésel .....	32
Tabla 6. Instituciones y proyectos de investigación para la producción de biodiésel en México .....	43
Tabla 7. Datos Físicoquímicos del biodiésel.....	55
Tabla 8. Recursos requeridos para la recepción de materia prima .....	59
Tabla 9. Recursos requeridos para el filtrado.....	60
Tabla 10. Recursos requeridos para el desgomado.....	61
Tabla 11. Recursos requeridos para la neutralización .....	62
Tabla 12. Recursos requeridos para el blanqueamiento .....	63
Tabla 13. Recursos requeridos para la transesterificación.....	64
Tabla 14. Recursos requeridos para la separación .....	65
Tabla 15. Recursos requeridos por el lavado .....	66
Tabla 16. Recursos requeridos para el almacenamiento .....	66
Tabla 17. Elementos fijos y móviles del proceso.....	67
Tabla 18. Cálculo del espacio requerido .....	68
Tabla 19. Cálculo del tamaño de los servicios sanitarios .....	69
Tabla 20. Volumen de producción de biodiésel en México .....	87
Tabla 21. Clasificación volumen de producción .....	87
Tabla 22. Cálculo de volumen de producción.....	88

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Superficie total método de Guerchet .....	50
Ecuación 2. Superficie estática .....	51
Ecuación 3. Superficie de gravitación .....	51
Ecuación 4. Superficie de evolución.....	51

## INTRODUCCIÓN

La preocupación por el agotamiento de los combustibles fósiles, las emisiones contaminantes derivadas del uso de estos y la dependencia energética de los combustibles por parte de países con escasos recursos energéticos convencionales representa actualmente una problemática a nivel mundial, la cual frecuentemente ha sido objeto de estudio con el fin de proponer alternativas sostenibles al uso de este tipo de combustibles. Para esta problemática en específico, surgen los biocombustibles como una alternativa “verde” a los combustibles fósiles (como el petróleo y el carbón mineral) que contribuirá a disminuir la concentración de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en la atmósfera y con ello a frenar el calentamiento global (Espinoza, et al., 2009); este tipo de combustibles se elaboran a partir de los tejidos de las plantas, animales, residuos de la agricultura, de la actividad forestal y algunos desechos industriales los cuales pueden emplearse para obtener energía la cual se le denomina biomasa. La biomasa como materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, tiene carácter de energía renovable porque su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético (Romero, 2010).

En este contexto, México posee una gran oportunidad gracias a su potencial de producción de diferentes plantas, entre ellas la higuera que se considera como uno de los bioenergéticos a partir del cual se puede entre otros productos, obtener biodiésel. En el presente trabajo de investigación, se considerará particularmente la higuera, sin ignorar que existen otros bioenergéticos a partir de los cuales se puede obtener este combustible, debido a que presenta ventajas que la hacen más atractiva tales como su fácil adaptación a tierras marginales, bajos requerimientos de agua, alta potencia de rendimiento y al no ser apta para su consumo humano, no compite con requerimientos de producción para la alimentación. El gobierno de México, en su Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, considera la higuera como uno de los cultivos con potencial de mercado dado el incremento de la demanda de este durante la última década en 16 países que incluyen integrantes

del TLCAN (Tratado de Libre Comercio de América del Norte), el TPP (Acuerdo Transpacífico de Cooperación Económica) y el TLCTN (Tratado de Libre Comercio México-Triángulo del Norte), así como del bloque de la Unión Europea y China por su gran utilidad para la producción de biocombustibles, que se han establecido como una medida internacional destinada a la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero.

Con el auge de los biocombustibles como alternativa sostenible a los combustibles fósiles para la generación de diferentes tipos de energía, se ha planteado el uso de una diversidad de cultivos como materia prima para la producción de combustible, en este caso biodiésel, dado que la perspectiva del uso de estos despierta un gran interés por resultar una opción económica y natural que representa beneficios con respecto a emisiones contaminantes, el cambio climático y el uso de recursos renovables. El uso de este tipo de cultivos bioenergéticos tales como la higuera, crea la necesidad de pensar y plantear la creación de plantas de producción de biodiésel que permitan abastecer la creciente demanda de estos al resultar una alternativa “verde” que ayuda a mitigar el impacto del uso de combustibles fósiles, y es por esto que en este trabajo de investigación se diseña una planta de producción para obtener biodiésel a partir del aceite de la semilla higuera, una semilla que como se ha comentado resulta ser una excelente materia prima y trae diferentes ventajas al ser utilizadas para este tipo de procesos.

A propósito de esto, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la empresa Biofields firmaron un Convenio de Colaboración para impulsar el Proyecto Integral de Cultivo y Producción de Higuera y su Transformación en Aceite de Ricino, iniciativa que detonará el esquema de reconversión productiva en cinco mil cuatrocientas (5,400) hectáreas de los estados de Sonora y Sinaloa, de ahí el compromiso del gobierno con implementar este tipo de proyectos pues gracias a la biodiversidad del país y la necesidad de innovar se puede lograr este tipo de agricultura sustentable y rentable, orientado al objetivo que tiene México de aspirar a ser el principal productor de higuera y aceite de ricino en el mundo. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo

Rural, 2015). Existen múltiples esfuerzos de investigación y desarrollo de tecnología para el uso de energías alternativas a partir de la biomasa de cultivos energéticos como la higuera (*Ricinus communis*) y el piñón mexicano (*Jatropha curcas*), en donde se aprovecha el aceite extraído de la semilla como materia prima para producir biodiésel mediante una reacción química de transesterificación, la cual consiste en hacer reaccionar el aceite crudo con hidróxido y metanol mediante calor térmico para producir glicerol y biodiésel, el cual se verifican los parámetros de calidad para su uso en motores diésel.

Como se ha mostrado, proponer el diseño de una planta de producción de biodiésel a partir del aceite de la semilla de higuera en la Ciudad de México traería beneficios económicos, sociales, políticos y ambientales, siendo una estrategia totalmente alineada con los objetivos de desarrollo sostenible de la Ciudad que apuntan a acciones por el cambio climático, energía asequible y no contaminante, ciudades y comunidades sostenibles, entre otros (Gobierno de la Ciudad de México, 2020)

Ilustración 1. Objetivos de desarrollo sostenible CDMX



Fuente: (Gobierno de la Ciudad de México, 2020)

## **Objetivos y alcance**

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el objetivo general del presente trabajo es diseñar una planta de producción de biodiésel a partir del uso del aceite de la semilla de higuierilla para disminuir la emisión de gases contaminantes y promover el uso de recursos renovables como fuentes de energía para el transporte. Para esto, se desarrolla de manera conjunta una serie de objetivos específicos que contribuyen a la consecución del objetivo general, así:

1. Definir el proceso de producción del producto
2. Definir el tipo de sistema de producción
3. Determinar los recursos requeridos
4. Determinar el tamaño de los espacios requeridos
5. Layout de la planta de producción

Si bien el tema del presente proyecto de investigación aborda una importante problemática actual con necesidades de solución inmediatas, es relevante aclarar que el alcance de este va hasta la propuesta del diseño de una planta de producción de biodiésel a partir del aceite de higuierilla, el cual puede servir como punto de partida al momento de la implementación por parte de algún interesado en este tipo de proyectos, sirviendo como herramienta de apoyo en el componente conceptual del mismo. De igual forma, es importante puntualizar temas limitantes que intervinieron en el desarrollo de esta investigación asociados con la escasez de información clara sobre procesos productivos que involucran las plantas de higuierilla, y esto aunado a la crisis provocada por la pandemia, dificultando así la consecución de datos, y recolección de información importante directamente de la fuente.

A lo largo de este trabajo se utilizan las metodologías definidas dentro de la ingeniería industrial para el diseño de plantas de producción y metodologías para el cálculo de espacios que permiten crear un modelo conceptual de una planta de producción de biodiésel para que posteriormente pueda utilizarse como punto de partida para la implementación y construcción de estas, promoviendo el uso de

recursos renovables para la obtención energía, disminuir la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, el desarrollo de este esfuerzo de investigación busca contribuir a la problemática ambiental que se vive en los últimos tiempos a nivel mundial a través del uso de fuentes renovables para la obtención de combustibles que a su vez, son utilizados por una de las industrias que más contribuyen a la problemática de la contaminación: el transporte, centrándonos a lo largo de este trabajo en el cultivo bioenergético de higuera, el cual a hoy tiene un bajo valor por ser considerado un cultivo no alimentario pero que podría aprovecharse para otro tipo de industrias como la de los biocombustibles; opciones como esta son las que se necesitan generar desde los diversos campos de estudio para que el cambio ocurra y se puedan tomar acciones respecto a problemas mundiales como la contaminación.

## CAPÍTULO I: LOS COMBUSTIBLES

La energía a lo largo del tiempo se ha destacado como el hilo que une el crecimiento económico, la equidad social y la sostenibilidad ambiental, y se encuentra inmersa en el desarrollo de la vida cotidiana. La mayor parte de la demanda de energía en el mundo se abastece con los combustibles, los cuales se utilizan para producir calor o movimiento, y que por la combustión completa de una unidad de masa de combustible desprende calor llamado poder calorífico, el cual se mide en Joules por kilogramo (Sistema Internacional) o calorías por kilogramo (Sistema Técnico de Unidades) (Rice, 2018).

La clasificación general de los combustibles se muestra en la Tabla 1:

Clasificación de los combustibles	
En función de su estado de agregación:	<ul style="list-style-type: none"><li>-Sólidos: tales como la madera, carbón, bituminosos, etc.</li><li>-Líquidos: tales como el etanol, el gas licuado, gasóleo de calefacción, entre otros.</li><li>-Gaseosos: tales como el gas natural.</li></ul>
En función de su sostenibilidad:	<ul style="list-style-type: none"><li>-Combustibles fósiles: tales como el carbón, el coque de petróleo, gasóleo de calefacción y gas natural.</li><li>-Combustibles nucleares: tales como el uranio y plutonio.</li><li>-Combustibles regenerativos: renovables, tales como los biocombustibles (madera, aceites comestibles, biogás, entre otros).</li></ul>

Tabla 1. Clasificación de los combustibles

Fuente: (Oiltanking, 2015)

Adicionalmente, es importante resaltar que existen combustibles para generar calor o movimiento, los primeros más utilizados en el sector de electricidad y generación de calor, y los segundos para el sector de movilidad. Un combustible para generar calor o electricidad puede estar compuesto por uno o más elementos químicos. Los elementos químicos puros que se utilizan como combustibles incluyen el hidrógeno



o algunos combustibles nucleares como el uranio y el plutonio. Por otro lado, “los combustibles para generar movimiento se definen como sustancias químicas cuyo contenido de energía se utiliza en sistemas técnicos para generar fuerza o crear propulsión, normalmente mediante combustión u otros medios de conversión de la energía” (Oiltanking, 2015). Estos combustibles permiten generar productos como gasolina y combustible diésel, y la quema de estos permite que los vehículos se muevan por lo cual resulta un recurso demasiado útil, que impulsa el desarrollo de la sociedad. Adicionalmente, muchos productos plásticos se elaboran a partir de estos tales como piezas de automóviles, juguetes, teléfonos celulares y televisores, aspectos por los cuales estos tipos de combustibles resultan claves para el desarrollo de la industria. Los combustibles generalmente conocidos para generar movimiento (gasolina y diésel) se producen a partir de crudo mediante procesos de destilación fraccionada en refinerías de petróleo.

Ahora bien, si hablamos específicamente de los combustibles fósiles se debe saber que estos corresponden a aquellos que se forman de organismos que murieron y quedaron enterrados bajo muchas capas de tierra y roca y se fueron acumulando durante millones de años, los cuales con el tiempo se convirtieron en petróleo y gas natural, encontrándose los yacimientos más grandes en Medio Oriente, también en la India, Brasil y México (Rice, 2018). A pesar de tener cierto origen en seres vivos, el combustible fósil es un recurso que se considera como no renovable, es decir, que no se renueva ni se reabastece con facilidad.

Debido al impacto ambiental de los combustibles fósiles, el desarrollo de combustibles alternativos tales como los biocombustibles resultan una alternativa sostenible ya que representan una opción económica y natural con beneficios asociados respecto a emisiones contaminantes, el cambio climático y el uso de recursos renovables.

### 1.1. Biocombustibles

Como se muestra en la Tabla 1, existe un tipo de combustible que corresponde a los combustibles regenerativos, estos son los biocombustibles, y hacen referencia a aquellos productos procedentes de la biomasa la cual puede proporcionar energía

mediante la transformación de materias orgánicas en combustibles con fines térmicos, eléctricos o de movilidad. Este tipo de energía guarda el carácter de energía renovable, y tienen una importancia relevante debido al gran consumo de carburantes derivados del petróleo para el transporte. Existen diversos criterios para clasificar este tipo de combustibles, uno de estos es en generaciones, así:

- Primera generación: también llamados agrocombustibles, procedentes de cultivos anuales o plurianuales es como caña de azúcar, remolacha y soja, colza, girasol.
- Segunda generación: obtenidos a partir de materias primas que no tienen usos alimentarios y oleaginosas no alimentarias, utilizando tecnologías convencionales para su producción. El beneficio que representa el desarrollo de biocombustibles de segunda generación está dado por la oportunidad que ofrece de usar más materias primas, aprovechar suelos no aptos para cultivos alimentarios y generar una mayor eficiencia de conversión.
- Tercera generación: utilizan tecnologías de producción similares a los agrocombustibles, pero aplicados a cultivos bioenergéticos, que con procedimientos biotecnológicos busca incrementar la eficiencia de conversión de biomasa en energía.
- Cuarta generación: están diseñados para la captación y el almacenamiento de carbono, a nivel de materia prima y de tecnología en proceso. (Honty, 2010)

#### 1.1.1. Biocombustibles con bioenergéticos (biodiésel)

En las últimas décadas, los cultivos energéticos han cobrado relevancia como una oportunidad potencial a la dependencia del petróleo, esto gracias a su utilidad para la generación de biocombustibles (Nava & Doldán, 2014). Específicamente, los cultivos energéticos (bioenergéticos) corresponden a aquellos cultivos agrícolas, forestales o acuáticos, cuya producción parcial o total se utiliza como materia prima para generar energía aprovechable (Nava & Doldán, 2014). En cuanto a la producción de biodiesel de segunda generación, estos se obtienen mediante un proceso químico (transesterificación) a partir de aceites vegetales, y actualmente se

están tratando de identificar y mejorar otras especies oleaginosas de cuya semilla puedan extraerse aceites de mejor calidad y que puedan ser sustitutivas de las tradicionalmente empleadas como materia prima: soja, colza, girasol, palma..., que tienen una clara aplicación alimentaria (Leyva & Ruíz, 2011).

La idea de producir biocombustible a partir de aceites vegetales no es nueva. Rudolf Diesel en el año 1900 utilizó aceite de cacahuete para impulsar el motor que había construido. Sin embargo, en ese tiempo no se les dio mayor importancia a los biocombustibles, ya que se pensaba que los combustibles fósiles eran inagotables. En un discurso de 1912, Diesel dijo que “el uso de aceites vegetales como combustibles de motor puede parecer insignificante hoy, pero tales aceites pueden convertirse, en el transcurso del tiempo, tan importantes como el petróleo y los productos de alquitrán de hulla de la actualidad (Medina, et al., 2012)”.

En México, el programa de Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 describe diversos cultivos estratégicos, entre esos aquellos que tienen potencial de mercado para abastecer el consumo nacional y adicional aprovechar las oportunidades de estos, en los mercados internacionales con el objetivo de mejorar la competitividad del sector agrícola. En esta categoría, encontramos aquellos cultivos bioenergéticos como la *Jatropha curcas*, la higuerrilla y el sorgo dulce; los cuales se describen a continuación.

#### 1.1.1.1. *Jatropha Curcas*:

Es una planta perenne cuya vida productiva oscila entre 45 y 50 años; es de crecimiento rápido y alcanza una altura normal de 2 a 3 m, aunque en condiciones especiales crece de 5 a 8 m. El grosor de su tronco es de 20 cm con crecimiento desde la base del tallo con distintas ramas. Las hojas normalmente se forman con 5 a 7 lóbulos acuminados. Esta planta crece casi en cualquier parte, incluso en las tierras cascajosas, arenosas y salinas, aunque prefiere los suelos francos, franco-areno-arcillosos y el limo.

*Ilustración 2. Jatropha Curcas*



*Fuente: (Bernal, R; Gradstein, S.R.; Celis, M, 2015)*

Del prensado de sus semillas se obtiene el aceite, y sirve para uso directo en más de un centenar de productos en la industria química, aunque se destina principalmente para la producción de biodiesel. La cáscara por su parte es utilizada para producir biogás por su alto poder calorífico o, en su defecto, como fertilizante orgánico. También se utiliza como alimento para bovinos, porcinos y aves de corral, ya que es rica en minerales y proteínas. Para obtener biodiésel a partir de la jatropha, se extraen las semillas del fruto, después se lavan con agua destilada y se secan en una estufa a 60°C durante aproximadamente 12 horas. Posteriormente, las semillas se trituran y se meten a un sistema denominado Soxhlet, el extracto obtenido se evapora y el aceite conseguido se almacena en un refrigerador hasta su posterior uso. Cabe recordar que el biodiésel es una mezcla de ésteres alquílicos de ácidos grasos; su obtención se hace por la reacción de transesterificación de los triglicéridos presentes en los aceites vegetales; a partir de esto se podría decir que, dependiendo de la calidad de la semilla, el contenido de aceite puede variar y por lo tanto se pueden obtener de 0.4 a 0.6 litros de biodiésel por cada kilogramo de semilla (Sánchez, 2015).

En el contexto productivo, de las 282 hectáreas sembradas en 2016, el 14.21% de la superficie se encuentra mecanizada, 89.34% cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, mientras que sólo el 14.21% del territorio sembrado con este cultivo

contó con asistencia técnicas. Por otro lado, 67.05% de la producción es de temporal. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017)

#### 1.1.1.2. Higuera:

La higuera es una planta arbustiva que tiene su origen en África tropical y que poco a poco fue distribuida como planta medicinal en el Medio Oriente, especialmente en lugares con climas cálidos, tropicales, por ser una planta heliófila y xerófila se adapta a climas secos. (Cornejo & Estrada, 2012). En climas cálidos la planta es perene y en climas templados con inviernos duros se vuelve caduca:

Tabla 2. Taxonomía de la higuera

<b>Orden</b>	Euphorbiales
<b>Familia</b>	Euphorbiaceae
<b>Género</b>	Ricinus
<b>Especie</b>	Communis

Fuente: (Cornejo & Estrada, 2012)

Debido a las características geográficas propias de México, la higuera tiene gran diversidad en altura de planta, color y tamaño de grano y de planta, con una amplia adaptación, ya que se encuentra distribuida en un 80% del territorio del país, desde el nivel de mar hasta aproximadamente 2,300 msnm y con precipitaciones desde 400 a 3000 mm y un potencial de rendimiento de 600 a 3000 kilogramos por hectárea en función de la variedad, su precocidad va de 1 a 3 cortes por año y condiciones de la humedad en el suelo acorde a la precipitación, con un contenido de aceite de 36% a 56% dependiendo de la variedad.

Ilustración 3. Higuera



Fuente: (Ecos del Bosque, 2021)

Debido a su distribución en los diferentes países del mundo, esta planta cuenta con diferentes nombres incluyendo el taxonómico (Tabla 3) y sus denominaciones específicas en diferentes países de Latinoamérica.

Tabla 3. Otros nombres comunes de *Ricinus Communis*

País	Nombre común de <i>Ricinus Communis</i>
Argentina	Tártago, higuera, castor
Brasil	Mamona, mamoneira, tártago, ricino, ricino mamona, carrapateiro, palma christi
Paraguay	Mbai-sivó, ambaí-sivó, palma christi, higuera infernal
Colombia	Catapucia mayor, ricino, higuera
Cuba	Degha, higuera, koch, palma christi, ricino
Puerto Rico	Higuera

Fuente: (Comar, et al., 2004)

La higuera es utilizada de diversas formas tales como componente de medicinas, lubricantes, pinturas, barnices e incluso como vegetación ornamental, además tiene el potencial para ser parte de las materias primas dirigidas a los combustibles de “segunda generación”.

En efecto, el aceite en la semilla de higuera representa el primordial valor de este cultivo, ya que es de muy buena calidad, siendo utilizado como materia prima en una amplia gama de industrias. Adicionalmente, como parte del proceso productivo se generan residuos, como la pasta resultado de la extracción del aceite de la semilla, la cáscara del fruto y residuos de la planta que pueden ser aprovechados por el productor, los cuales son una opción de valor agregado para el cultivo, ya que al destoxificar la pasta generada es posible usarla como complemento en la formulación de alimento para ganado, y con los residuos de planta y semilla, se puede producir pellets que se utilizan como biocombustible sólido o en la industria de bioplásticos, nylon, poliuretanos y otros más. (Montes, et al., 2018). Específicamente, del aceite de su semilla se obtiene el biodiésel de higuera, cuyo proceso de extracción suele requerir mucha energía para lo cual existen dos

diferentes técnicas: los tornillos extractores y la extracción por solventes. A partir de la extracción, la producción del biodiésel se da principalmente al realizar una transesterificación del aceite. La higuera, junto con otros cultivos empleados en biocombustibles y bioenergía son una esperanza ya que pueden ser una medida más para sanear la contaminación ambiental y en especial combatir el cambio climático.

En el caso de México, debido a que presenta un clima con grandes bondades este “permite tener una gran diversidad de vegetación desde cultivos hasta plantas silvestres que se pueden aprovechar de manera racional, tal es el caso de la higuera de la cual se extrae el aceite para la producción de biodiesel” (Cornejo & Estrada, 2012) .

#### 1.1.1.3. Sorgo dulce:

El sorgo dulce es una planta originaria de la India, de la familia de las gramíneas, con cañas de 1.5 m de altura, llenas de un tejido blanco y algo dulce, y vellosas en los nudos, con hojas lampiñas, ásperas en los bordes, flores en panoja floja, grande, y derecha o espesa, arracimada y colgante, y con granos mayores que los cañamones, algo rojizos, blanquecinos o amarillos, cuyas semillas de sorgo miden 3 mm; son esféricas y oblongas, de color negro, rojizo y amarillento y cuenta propiedades nutricionales como azúcares de lenta absorción, de alta calidad y bajo contenido graso. Esta planta generalmente se siembra a chorrillo o con sembradora a una profundidad de 2 a 3 cm y a una distancia entre semillas de 6 a 15 cm y de 70 cm entre hileras, el terreno debe encontrarse nivelado para obtener una siembra uniforme. El sorgo dulce se adapta bien a climas cálidos, áridos o semiáridos y es capaz de soportar sequías durante tiempo prolongado y reemprender su crecimiento en cuanto el suelo tenga humedad, principalmente las variedades azucaradas que exigen la presencia en el suelo de carbonato cálcico, lo que aumenta el contenido en sacarosa de tallos y hojas. Es empleada principalmente en la industria de extracción, fundamentalmente para la obtención de almidón, alcohol y etanol, y para la fermentación aceto-butílica, para producir solventes importantes: alcohol, acetona y butanol.

Ilustración 4. Sorgo dulce



Fuente: (Bernal, R; Gradstein, S.R.; Celis, M, 2015)

En el contexto productivo, de las 169,142 hectáreas sembradas en 2016, el 98.68% de la superficie se encuentra mecanizada, 50.69% cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, mientras que el 60.86% del territorio sembrado con este cultivo contó con asistencia técnica. Por otro lado, 5.97% de la producción fue realizada por modalidad de riego por bombeo, 3.81% se hizo vía riego de gravedad y 42.12% se produjo con riego general sin especificar; el resto fue de temporal. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017)

Para terminar, es importante precisar el rendimiento que ofrece cultivos energéticos tales como la higuera y la jatropha en cuanto a su potencial para generar biodiesel (Tabla 4):

Tabla 4. Rendimiento de los cultivos energéticos

<b>Cultivo Rendimiento</b> <b>(gal / ha - año)</b>	
Higuera	687
Jatropha	412

Fuente: (IICA, 2010)

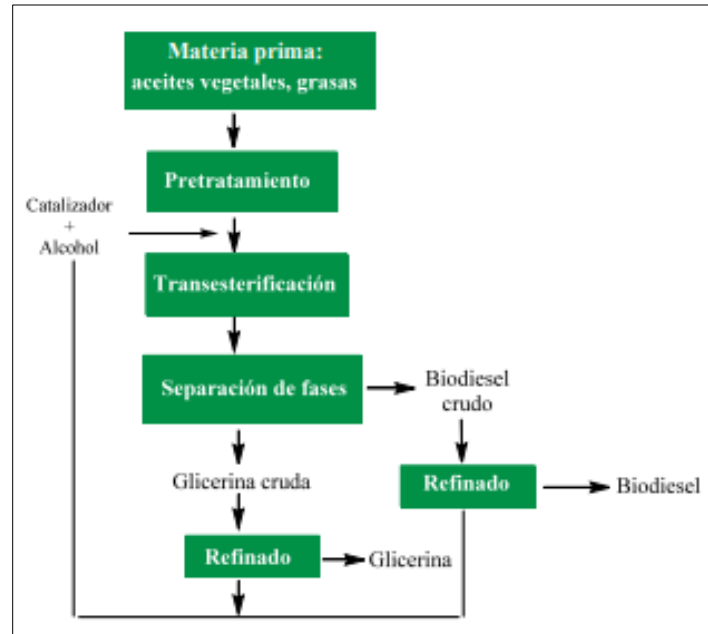


### 1.1.2. Procesos de obtención de biodiesel

El biodiesel es un combustible que se obtiene por la reacción de transesterificación de un triglicérido con un alcohol, típicamente metanol o etanol, utilizando hidróxido de sodio como catalizador, y básicamente la reacción consiste en el desplazamiento del alcohol de la estructura del triglicérido mediante la incorporación de otro alcohol de cadena corta (metanol, etanol, propanol o butanol), esta reacción transcurre mediante el desarrollo de tres reacciones reversibles, en serie respecto al aceite y en paralelo respecto al alcohol. De forma general el aceite presenta baja solubilidad en el alcohol, por lo que la etapa controlante de la velocidad del proceso suele ser la transferencia de materia. Por lo tanto, el biodiésel obtenido en todo caso estará compuesto por ésteres metílicos de ácidos grasos.

Todo el proceso de obtención de biodiésel inicia con el almacenamiento de la semilla y la posterior extracción del aceite que usualmente se realiza aplicando fuertes presiones en la semilla con el uso de un molino de extracción, permitiendo la separación en un solo paso del aceite y la torta proteínica. El aceite debe ser dispuesto en un recipiente adecuado y filtrarse antes de introducirlo en un reactor, para quedar a la espera de ser transesterificado. Una vez se introduce el aceite en el reactor, la primera operación a realizar es el deshidratado, en el cual se calienta el aceite por encima de los 80°C con las aberturas del reactor abiertas para que se evacue el vapor de agua; este proceso de calentamiento se da por resistencia eléctrica y dura varias horas, pero una vez se alcanzan los 80°C se apaga la resistencia e inmediatamente por estrés térmico, se dispersará el calor de forma lenta. Luego, inicia el proceso de transesterificación, donde se mezcla el aceite con un alcohol de cadena corta, y transcurridos entre 30 y 90 minutos, la transesterificación se ha completado. Se obtiene biodiésel y glicerina, tal como se muestra en la Ilustración 5 separado en dos fases líquidas y se dispone a la extracción de la glicerina de la mezcla obtenida; por último, se realiza el lavado del biodiésel para arrastrar impurezas y se almacena el biodiésel finalmente obtenido en bidones adecuados para ello (Sánchez, 2015).

Ilustración 5. Representación esquemática del proceso general



Fuente: (Medina, et al., 2012)

## 1.2. Biocombustibles en México y el mundo

“En un año el ser humano consume lo que la naturaleza ha tardado un millón de años en producir” (Ambientum, 2018); por lo cual es importante buscar alternativas que minimicen el impacto ocasionado por este y tratándose específicamente de los combustibles fósiles, es de conocimiento general que las reservas de este tipo de combustible son limitadas y se están consumiendo aceleradamente, a un ritmo que supera el ritmo de producción. Por ejemplo, “se calcula que, en unos 100 años, todas las reservas de este combustible fósil estarán agotadas” (Ambientum, 2018).

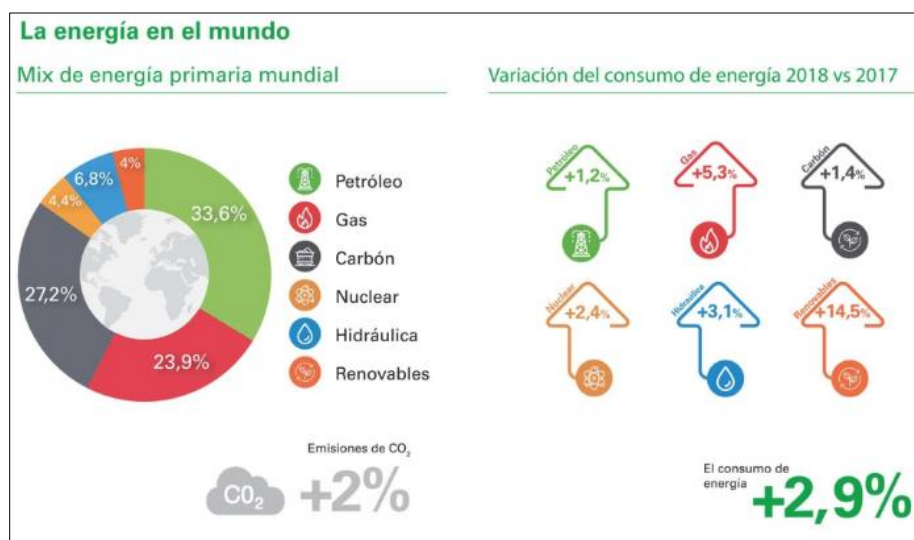
El biodiesel es una alternativa ante problemas del aumento de los precios de gasolinas, la contaminación ambiental que resulta del uso de motores a diésel y prevención de agentes cancerígenos por lo cual su producción y uso se ha incrementado a nivel mundial, siendo de gran importancia para el desarrollo de políticas sustentables tanto en el mundo como en México.

### 1.2.1. Biocombustibles en el mundo

El mercado de los biocombustibles surge a raíz de la primera crisis petrolera que se dio en 1973, donde encareció de forma significativa impactando a todos los países

del mundo cual, por causa de la gran dependencia de estos a este combustible fósil, y especialmente a aquellos que no contaban con reservas petrolíferas tales como Estados Unidos y Brasil. Por lo tanto, no es casualidad que estos dos países se encuentren dentro de los mayores productores de biocombustibles como el biodiesel y el bioetanol, pues desde hace un tiempo vienen trabajando fuertemente en la producción de combustibles a partir de la biomasa, buscando de esta manera reducir su dependencia de combustibles fósiles como el petróleo. Solamente, el consumo de combustibles fósiles representa a nivel mundial la mayor proporción de los requerimientos de energía (84.7%) mientras que las energías renovables representan solamente un 4% y la energía nuclear y la hidráulica tienen una participación del 4.4% y 6.8% respectivamente del consumo energético global (Ilustración 6). De la energía renovable, aproximadamente un 77% proviene de la biomasa a la cual se le dan usos como biocombustibles líquidos para el sector del transporte, generación eléctrica y generación de calor, además de los usos tradicionales como cocción de alimentos y calefacción (Masera, et al., 2011). El principal uso que ha tenido los biocombustibles es para el sector transporte donde en muchos países ha ganado gran participación, es el caso de Brasil donde el 40% del consumo nacional de gasolina está reemplazado por el bioetanol obtenido de caña de azúcar, y en cuanto al biodiesel, la mayor parte de producción y consumo se da en Europa, específicamente en Alemania.

Ilustración 6. La energía en el mundo 2018



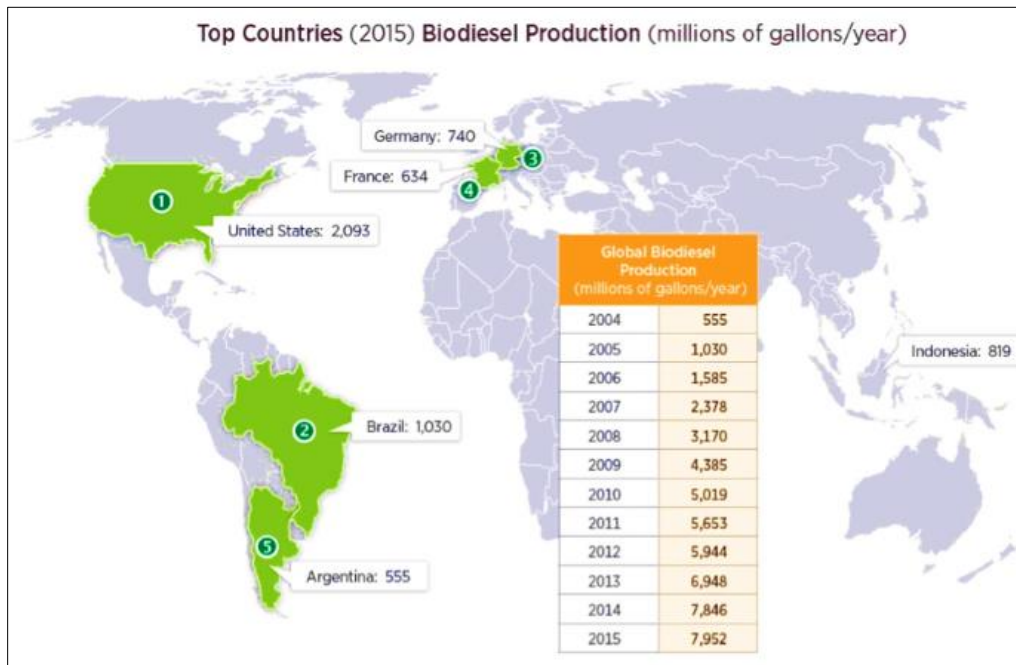
Fuente: (Interempresas, 2019)

En 2018, a pesar de un modesto crecimiento del PIB y del aumento de los precios de la energía, la demanda global de energía creció un 2.9%, casi el doble del promedio experimentado en la última década (1.7%). El impulso se produjo por una combinación de efectos relacionados con la meteorología – aumento de la demanda de aire acondicionado y calefacción en los principales centros de demanda (EE UU, China y Rusia) – y la reversión de los movimientos cíclicos del patrón chino de crecimiento. La mayor parte del crecimiento global lo protagonizaron economías en desarrollo, como China e India, que, junto a Estados Unidos, representaron alrededor de dos tercios de dicho aumento. El incremento del consumo se observó en prácticamente todos los tipos de combustible, creciendo la mayoría de ellos con más fuerza que la media histórica. Con un 5.3% más de demanda, el gas natural alcanzó una de las tasas más elevadas de los últimos 30 años y supuso casi el 45% del aumento del consumo mundial de energía. En cambio, el impulso de las renovables, del 14.5%, fue levemente menor al que se produjo el año anterior, si bien continuó siendo, con diferencia, la fuente de energía que creció más rápidamente a nivel global (Interempresas, 2019).

La historia de producción del biodiésel se remonta hacia los años 1990, el cual, a diferencia del bioetanol, se empezó a producir 20 años después por lo cual guarda

cierta desventaja respecto a este tipo de biocombustible. Como se observa en la Ilustración 7, el continente americano es el mayor productor de este tipo de combustible, siendo Estados Unidos y Brasil los que llevan la delantera, sin embargo, es válido afirmar que sin duda la producción y aceptación de biodiésel en todo el mundo va en crecimiento.

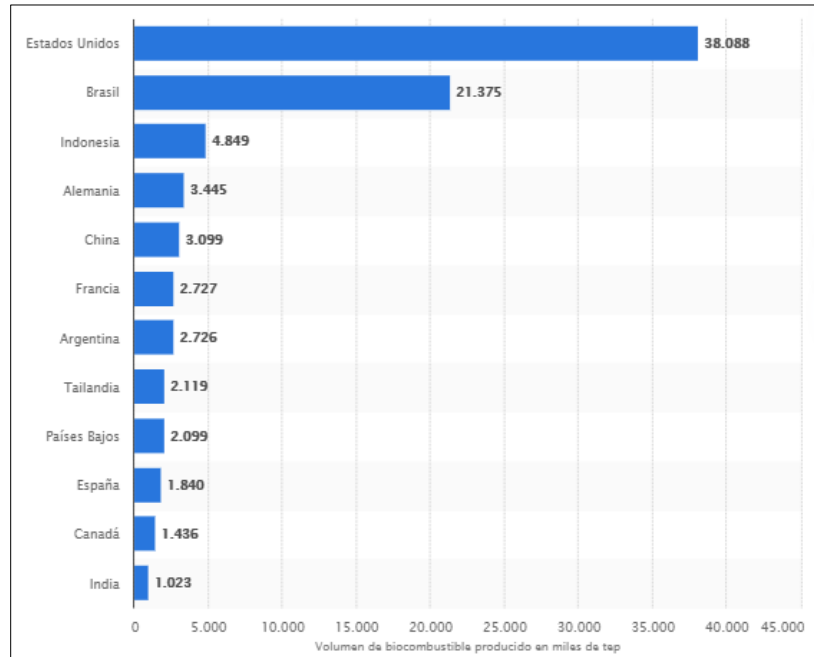
Ilustración 7. Top countries biodiesel Production



Fuente: (Masera, et al., 2011)

## Ranking mundial de los principales países productores de biocombustible en 2018 (en miles de toneladas equivalentes de petróleo)

Ilustración 8. Principales productores de biodiesel



Fuente: (Fernández, 2019)

A partir de 1997 con la firma del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su posterior ratificación en febrero año 2005, los esfuerzos a nivel global se han intensificado. Como parte de las iniciativas para incentivar masivamente la producción y uso de biocombustibles, la comunidad internacional ha venido estableciendo políticas e investigaciones que contribuyan a la adopción de medidas adecuadas, por lo que surgen organizaciones como el Foro Internacional de Biocombustibles que busca contribuir a la creación de un mercado mundial de combustibles alternativos, lo que traería beneficios sostenibles para países tanto desarrollados como en desarrollo. Este foro, surge en 2007 como iniciativa conjunta de Brasil, China, India, Sudáfrica, Estados Unidos y la Comisión Europea; otras organizaciones como la Asociación Mundial de la Bioenergía, la Mesa redonda sobre los Biocombustibles sostenibles, el Foro Internacional de Biocombustibles, ONU-Energía también han tenido por objetivo

avanzar el desarrollo exitoso y sostenible de la bioenergía formulando los criterios principales de la sostenibilidad (Valderrama, 2012). A propósito de estas organizaciones, otras de las apuestas del gobierno están orientadas a la generación de medidas políticas que buscan promover los biocombustibles de forma tal que puedan competir con la gasolina y el diésel, y dentro de las más importantes se encuentran las siguientes:

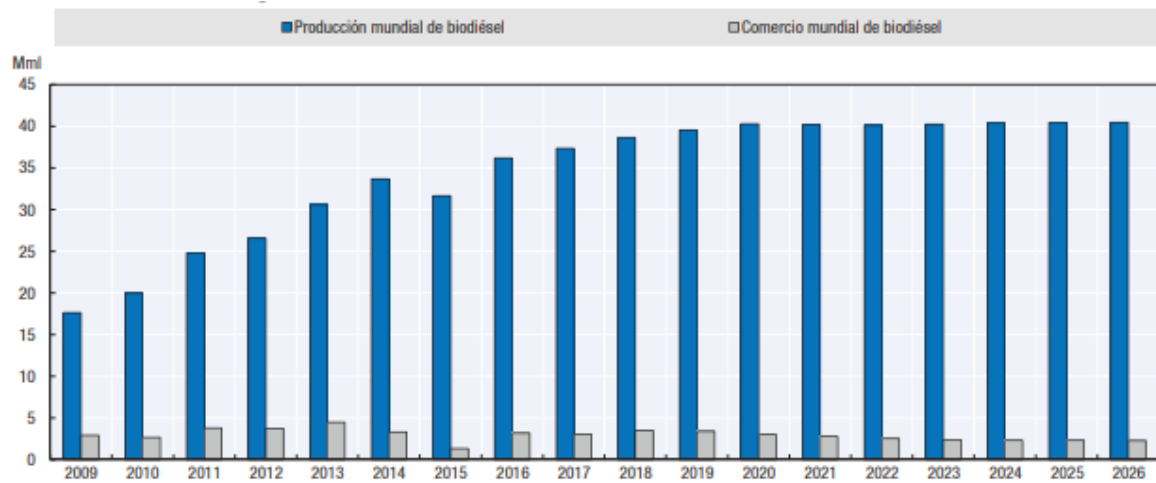
1. Políticas de apoyo presupuestario: éstas se materializan como exenciones fiscales para productores, distribuidores o consumidores de biocombustibles, o bien apoyos directos en ampliación de capacidad productiva, procesamiento, infraestructuras o equipamientos para usuarios de este tipo de combustibles.

2. Normas sobre porcentajes mínimos obligatorios sobre la cantidad de carburantes empleados para el transporte.

3. Restricciones al comercio o aranceles a la importación: esta medida busca proteger la industria nacional de biocombustibles cuando resulta menos costo-eficientes que los competidores exteriores.

Es de esta manera, como se proyecta que los biocombustibles serán cada vez más necesarios y obligatorios en los países si a la par se desea mitigar el impacto en el medio ambiente que actualmente se está causando por el poco uso de energías limpias. Según la Agencia Internacional de Energía, en 2050 hasta el 27 por ciento del total mundial del combustible para transporte podría provenir de biocombustibles; de la biomasa podría derivar el 7.5 por ciento del total de la energía eléctrica generada; y la energía térmica producida mediante bioenergía podría suponer, respectivamente, el 15 y el 24 por ciento del consumo energético final en los sectores de la industria y la construcción. En la Ilustración 9, se pueden observar las perspectivas para la producción y comercio mundial del biodiésel según la OCDE, donde se observa la tendencia al alza a través del tiempo, para la generación de este tipo de combustible.

Ilustración 9. Perspectivas Biodiésel



Fuente: (OCDE/FAO, 2017)

A continuación, se muestra un breve resumen que describe la situación actual del continente americano en cuanto a la producción de biodiésel, teniendo en cuenta los cultivos que se emplean para esto (Tabla 5).



Tabla 5. Situación en el continente americano para producción de biodiésel

**Situación en el continente americano**

País	Situación respecto al biodiésel	Cultivos utilizados
<b>Argentina</b>	De acuerdo con estadísticas de la AABH, a fines del 2007 el sector contaba con ocho plantas habilitadas por la Secretaría de Energía, cinco plantas en construcción, 23 anteproyectos en estudio y más de 40 pequeñas plantas.	Colza, soja y girasol
<b>Brasil</b>	Para abril del 2008, Brasil contaba con 38 plantas autorizadas y con un registro especial para producir biodiésel de la Secretaría de Ingresos Federales de Brasil, del Ministerio de Finanzas, con una capacidad de producción total de 2730 millones de litros por año. De estas 38 plantas, 27 tienen el sello para combustible social.	Girasol, algodón, maní, mamona, palma aceitera, jatropha
<b>Chile</b>	Actualmente solo existen iniciativas públicas o privadas que producen biodiésel a nivel experimental y de pequeña escala. Sin embargo, existen varias instituciones que realizan tareas de investigación sobre cómo mejorar la producción de la materia prima y las posibilidades reales de producción de biodiésel	Colza, girasol
<b>Paraguay</b>	En lo que respecta a biodiésel, todavía son pocas las investigaciones que se realizan entorno a la producción de materias primas. Actualmente algunas iniciativas, principalmente privadas, producen y utilizan biodiésel en sus propios vehículos en forma de prueba. Recientemente el sector público, por medio de PETROPAR, empezó a incursionar en la producción y uso del diésel de origen biológico en su flota de vehículos.	Soja, algodón, colza, sésamo, girasol, maní, tártago (higuerilla), tung
<b>Uruguay</b>	Actualmente se produce biodiésel a partir de soja, girasol y sebo vacuno, pero en niveles aún no significativos y con dos grandes desafíos por delante para las empresas productoras de biodiésel en función de la nueva reglamentación: a) alcanzar el mínimo de calidad exigido por la norma UNIT 1100:2005; y b) aprobar las habilitaciones y análisis requeridos. Por otra parte, se desarrollan investigaciones del cultivo colza o canola en las instalaciones del INIA y en predios privados ubicados en zonas tradicionalmente agrícolas.	Soja, girasol
<b>Colombia</b>	Actualmente están en operación tres plantas de biodiésel: dos en la región norte con capacidades de 50 y 36 mil t/año, respectivamente (Oleoflores y Odin Energy), y una más en la región oriental con capacidad de 100 mil t/año (Bio D). De acuerdo con la Unidad de Planeación Minero-Energética, del Ministerio de Minas y Energía, Colombia enfrenta el reto de aumentar la oferta interna para cubrir la totalidad del país con una mezcla del 5% de biodiésel en el 2009 y aumentarla progresivamente a 10% y 20%, de acuerdo con el Decreto 2629 del 2007.	Palma aceitera principalmente, y aceite de estos ocho cultivos: coco, higuerilla, aguacate, jatropha, colza, maní, girasol y soja

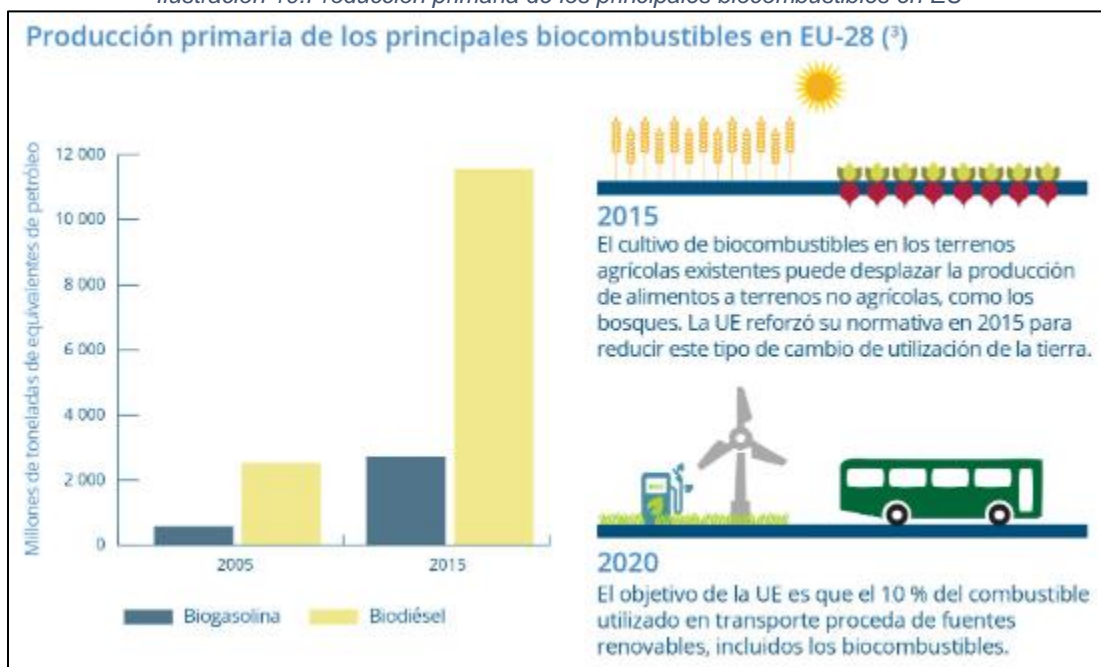
País	Situación respecto al biodiésel	Cultivos utilizados
<b>Bolivia</b>	<p>La investigación orientada al desarrollo de biodiésel está encabezada por ANAPO, que recientemente realizó un experimento en el Instituto de Investigación Agrícola, en la que se logró una combinación ideal de 20% de biodiésel y 80% de diésel oil (B20). Por otro lado, a partir del 2008, el Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT) en la región de Santa Cruz inició un proyecto de investigación para la producción de biodiésel, con énfasis en los pequeños productores. Como parte del proyecto, se están evaluando cultivos alternativos a la producción de soya, entre ellos la palma aceitera, el mocororo y el piñón, que no afectarían la seguridad alimentaria.</p> <p>En relación con el sector público, la decisión del Gobierno Boliviano de privilegiar la seguridad alimentaria antes del desarrollo de producción de biocombustibles, clarifica la línea de acción del país.</p>	Soya, girasol, maní, sésamo
<b>Ecuador</b>	<p>La producción de biodiésel en Ecuador es incipiente. Una única empresa, La Fabril, realiza la producción y exportación de biodiésel en el país. Sus operaciones iniciaron en el ciclo agrícola 2005-2006 con aceite de palma para la materia prima. Además de las iniciativas gestionadas por La Fabril, el Ministerio de Energía creó el Programa Nacional de Biocombustibles, con el objetivo de impulsar su uso entre la población. El biodiésel que se produce en el Ecuador no puede competir con el derivado del petróleo (petrodiésel), el cual tiene un fuerte subsidio del Estado.</p>	Palma aceitera
<b>Perú</b>	<p>Si bien, no se reportan cifras significativas de producción de biodiésel en el país, existen algunas empresas (6 según los datos que se tienen) productoras de aceite de palma que han instalado algunas plantas piloto para producir biodiésel a partir del aceite de palma. Con diversas normas, el país ha venido promoviendo el consumo masivo del gas natural. Durante el 2005, el consumo de diésel y carbón para la producción de energía disminuyó considerablemente y fue reemplazado por gas natural. En los próximos años, se busca llegar a una matriz equilibrada entre energías renovables, diésel y gas al 33%.</p>	Palma aceitera, aguaje, higuera, jatropa, soya, girasol, canola o colza, sachá inchi
<b>Canadá</b>	<p>La industria de biodiésel en Canadá es aún marginal, con una capacidad instalada en el 2007 de 97 millones de litros por año. La situación de industria marginal se debe principalmente al limitado número de plantas de producción, a la disponibilidad de materia prima para ser usada como insumo para biodiésel y a aspectos concernientes a la adaptabilidad del biodiésel a clima frío. Se han identificado cuatro grandes iniciativas que utilizan y promueven la producción del biodiésel.</p>	Canola, soja

País	Situación respecto al biodiésel	Cultivos utilizados
<b>Estados Unidos</b>	Estados Unidos es el tercer país productor de biodiésel del mundo y el principal productor en América, y además consume internamente toda su producción. Para agosto del 2007, existían 750 estaciones donde se vendía biodiésel. Carolina del Norte, Carolina del Sur, Texas y Missouri son los cuatro estados con mayor número de gasolineras que venden biodiésel. El sistema de innovación se apoya en innumerables iniciativas públicas y privadas interesadas en la producción de biodiésel en el corto plazo y que se encuentran en búsqueda de inversionistas.	Soja, algodón, girasol, lino, colza, maní

*Fuente: Elaboración propia con base en Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2010)*

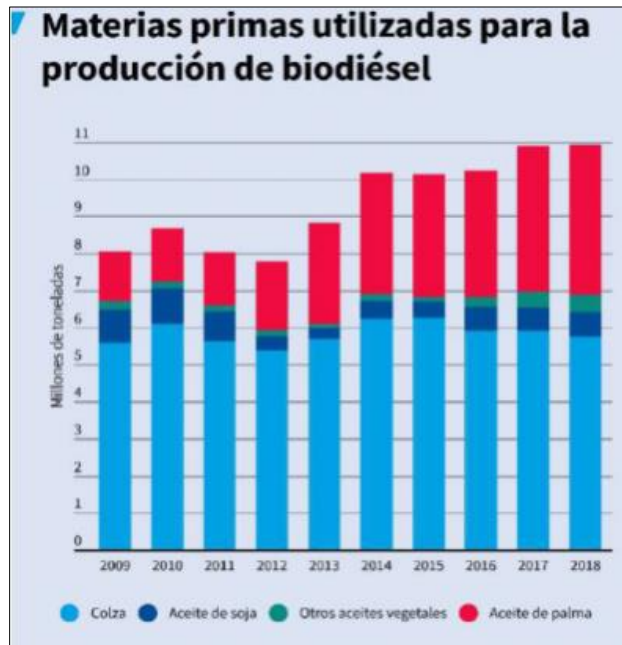
Mundialmente, la promoción de los biocombustibles ofrece beneficios para la seguridad, el suministro de energía y la mitigación del cambio climático, adicionalmente contribuye a la reducción de la polución en la zona urbana y al desarrollo de las zonas rurales. En Europa, los biocombustibles son ampliamente compatibles con los vehículos actuales y pueden ser mezclados con algunos combustibles fósiles, por lo que la política climática y energética de la unión europea contempla como política prioritaria la promoción y desarrollo de los biocombustibles, introduciendo así una meta de la participación de un 10% de energías renovables dentro del transporte para el año 2020 (Ilustración 10), donde los biocombustibles contribuirán sustancialmente a este objetivo. Dicha política, se enfoca en el desarrollo de biocombustibles de segunda generación, superar barreras de mercado y mejorar la distribución y los sistemas de almacenaje. (European Comission, s.f.).

Ilustración 10. Producción primaria de los principales biocombustibles en EU



Fuente: Eurostat, 2018

Ilustración 11. Materia prima para producción de biodiésel



Fuente: (Rico, 2019)

El principal cultivo del cual proviene la biomasa para obtener biodiésel en Europa es la palma de aceite y la colza (canola), tal como se muestra en la Ilustración 8, pero se prevé que para el 2030 la palma de aceite deje de contar definitivamente como energía renovable dado el impacto ecológico ocasionado por el uso de esta planta para tales fines y la reducción de su participación en el sector alimenticio (Rico, 2019).

A nivel de la Unión Europea, se habla de dos grandes iniciativas orientadas a la promoción y desarrollo del mercado de los biocombustibles, el primero es el programa JEC (Joint Research Center) financiado por la Unión Europea y el segundo es la EIBI (European Industrial Bioenergy Initiative).

- Programa de biocombustibles JEC: La colaboración en la investigación JEC entre el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, EUCAR (el Consejo Europeo de Investigación Automotriz y Desarrollo) y CONCAWE (asociación europea de compañías de petróleo para el medio ambiente, la salud y la seguridad en la refinación y distribución) se inició en el año 2000.

Las tres organizaciones han colaborado en los campos relacionados con la sostenibilidad del vehículo en Europa y las industrias del petróleo, proporcionando información relativa al uso de la energía, la eficiencia y las emisiones de una amplia gama de sistemas de propulsión de vehículos y opciones de combustible. Esta metodología es una referencia científica en el panorama europeo de investigación energética. El primer estudio de Biocombustibles JEC, que fue lanzado en 2011 (JEC, 2011b), intentaba proporcionar una base científica sólida para la toma de decisiones y una actitud relevante sobre la aplicación del reglamento de la UE, incluida la FQD1 (Fuel Quality Directive). Las organizaciones asociadas que hicieron este programa JEC acordaron reanudar su programa de biocombustibles en base a la necesidad y la percepción de la oportunidad de revisar su informe de 2011, ya que reconocían que se había quedado obsoleto. El ámbito de aplicación del Programa de Biocombustibles JEC se resume:

- Centrándose en el análisis de la demanda energética del transporte por carretera y, al mismo tiempo, la inclusión de análisis no dinámico de otros modos de transporte.
- El análisis de los posibles escenarios de demanda de combustible en el plazo 2010-2020, haciendo hincapié en la captación de combustibles alternativos en función de la compatibilidad de los combustibles y los vehículos y las preferencias del consumidor.
- Centrándose en el análisis sobre las perspectivas de suministro de biocombustibles (tanto convencionales como avanzadas) y su disponibilidad proyectada en el mercado europeo.
- Un análisis de la disponibilidad de materia prima para biocombustibles convencionales no es parte de este estudio. Se supone que Europa puede conseguir suficiente materia prima para la producción de biocombustibles convencionales que se consume en Europa. Por lo tanto, se supone que la producción de etanol convencional y la FAME4 (Fatty acid methyl ester) no es un factor limitante.

- También se consideraron otros aspectos, incluidos los requisitos para la incorporación progresiva de los estándares de combustible, requerimientos de infraestructura, requisitos de producción y distribución de combustibles y la aceptación del cliente.
- Iniciativa Europea para el desarrollo de la bioenergía industrial (EIBE): es una de las iniciativas industriales dentro del marco del Plan SET que tienen como objetivo priorizar y facilitar la demostración de tecnologías innovadoras de energía limpia en Europa. El EIBE fue oficialmente lanzado el 15 de noviembre 2010, tras el desarrollo de un proyecto de propuesta EIBE por la CE en 2009, que estableció los objetivos y el alcance previsto de la iniciativa. El proyecto de propuesta fue presentada originalmente al Grupo Director de la Comunidad Europea de Tecnologías Energéticas Estratégicas en un primer taller EIBE, el 26 de junio de 2009. El alcance de EIBE está en innovadoras cadenas de valor de la bioenergía que todavía no están disponibles en el mercado (así excluyendo los biocombustibles actuales, el calor y la energía, el biogás) y que podrían ser desplegadas en gran escala (unidades de gran tamaño o en número mayor de unidades más pequeñas). Los principales objetivos de esta iniciativa son:
  - Habilitación de la disponibilidad comercial de la bioenergía avanzada a gran escala en 2020, destinado a los costos de producción que permite la competitividad con los combustibles fósiles por las condiciones existentes económicas y de regulación del mercado, y los biocombustibles de nueva generación que cubren hasta un 4% de las necesidades energéticas del transporte de la UE en 2020.
  - Fortalecimiento en la UE, del liderazgo tecnológico mundial para los combustibles de transporte renovables, para motores diésel y jet, para ser el área de más rápido crecimiento de combustibles de transporte, en el mundo (Rey, 2014).

En el año 2019, Indonesia tomó el liderazgo mundial en cuanto a la producción de biodiésel, generando el 17% del total, seguido por Estados Unidos con un 14% y Brasil con un 12%. Indonesia aumentó su capacidad de producción y creó nuevas plantas, esto alineado con la nueva política que hace énfasis en alcanzar el objetivo B20 (20% de biodiésel) en los combustibles que se usan para el transporte, el cual se estableció desde el año 2016.

#### 1.2.1.1. Biocombustibles con aceite de higuera

Como ya se mencionó anteriormente, el aceite de higuera representa como tal un cultivo con grandes ventajas que lo hacen apto para la producción de biodiésel tales como su fácil adaptación a tierras marginales, bajos requerimientos de agua y alta potencia de rendimiento, causas por las cuales gobiernos de diversos países han tomado la iniciativa de investigar y optimizar la obtención de biodiesel con este tipo de cultivos, además de otros que actualmente son muy utilizados (palma aceitera, soya y colza) en diferentes países del mundo. Los mayores productores de higuera en el mundo son China, Brasil e India, donde a este cultivo se le dan diferentes usos, especialmente en el campo medicinal. A pesar de esto, es aún incipiente los avances que se han realizado a nivel global por incorporar el aceite de la higuera como un insumo para biocombustibles, encontrando solo algunos casos de aplicación distribuidos en América Latina, y otros estudios que evalúan los posibles escenarios agrícolas para el desarrollo de este tipo cultivo, en suelos sometidos a diferentes características. Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2010), Brasil, Paraguay, México, Colombia y Perú, forman parte de los países del continente americano donde se han emprendido proyectos que utilizan el aceite de higuera como insumo para la generación de biodiésel, gracias a las condiciones apropiadas para el crecimiento de este tipo de cultivo por ser países con alta actividad agropecuaria y forestal. Por su parte, Colombia cuenta actualmente con 12 plantas de producción de biodiésel, sin embargo, todas usan como materia prima la palma aceitera dado que en esta región se da muy bien este tipo de cultivo, o bien, aceites vegetales quemados. En avances respecto a la producción de biocombustibles de segunda generación, la Corporación Colombiana



de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) exportó al Salvador una planta multipropósito para la producción de biodiésel capaz de procesar tres tipos de oleaginosas como higuera, jatropha o palma aceitera (Portafolio, 2008).

Por otro lado, la política de biocombustibles de Brasil ha promovido la creación de muchas industrias del aceite y los biocombustibles, y programas de becas que incentivan la producción, otorgando una mayor importancia a cultivos como la higuera. Según la Asociación Brasileña de Industrias Petroleras (2015), el principal insumo usado en Brasil para la producción de biodiesel es el aceite de soja (75%), seguido por la grasa animal, el aceite de semilla de algodón y aceite de freír; sólo un 2% corresponde a otras materias primas, esto marcado por el gran excedente de aceite de soja existente en el mercado (Luiz-Fantinel, et al., 2015). RenovaBio es la política Nacional de combustibles, establecida por la Ley N ° 13.576 / 2017, que establece los objetivos nacionales anuales de descarbonización para el sector de combustibles, con el fin de fomentar un aumento en la producción y participación de biocombustibles en la matriz de transporte de energía del país (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2020).

En Paraguay, entró en vigor a partir del 2007 un régimen obligatorio de mezclar biodiésel con diésel fósil en una proporción de un 1%, el cual pasó a ser para el 2008 del 3% y desde el 2009 en adelante, del 5% hasta un máximo del 20% lo cual apoya el hecho de que se han establecido alrededor de 9 empresas registradas que producen o proyectan producir biodiésel, cinco de estas procesan tanto grasa animal como aceite vegetal, y las cuatro restantes se abastecen exclusivamente de aceites vegetales. Adicionalmente, existe una cantidad no registrada de máquinas productoras de biodiesel para uso casero, empresarial o comunitario, destinados a abastecer la demanda propia, particularmente para las maquinarias agrícolas. Como estas cantidades marginales no se comercializan en el mercado libre, este tipo de producción no incide en la oferta nacional del biodiesel de Paraguay. Principalmente, el aceite vegetal que se utiliza proviene de la soja y del algodón, pero se están “llevando a cabo trabajos de investigación y desarrollo para

la identificación de otras materias primas de mayor rentabilidad y con mayor impacto positivo en la generación de empleo, tales como palma, coco, tártago (higuerilla), jatropha, nabo forrajero, sésamo y girasol” (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, 2011).

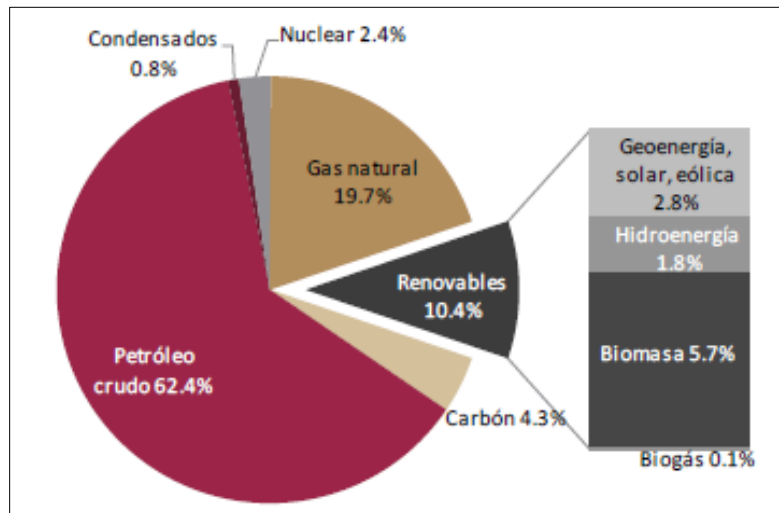
En México, ya se ha iniciado con la instalación de plantas para la producción de biodiésel que usan como insumo el aceite de higuerilla, el cual luego de pasar por un proceso químico llamado transesterificación permite obtener biocombustible, tal es el caso de Ricino Mex, empresa que empieza a operar desde 2013 en el estado de Oaxaca y que posteriormente recibe un apoyo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) para establecer en total 2,157 hectáreas de higuerilla, así como para instalar una biorrefinería (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017). En otras regiones del país, como Sonora y Sinaloa se ha incentivado el cultivo de la higuerilla con miras a que sea usada como materia prima en biorrefinerías, mientras que actualmente se utiliza en la aeronáutica, química, medicina e industria de motores de alta revolución (Tribuna, 2016).

De acuerdo con lo anterior, los registros relacionados con la generación de biodiésel a partir de aceite de higuerilla se ubican en América Latina, debido a la condición idónea de estos países para el crecimiento de este tipo de cultivos; adicionalmente es importante aclarar, que con respecto a la producción mundial de biodiesel utilizando aceite de ricino como materia prima, hasta ahora no hay informes o cifras específicas. Para otros grandes productores de higuerilla como China e India, aún no se registra información relacionada con producción de biodiesel a partir de este cultivo, ya que su uso se torna medicinal y cosmético principalmente y en cambio para la producción de biocombustibles siguen siendo usados en mayor cantidad aceites vegetales provenientes de cultivos como la soja, colza, palma y, también es usual que se empleen aceites de cocina que se consideran desecho.

### 1.2.2. Biocombustibles en México

En México, prevalece el petróleo como el energético primario con la mayor producción en el país con un 62.4%, mientras que las energías de fuentes renovables representan un 10.4% y otros tipos de energía como la nuclear representan tan solo un 2.4% (Ilustración 12).

Ilustración 12. Estructura de la producción de energía primaria en México 2016



Fuente: (Energía, 2019)

Como parte de la transición energética y la lucha contra el cambio climático, en el país se planteó inicialmente la producción de bioetanol como un oxigenante de la gasolina y posteriormente a introducirse en las tres principales zonas metropolitanas: Valle de México, Guadalajara, Monterrey y eventualmente para exportación. El biodiésel, ha sido un tema abordado marginalmente contemplando cultivos como la soya, la jatropha, el girasol y el cártamo, y posteriormente se plantea una posible mezcla con el petrodiésel. Pero es hasta 2008, que entra en vigor la Ley de promoción y desarrollo de bioenergéticos donde se definen las instituciones necesarias para la promoción de biocombustibles y sus funciones, siendo ya una directriz oficial en este ámbito para México.

En México existe un gran potencial de recursos biomásicos para producir biocombustibles líquidos, biocombustibles sólidos y biogás. En un estudio detallado sobre la disminución de emisiones de carbono en México financiado por el Banco

Mundial, donde participaron miembros de la REMBIO, se evaluó el potencial energético de las principales fuentes de bioenergía disponibles en el país. Se estimó que el potencial técnico de la bioenergía equivale a 3,569 PJ/a, o el 42% del consumo de energía primaria en 2008. Por lo menos, cuatro grandes instituciones investigan y desarrollan temas relacionados directamente con el biodiésel o con el complejo oleaginoso: INIFAP, La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, La Universidad Autónoma Chapingo y la SAGARPA. En la tabla 6, se listan algunas otras instituciones y proyectos relacionados con la producción de biodiésel, sin olvidar que además existen múltiples emprendimientos privados que buscan inversionistas para la producción de este biocombustible.

Tabla 6. Instituciones y proyectos de investigación para la producción de biodiésel en México

Institución o empresa	Fecha y descripción
Universidad Autónoma de Chiapas	Los investigadores de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Chiapas, México, descubrieron un tipo de combustible que no produce contaminantes, tiene un costo muy económico y un alto rendimiento (noviembre del 2006)
BID GTZ solicitado por SENER (Secretaría de Energía de México)	Viabilidad del uso de bioetanol y biodiésel para el transporte en México, D.F., México (noviembre 2006)
Universidad Vasconcelos, en Oaxaca	Primer <i>batch</i> (tubería de refinación) y cuatro días después se produjeron los primeros 155 litros de biodiésel en México, con materia prima que se recolecta de restaurantes de la ciudad. Actualmente el biodiésel está siendo probado en el autobús de la universidad en mezcla al 20%, sin que se haya presentado algún problema (Octubre del 2004)
Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM)	Planta de higuera de combustible para aviones. Investigadores de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) lograron la adaptación de cinco variedades de la planta de higuera de la que se extrae el aceite de ricino, que puede emplearse para la elaboración de biodiésel como combustible para aviones (Agosto del 2009)
<i>Bodiesel Industries Inc.</i>	Potencial de <i>Jatropha</i> en México para la producción de biodiésel. Cuatro variedades de semilla fueron importadas desde la India para una operación especial en México por la industria biodiésel Inc. USA. Fueron plantadas en invernaderos en México. Las medidas de propagación excedieron el 70% (Octubre del 2007)
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.	Análisis químico-físico de las semillas de <i>Jatropha</i> no tóxicas.

Fuente: (IICA, 2010)

#### 1.2.2.1. Plantas de biocombustibles existentes en México

En México, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ha impulsado desde 2013 a la fecha, 960 proyectos para la producción de biocombustibles, como una alternativa sustentable mediante cultivos específicos en beneficio del sector energético y de los productores del país, instalando siete plantas de biocombustibles, seis de ellas dedicadas a la producción de biodiesel y una para bioetanol, lo que permite contar con una capacidad de producción de 42.2 millones de litros anuales.

Estas plantas de biodiesel tienen como insumo aceite orgánico, vegetal, del consumido por los humanos y que ya se considera un desecho de cocina, este se recolecta, se filtra, se deshidrata y se agrega un químico llamado metóxido, calculando el volumen de sosa que se le tiene que agregar, y siendo una fabricación casera. De acuerdo con un informe de la Subsecretaría de Agricultura, en los últimos cuatro años se han otorgado incentivos por alrededor de 275 millones de pesos, lo que ha generado una inversión total de 529 millones de pesos (entre autoridades y productores) para la investigación, cultivo y plantas productoras de biocombustibles fomentando el establecimiento y/o mantenimiento de siete mil 939 hectáreas de cultivos destinados a la generación de insumos para la producción de biocombustibles, entre ellos la palma de aceite, jatropha, higuera y caña de azúcar.

Adicionalmente a estas acciones, se han desarrollado 29 proyectos de investigación y transferencia de tecnología en cultivos con potencial para la producción de bioenergéticos, orientados a obtener variedades de mayor rendimiento y tolerantes a factores adversos como plagas y enfermedades, y se han desarrollado y transferido nuevas tecnologías de producción y aprovechamiento de coproductos que ayudan a mejorar la rentabilidad de los proyectos de biocombustibles en el país. La Subsecretaría de Agricultura también que ha impulsado 90 proyectos en Campeche, Morelos y Oaxaca para cultivos de biodiesel, con una inversión de 31.4 millones de pesos, lo que ha permitido establecer cuatro mil 635 hectáreas de cultivos específicos. Además, se han invertido 75.1 millones de pesos en 23 proyectos de investigación y transferencia de tecnología para la producción de

biodiesel, en colaboración con instituciones como la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), entre otras. En plantas para la producción de biodiesel, la SAGARPA canalizó de 2013 a la fecha recursos por 25.1 millones de pesos, lo que permitió establecer seis plantas en los estados de Puebla, Baja California, Durango, Estado de México y Oaxaca, las cuales cuentan con una capacidad de cuatro millones 182 mil litros al año (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017).

De acuerdo con lo anterior, se concluye que los biocombustibles son una gran alternativa al uso de combustibles fósiles por lo que se considera importante trabajar en proyectos que promuevan el uso y producción de estos desde diferentes fuentes, tales como cultivos que permitan obtener biomasa y de esta forma transformarlos en energía. Dadas las condiciones óptimas de México para el cultivo de higuierilla, en esta tesis se propone el diseño y distribución de una planta de producción de biodiésel a partir del aceite de las semillas de higuierilla con un enfoque sustentable, para lo cual se formulará una propuesta de distribución de una planta que tenga en cuenta la forma óptima del uso del espacio para la distintas áreas y una reducción del manejo de materiales dentro de esta. Se tendrán en cuenta criterios sustentables desde las perspectivas económica, social y ambiental, utilizando conceptos relacionados con la distribución de plantas y se validará la propuesta usando la metodología de simulación, las cuales se describen a continuación.

## CAPÍTULO II: DISEÑO DE PLANTAS

El diseño de plantas productivas es una herramienta de la ingeniería industrial útil para la planeación de una planta en cuanto a diseño y recursos. A continuación, se define que es el diseño de plantas y los factores que influyen al momento de realizar la distribución de plantas:

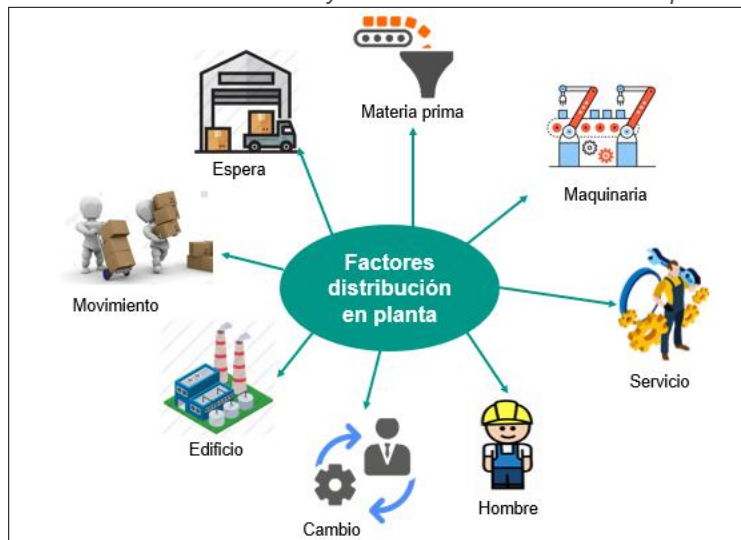
### 2.1. Diseño de plantas

El diseño y distribución de plantas es una técnica de la ingeniería industrial que estudia la colocación física ordenada de los medios industriales como el movimiento de materiales, equipo, trabajadores, espacio necesario, así como el equipo de trabajo y el personal de la planta. La aplicación de esta técnica da como resultado el uso adecuado de los recursos, así como lograr un orden en las áreas de trabajo y que el equipo resulte económico para la empresa, al mismo tiempo que seguro y satisfactorio (Platas & Cervantes, 2014).

#### 2.1.1. Factores influyentes en el diseño de plantas:

Se considera que son ocho los factores que influyen en la distribución de una planta, aunque estos pueden variar de acuerdo con el tipo de organización (Ilustración 13):

Ilustración 13. Factores influyentes en la distribución de una planta



Fuente: Elaboración propia

- Factor materia prima: es considerado el factor más importante en el diseño y distribución de una planta, incluyendo los siguientes aspectos claves:

- Material entrante, en proceso, saliente o embalado (Platas & Cervantes, 2014).
  - Materiales accesorios empleados en el proceso
  - Piezas averiadas, estropeadas o destruidas en el proceso
  - Desperdicios o desechos
  - Transporte de artículos voluminosos, pesados o costosos a través de largas distancias
  - Material que se extravía o pierde su identidad
  - Tiempo excesivo de permanencia del material en proceso
  - Materiales para mantenimiento
- Factor maquinaria: en este factor se consideran herramientas y equipos fundamentales para la conformación de la planta. Incluye los siguientes aspectos (Platas & Cervantes, 2014):
    - Maquinaria de producto
    - Equipo de proceso y de manejo de materiales
    - Herramientas, moldes, patrones, plantillas
    - Aparatos de medición, comprobación y pruebas
    - Maquinaria averiada, anticuada o inactiva
    - Herramientas manuales y eléctricas manejadas por el operario
    - Equipo que causa excesiva vibración, ruido, suciedad, vapores
- Factor Hombre: como factor de producción este se considera como el más flexible, ya que se puede trasladar, capacitar en actividades diversas y adaptar a distintas labores. A continuación, se mencionan los aspectos que se deben evitar con relación al factor hombre (Platas & Cervantes, 2014):
    - Condiciones de trabajo inseguras o elevada proporción de accidentes
    - Áreas que no se ajustan a los reglamentos de seguridad, de edificación o contra incendios
    - Excesiva rotación de personal
    - Obreros de pie u ociosos durante gran parte de su tiempo



- Trabajadores calificados que realizan otras operaciones de servicio (mantenimiento)
  
- Factor Espera: los materiales en el almacén están en espera de ser trasladados a la siguiente operación. Estas demoras generan costos que se pueden evitar, por tanto, es importante evitar ciertas situaciones como (Platas & Cervantes, 2014):
  - Grandes cantidades de almacenamiento de toda clase
  - Demasiadas pilas de materiales en espera de proceso
  - Congestión en zonas de almacenes, confusión en áreas de recepción y embarque
  - Operarios en espera de material en los almacenes o puestos de trabajo
  - Elementos de almacenamiento inseguro o inadecuado
  
- Factor Servicio: dentro de este factor se consideran los servicios que permiten y facilitan la actividad principal que se desarrolla en la planta (Casadiego, 2013). Se consideran aspectos como:
  - Iluminación
  - Ventilación
  - Ruido
  - Mantenimiento
  
- Factor movimiento: este factor principalmente hace referencia al movimiento del material (materia prima, material en proceso o producto terminado), es un factor tan importante que a menudo las industrias tienen equipos de ingenieros que no hacen más que implantar los equipos y los métodos de manejo. La distribución y el manejo del material van estrechamente unidos: no podemos estudiar uno sin tener en cuenta el otro, y todo estudio del manejo está directamente relacionado con el de la distribución (Casadiego, 2013). En este factor es importante tener en cuenta:
  - Patrón de circulación de flujo

- Espacio para el movimiento (pasillos, espacio a nivel elevado, espacio subterráneo, espacio de doble uso)
- Factor Edificio: el edificio es como el caparazón que resguarda a empleados, operarios, materiales, maquinaria, equipo y actividades auxiliares, por lo que constituye una parte fundamental de la distribución de planta. Es importante tener en cuenta (Platas & Cervantes, 2014):
  - Delimitar las áreas de productos, proceso, equipos o similares, con paredes o divisiones
  - Evitar la sobrecarga de los montacargas o la excesiva espera de los mismos
  - Contar con pasillos principales, pasos y calles, rectos y amplios.
  - Evitar edificios atestados, interferencia de tránsito entre trabajadores, almacenamiento o trabajo en los pasillos, áreas de trabajo sobrecargadas
- Factor Cambio: aplica principalmente para cambios o modificaciones importantes de la producción, así como los operarios, materiales y maquinaria. Entre los cambios a considerar están los siguientes (Platas & Cervantes, 2014):
  - Cambios anticipados o menores en diseño del producto, materiales, producción
  - Cambios anticipados o corrientes en los métodos, maquinaria o equipo
  - Equipo normalizado, como estantería, motores, conexiones, equipo de manejo, maquinaria
  - Edificios flexibles, espacios amplios, con pocas separaciones y mínimas obstrucciones
  - Cambios anticipados en horarios de trabajo, estructura de la organización, escala de pagos

## 2.2. Metodologías para calcular espacios:

Las metodologías comúnmente utilizadas para determinar los espacios necesarios y que deben ser considerados en el diseño de plantas son (Valencia, s.f.) :

- Por cálculo: El espacio requerido estará determinado por espacio requerido para máquinas más el espacio necesario para operarios, pasillos, espera de productos, entre otros. Este método es recomendable para la “distribución general de conjunto” y “distribución detallada”, sobre todo para las áreas de manufactura.
- Proyección de ratios: Para aplicar este método, se deben determinar ratios que relacione metros cuadrados con algún factor que puede ser medido para propósitos de distribución, por lo cual se usa generalmente para el cálculo de áreas grandes.
- Espacios estándar: Para la determinación de espacios requeridos, se utiliza estándares existentes en ciertas industrias.
- Método de conversión: Se halla el espacio actual requerido, se realiza el ajuste para hacerla más eficiente; luego es usado como base (factor) para hallar el espacio requerido para la distribución propuesta.
- Método Guerchet: Para determinar el espacio requerido, se hace necesario identificar el número total de maquinaria y equipo llamados elementos estáticos o fijos (EF) y también el número de operarios y el equipo de acarreo, llamados elementos móviles (EM). Para cada elemento a distribuir, la superficie total necesaria se calcula como la suma de tres superficies parciales: superficie estática, de gravitación y de evolución.

$$S_t = N(S_s + S_g + S_e)$$

*Ecuación 1. Superficie total método de Guerchet  
Fuente: (Valencia, s.f.)*

Donde:

$S_t$ = superficie total

$S_e$ = superficie de evolución

$S_s$ = superficie estática

$N$  = Número de elementos

$S_g$ = superficie de gravitación

móviles o estáticos de un tipo

La superficie estática corresponde al área de terreno que ocupan los muebles, máquinas y equipos. Debe incluir las bandejas de depósito, las palancas, tableros y demás objetos necesarios para su funcionamiento.

$$S_s = \text{largo} * \text{ancho}$$

*Ecuación 2. Superficie estática*  
*Fuente: (Valencia, s.f.)*

La superficie de gravitación es utilizada por los empleados y por el material acopiado para las operaciones de los puestos de trabajo. Se obtiene para que cada elemento, multiplicando la superficie estática ( $S_s$ ) por el número de lados a partir de los cuales el mueble o maquina deben ser utilizados.

$$S_g = S_s * n$$

*Ecuación 3. Superficie de gravitación*  
*Fuente: (Valencia, s.f.)*

La superficie de evolución es la que se reserva entro los puestos de trabajo para los desplazamientos del personal, del equipo, de los medios de transporte y para la salida del producto terminado. Para su cálculo, se utiliza el factor “k” denominado coeficiente de evolución que representa una medida ponderada de la relación entre las alturas de los elementos móviles y los elementos estáticos.

$$S_e = (S_s + S_g)k$$

*Ecuación 4. Superficie de evolución*  
*Fuente: (Valencia, s.f.)*

Para calcular “k” se debe utiliza la siguiente ecuación:

$$k = \frac{h_1}{2 * h_2}$$

*Ecuación 5. Cálculo de k*  
*Fuente: (Valencia, s.f.)*

Donde:

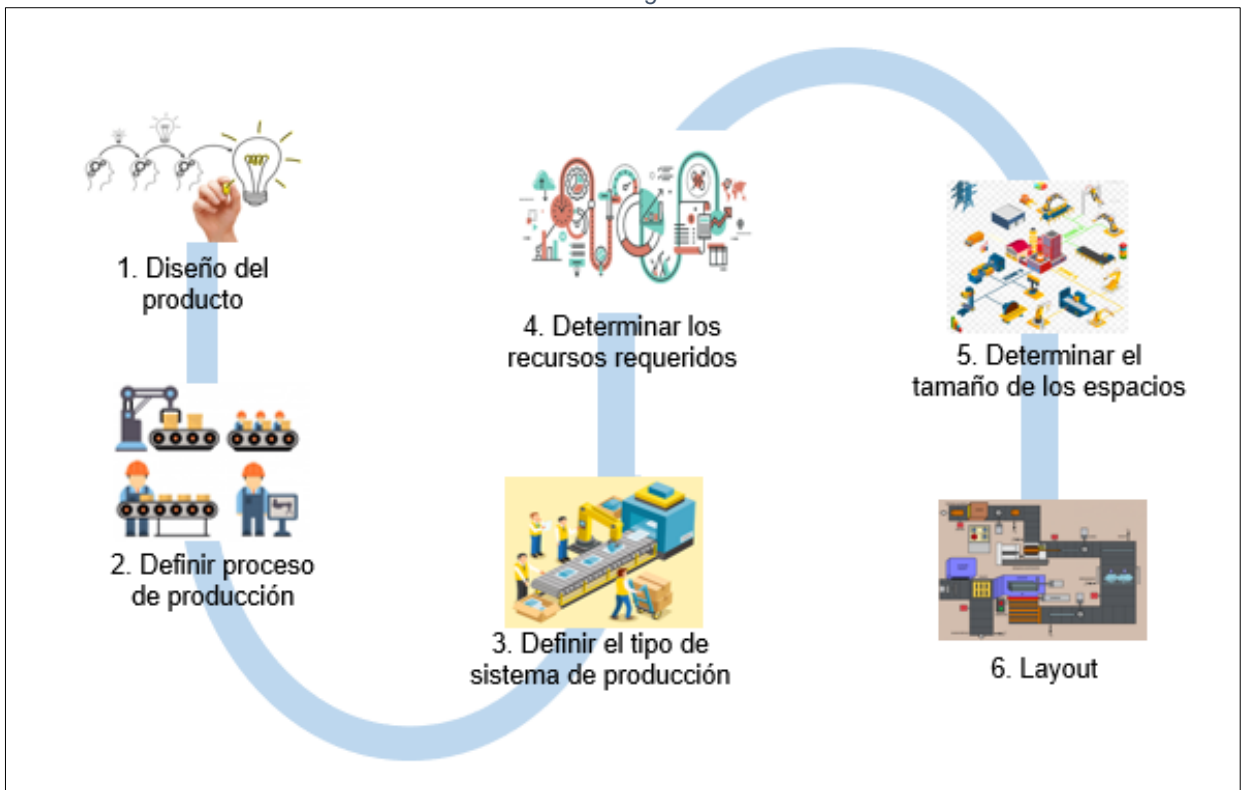
$h_1$ = altura promedio ponderada de los elementos móviles

$h_2$ = altura promedio ponderada de los elementos estáticos

### CAPÍTULO III: METODOLOGÍA APLICADA AL DISEÑO DE PLANTA

En este capítulo, se describe la metodología que se aplica para el presente trabajo de investigación y la aplicación de esta para lograr el objetivo general: diseñar una planta de producción de biodiésel a partir del uso del aceite de la semilla de higuierilla. El desarrollo de la metodología se llevó a cabo a través de las siguientes etapas (Ilustración 14):

Ilustración 14. Metodología de la tesis



Fuente: Elaboración propia

- **Diseño del producto:** se define a detalle las especificaciones del producto a elaborar, así como los insumos, materia prima, y la tecnología que se requerirá para su elaboración. La planta sólo se dedicará a la producción de biodiésel a partir del aceite de la higuierilla, el cual va a ser adquirido como materia prima.

- Definir proceso de producción: se define la serie de actividades necesarias para la transformación del aceite de la higuera en biodiésel, definiendo de esta manera las entradas, actividades, recursos y salidas del proceso.
- Definir el tipo de sistema de producción: se precisa el esquema bajo el cual se va a fabricar el producto ya sea bajo pedido, por lotes, en masa o continua. Con el desarrollo de los pasos anteriores es posible iniciar el desarrollo del Layout y el cálculo del tamaño de los espacios.
- Determinar los recursos requeridos: se determinan los recursos necesarios tales como el equipo, recurso humano, mobiliario y equipo de oficina, construcciones distribución de equipo, organización y eliminación o aprovechamiento del desperdicio, y demás recursos precisos para el funcionamiento de la planta, todo esto teniendo en cuenta además los siete factores que influyen en la distribución de plantas de producción.
- Determinar el tamaño de los espacios: una vez se tenga la información de las etapas anteriores, se evalúa el espacio requerido para la distribución de planta. Para este paso, se utiliza el Método Guerchet, que se explica en el numeral 1.4., y resulta fundamental y necesario tener en cuenta el volumen de producción y el estándar del producto a elaborar, y se deberán considerar los espacios destinados para los siguientes ítems:
  - Almacén de materia prima
  - Almacén de producto en proceso
  - Almacén de producto terminado
  - Pasillos
  - Mantenimiento
  - Despacho
  - Servicios higiénicos
  - Oficinas.

- Layout: se diseña una disposición óptima de la planta de producción de biodiésel a partir del aceite de higuera, incluyendo la maquinaria, los equipos y demás recursos necesarios para la operación. Esta seguirá el “Principio de la circulación o flujo de materiales”, el cual dice que una de las mejores distribuciones es aquella que ordena las áreas de trabajo de modo que cada operación o proceso esté en el mismo orden o secuencia en que se tratan, elaboran, o montan los materiales; por lo cual la primera operación empieza en la integración de material a la industria y termina con el embalaje del producto (Platas & Cervantes, 2014).

### 3.1. Aplicación de la metodología: Planta de producción de biodiésel

En México existen diversas iniciativas para la construcción de plantas de producción de biodiésel a partir de numerosas materias primas ya sea a partir de aceite vegetal usado o bioenergéticos, entre otros, sin embargo, son pocos los proyectos ejecutados a pesar de los múltiples beneficios que representan este tipo de plantas de producción con respecto al medio ambiente. Por lo cual se plantea el diseño de una planta cuyo principal objetivo es la producción de biodiésel, inicialmente a pequeña escala, y con proyecciones de crecimiento a la par que aumente y se generalice el uso del biodiésel como alternativa al combustible fósil como fuente de energía para el sector del transporte.

De esta manera, se utilizó la teoría de distribución de plantas y factores para el diseño de la planta de producción de biodiésel, para lo cual se incluyen los siguientes factores: materia prima, maquinaria, hombre, espera, edificio y movimientos, los cuales influyen directamente en esta instancia del diseño.

La metodología aplicada para este diseño se describe a continuación:

#### 3.1.1. Diseño del producto

El producto por elaborar en la planta de producción propuesta es el biodiésel o éster metílico de ácidos grasos (FAME), el cual puede ser elaborado a partir de aceites

vegetales o grasas animales, para este caso específico el producto se elabora a partir de la higuera, una planta arbustiva de la cual se puede extraer aceite que está contenido en su semilla. El biodiésel que se obtiene puede usarse en los motores diésel ya sea en estado puro o mezclado en diferentes proporciones.

El aceite de higuera que se emplea como materia prima representa una de las mejores alternativas debido a ventajas que posee; tales como su fácil adaptación a tierras marginales, bajos requerimientos de agua, alta potencia de rendimiento y al no ser apta para su consumo humano, no compite con requerimientos de producción para la alimentación. El biodiésel por obtener en la planta diseñada cuenta con unas características fisicoquímicas especificadas (Tabla 7) y su ficha técnica se muestra en la Ilustración 15:

Tabla 7. Datos Fisicoquímicos del biodiésel

<b>Datos Fisicoquímicos</b>	
Composición del combustible	Ester metílico ac. Grasos C12-C22
Poder calorífico inferior aprox. (Kcal/kg)	9,500
Viscosidad cinemática	3.5 – 5.0
Peso específico (g/m <sup>3</sup> )	0.875 – 0.900
Azufre (%P)	0
Punto de ebullición (°C)	190 – 340
Punto de inflamación	120 – 170
Punto de escurrimiento	-15/+16

Fuente: (Palermo, s.f.)

Ilustración 15. Ficha técnica del producto

<b>NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO</b>	Biodiésel
<b>FOTOGRAFÍA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>
	Es un bidón de biodiésel con una capacidad de 240 litros elaborado a partir de aceite de la semilla de higuera. Apto para su uso en cualquier vehículo con motor diésel
<b>CANTIDAD DE PRODUCCIÓN MENSUAL</b>	48,000 litros

Fuente: Elaboración propia



Es importante señalar que la planta de biodiésel se diseñó bajo los siguientes supuestos:

- Horas trabajadas por día: ocho
- Días de trabajo a la semana: seis
- Capacidad inicial de producción diaria: 2,000 litros\*

\*Para definir la capacidad inicial de producción diaria se utiliza la información contenida en el Anexo 1. **Volumen de producción plantas de Biodiésel en México**

Por último, entre la materia prima y los insumos necesarios para la elaboración del biodiésel en esta planta se encuentran: el aceite de higuerrilla, alcohol y catalizador, agua destilada, energía eléctrica y gas natural con lo cual es posible iniciar el proceso de producción, descrito a continuación.

### 3.1.2. Definir proceso de producción

De forma general, el ciclo del biodiésel inicia con una oleaginosa la cual da semillas de las que se extrae un aceite vegetal crudo, este pasa por un proceso de refinado para que quede apto para el proceso de transesterificación en el cual se utiliza un alcohol y posteriormente se obtiene el biodiésel y además glicerina que podría utilizarse para otros fines como la industria alimentaria o cosmética, todo esto tal como lo muestra la Ilustración 16. La reacción de transesterificación se da de un triglicérido con alcohol, usualmente metanol o etanol, utilizando hidróxido de sodio como catalizador (Castellar, et al., 2014) y la reacción consiste básicamente en el desplazamiento del alcohol de la estructura del triglicérido por medio de la incorporación de otro alcohol de cadena corta (metanol, etanol, propanol o butanol), esta reacción transcurre mediante el desarrollo de tres reacciones reversibles, en serie respecto al aceite y en paralelo respecto al alcohol. De forma general el aceite presenta baja solubilidad en el alcohol, y es por esto por lo que la etapa controlante de la velocidad del proceso suele ser la transferencia de materia. Por lo tanto, el biodiésel obtenido estará compuesto por ésteres metílicos de ácidos grasos (Sánchez, 2015).

Ilustración 16. Ciclo del biodiésel



Fuente: (Estévez, 2012)

Todo el proceso de obtención de biodiésel inicia con el almacenamiento de la semilla y la posterior extracción del aceite que usualmente se realiza aplicando fuertes presiones en la semilla con el uso de un molino de extracción, permitiendo la separación en un solo paso del aceite y la torta proteínica; para este caso se obtendrá el aceite de la semilla como materia prima. El aceite debe ser dispuesto en un recipiente adecuado y filtrarse antes de introducirlo en un reactor, para quedar a la espera de ser transesterificado. Una vez se introduce el aceite en el reactor, la primera operación a realizar es el deshidratado, en el cual se calienta el aceite por encima de los 80°C garantizando que se evacue el vapor de agua; este proceso de calentamiento se da por resistencia eléctrica y dura varias horas, pero una vez se alcancen los 80°C se apaga la resistencia e inmediatamente por el estrés térmico, se dispersará el calor de forma lenta. Luego, inicia el proceso de transesterificación, donde se mezcla el aceite con un alcohol de cadena corta, y transcurridos entre 30 y 90 minutos, la transesterificación se ha completado. Se obtiene biodiésel y glicerina, tal como se muestra en la Ilustración 16 separado en dos fases líquidas y se dispone a la extracción de la glicerina de la mezcla obtenida; por último, se realiza el lavado del biodiésel para arrastrar impurezas y se almacena el biodiésel obtenido en bidones adecuados para ello (Sánchez, 2015).

A continuación, se muestra un diagrama del proceso que se sigue para la elaboración del biodiésel:

Ilustración 17. Diagrama del proceso de producción de biodiésel



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3. Definir el tipo de sistema de producción

Existen diversos sistemas de producción, por lo menos cuatro tipos, que de acuerdo con determinadas condiciones de producción pueden aplicarse y son los siguientes:

- Por proyecto o bajo pedido
- Producción intermitente o por lotes
- Producción en masa
- Producción lineal o de flujo continuo

En esta planta se decide optar por el sistema de producción en masa dado que se adapta a las necesidades, las cuales básicamente son la producción de un único

producto, pero en altas cantidades. Este sistema permite alcanzar el mejor rendimiento, y permite la disminución de costos y tiempos de producción y, por lo tanto, los costos del producto” (INFAIMON, 2018)

### 3.1.4. Determinar los recursos requeridos

De acuerdo con la descripción realizada del proceso, se define para cada una de las etapas del proceso los recursos requeridos por cada uno de los factores para determinar: la materia prima, la maquinaria, el hombre, la espera, el edificio y el movimiento. De esta forma, se definen los recursos necesarios como sigue:

- Primer proceso

El proceso general, inicia con la recepción de la materia prima la cual se compra a terceros, entre las cuales está el aceite de higuera, hidróxido de sodio (catalizador), material para embalaje, entre otros (Ilustración 18).

Ilustración 18. Primer proceso producción de biodiésel



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se describen los recursos necesarios para esta etapa, teniendo en cuenta los factores definidos como relevantes para el diseño de la planta de producción de biodiésel.

Tabla 8. Recursos requeridos para la recepción de materia prima

Factor	Nombre recursos	Cantidad
Materia prima	N/A	N/A
Maquinaria	N/A	N/A
Hombre	Operador	1
Espera	Bahía de cargue y descargue	1
	Almacén de materia prima	1
Edificio	Planta de producción	1
Movimiento	Estibas	24
	Carretilla elevadora	1

Fuente: Elaboración propia

- Segundo proceso

En la etapa inicial del proceso se debe filtrar la materia prima que es el aceite de higuera con el fin de extraer impurezas y residuos del proceso de extracción del aceite para que, de esta forma, se obtenga un aceite apto para el proceso de producción (Ilustración 19).

Ilustración 19. Segundo proceso producción biodiésel



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9, se muestra de forma detallada los recursos necesarios por cada factor influyente en el diseño de plantas que se va a considerar, así como las cantidades de acuerdo con el volumen de producción fijado.

Tabla 9. Recursos requeridos para el filtrado

<b>Factor</b>	<b>Nombre recursos</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Materia prima</b>	Aceite de higuera	2,740 Lt
<b>Maquinaria</b>	Filtro prensa	1
<b>Hombre</b>	Operador	1
<b>Espera</b>	N/A	N/A
<b>Edificio</b>	Planta de producción	1
<b>Movimiento</b>	Carretilla elevadora	1

Fuente: Elaboración propia

Nota 1: La cantidad de aceite de higuera se determina considerando una pérdida del 32% de la materia prima luego de procesarla.

Nota 2: En espera se pone N/A (No aplica) dado que no se consideran elementos para este factor.

- Tercer proceso

El proceso de refinado en particular constará de tres etapas: desgomado, neutralización y blanqueo (Ilustración 20).

Ilustración 20. Tercer proceso producción de biodiésel



Fuente: Elaboración propia

Para la primera parte del proceso de refinación, que es el desgomado se necesitarán los recursos definidos en la Tabla 10:

Tabla 10. Recursos requeridos para el desgomado

Factor	Nombre recursos	Cantidad
Materia prima	Aceite de higuera	2,740 Lt
Maquinaria	Reactor	1
	Agitador	1
	Sensor de temperatura	1
	Bomba centrífuga	1
Hombre	Operador	1
Espera	N/A	N/A
Edificio	Planta de producción	1
Movimiento	Carretilla elevadora	1
	Tubería	No def*
	Válvulas	No def*

Fuente: Elaboración propia

\*La cantidad para los recursos tubería y válvulas se considera como no definida (No def\*) dado que estos van en función de la máquina específica a los cuales se instalan, sin embargo, no afectan el cálculo de los espacios dado que para las máquinas se contemplan estas situaciones en el cálculo del espacio total necesario para cada una de estas.

Este proceso de desgomado tiene como fin la eliminación de elementos como fosfatidas, gomas y otros complejos coloidales que pueden interferir con los procesos de refinado del aceite. En la tabla 10, se muestra de forma detallada los recursos necesarios por cada factor a considerar, así como las cantidades de acuerdo con el volumen de producción fijado.

Para continuar con el proceso de refinación, se procede a neutralizar los ácidos libres grasos, para lo cual se necesitarán los recursos descritos en la Tabla 11:

*Tabla 11. Recursos requeridos para la neutralización*

<b>Factor</b>	<b>Nombre recursos</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Materia prima</b>	Aceite de higuera	2,740 Lt
	Sosa cáustica	411 gr.
	Agua	No def.*
<b>Maquinaria</b>	Centrifugadora vertical de disco	1
	Secadora	1
<b>Hombre</b>	Operador	1
<b>Espera</b>	Almacén de materia prima	1
<b>Edificio</b>	Planta de producción	1
<b>Movimiento</b>	Tubería	No def.*
	Válvulas	No def.*

*Fuente: Elaboración propia*

\*Los recursos a los cuales se les asigna el valor como no definido (No def\*) en la columna de cantidad, hace referencia a aquellos recursos que solo se define su cantidad de acuerdo con la máquina específica en los cuales se instalarán o en la ejecución real del proceso. Sin embargo, como ya se mencionó no afectan de forma global e individual el cálculo del tamaño de los espacios.

En la tabla 11, se muestra de forma detallada los recursos necesarios por cada factor a considerar, así como las cantidades de acuerdo con el volumen de producción fijado.

Y para culminar el proceso de refinación, se lleva a cabo el proceso de blanqueo que elimina el color, así como fosfatidas residuales, los metales y los jabones, para lo cual se necesitarán los siguientes recursos:

Tabla 12. Recursos requeridos para el blanqueamiento

Factor	Nombre recursos	Cantidad
Materia prima	Aceite de higuera neutralizado	2,740 Lt
	Arcilla blanqueadora	No def.*
	Agua	No def.*
Maquinaria	Reactor	1
	Filtro de discos	1
Hombre	Operador	1
Espera	Almacén de materia prima	1
Edificio	Planta de producción	1
Movimiento	Tubería	No def.*
	Válvulas	No def.*

Fuente: Elaboración propia

- Cuarto proceso

La fase de transesterificación constituye el procedimiento central del proceso de producción del biodiésel, en la cual se mezcla el aceite con alcohol para obtener una mezcla que constará de biodiésel y glicerina (Ilustración 21).

Ilustración 21. Cuarto proceso producción de biodiésel



Fuente: Elaboración propia

Para completar esta fase del proceso, se utilizan los recursos definidos en la Tabla 13.



Tabla 13. Recursos requeridos para la transesterificación

Factor	Nombre recursos	Cantidad
Materia prima	Aceite de higuera	2,740 Lt
	Alcohol	548 Lt
	Catalizador	13,700 gr
Maquinaria	Reactor	1
Hombre	Operador	1
Espera	Almacén de materia prima	1
Edificio	Planta de producción	1
Movimiento	Tuberías	No def.*
	Bomba	No def.*

Fuente: Elaboración propia

- Quinto proceso

En esta fase, se realiza la separación del biodiésel y la glicerina, esto con el fin de alcanzar un grado de transesterificación óptimo (Ilustración 22):

Ilustración 22. Quinto proceso producción biodiésel



Fuente: Elaboración propia

Para completar esta fase del proceso, se utilizan los recursos definidos en la Tabla 14.

Tabla 14. Recursos requeridos para la separación

Factor	Nombre recursos	Cantidad
Materia prima	Biodiésel	2,000 Lt
Maquinaria	Reactor	1
	Parrilla de calentamiento	1
	Refrigerante	1
Hombre	Operador	1
Espera	Almacen de materia prima	1
	Almacen de producto en proceso	1
Edificio	Planta de producción	1
Movimiento	Tubería hermética	1
	Válvula	No def*
	Bomba	No def*

Fuente: Elaboración propia

- Sexto proceso

Una vez se obtiene el biodiésel, se realiza un lavado para arrastrar impurezas restantes del proceso y este producto será el que finalmente se almacene y se comercialice (Ilustración 23).

Ilustración 23. Sexto proceso producción de biodiésel



Fuente: Elaboración propia

Para completar esta fase del proceso, se utilizan los recursos definidos en la Tabla 15.

Tabla 15. Recursos requeridos por el lavado

Factor	Nombre recursos	Cantidad
Materia prima	Biodiésel	2100 Lt
	Agua	840 Lt
Maquinaria	Reactor	1
Hombre	Operador	1
Espera	Almacén de producto terminado	1
Edificio	Planta de producción	1
Movimiento	Tuberías	No def*
	Bomba	No def*

Fuente: Elaboración propia

- Séptimo proceso:

Por último, se dispone el biodiésel obtenido en bidones adecuados para su almacenamiento, obteniendo así el producto final objeto de este proceso de producción, listo para su comercialización (Ilustración 24).

Ilustración 24. Séptimo proceso producción de biodiésel



Fuente: Elaboración propia

Para completar esta fase del proceso, se utilizan los recursos definidos en la Tabla 16:

Tabla 16. Recursos requeridos para el almacenamiento

Factor	Nombre recursos	Cantidad
Materia prima	Biodiésel	2,000 Lt
	Bidones	34
Maquinaria	N/A	N/A
Hombre	Operador	1
Espera	Almacén de producto terminado	1
Edificio	Planta de producción	1
Movimiento	Carretilla elevadora	1
	Estibas	10

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.5. Determinar el tamaño de los espacios

De acuerdo con los recursos requeridos para el proceso, se pasa calcular los espacios necesarios utilizando el método de Guerchet, por lo que se identifican los elementos estáticos o fijos y los elementos móviles necesarios para llevar a cabo el proceso en la siguiente tabla (Tabla 17):

Tabla 17. Elementos fijos y móviles del proceso

Elementos fijos (EF)	Elementos móviles (EM)
Filtro prensa	Carretilla elevadora
Reactor	Operadores
Bomba centrífuga	
Tubería hermética	
Válvulas	
Bombas	
Agitador	
Sensor de temperatura	
Centrifugadora vertical de discos	
Filtro de discos	
Secadora	
Bahía de cargue y descargue	
Estibas	

Fuente: Elaboración propia

Con lo cual es posible calcular el espacio requerido para la operación en la planta, el cual se calcula mediante el método Guerchet, tal como se muestra en la tabla 18:

Tabla 18. Cálculo del espacio requerido

k 0.1500

Elemento	n	N	L	W	H	Ss	Sg	Se	S	St
Reactor	6	2	0.9500	0.9500	1.5500	0.9025	1.8050	0.4061	3.1136	18.6818
Filtro prensa	1	3	2.8000	1.2000	1.3000	3.3600	10.0800	2.0160	15.4560	15.4560
Centrifugadora vertical	1	3	0.7000	0.7000	0.3000	0.4900	1.4700	0.2940	2.2540	2.2540
Filtro discos	1	2	2.0000	1.5000	2.5000	3.0000	6.0000	1.3500	10.3500	10.3500
Bahía de cargue/descargue	2	1	8.0000	3.0000	3.0000	24.0000	24.0000	7.2000	55.2000	110.4000
Bomba centrífuga	1	1	1.0720	0.5840	0.3290	0.6260	0.6260	0.1878	1.4399	1.4399
Operadores	3	---	---	---	1.6500	0.5000	---	---	---	---
Carretilla elevadora	2	1	1.8700	0.8600	2.0800	1.6082	---	---	---	---
Estibas MP	34	1	1.4000	1.4000	0.2500	1.9600	---	---	---	---
Secadora al vacío	1	2	3.3600	2.0500	3.3600	6.8880	13.7760	3.0996	23.7636	23.7636
Servicios sanitarios	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.6655	1.6655
									<b>Total</b>	<b>182.3453</b>

Fuente: Elaboración propia

Donde:

n: Cantidad de elementos fijos o móviles  
 L: medida correspondiente al largo  
 H: medida correspondiente al alto  
 Sg: Superficie gravitacional  
 S: Suma de Ss, Sg y Se

N: Número de lados  
 W: medida correspondiente al ancho  
 Ss: Superficie estática  
 Se: Superficie de evolución  
 St: Suma total de las superficies multiplicadas por N

Es importante aclarar que, para el cálculo del tamaño del espacio requerido, no se tienen en cuenta las medidas del agitador y de la resistencia de inmersión ya que estarán situados al interior del reactor, lo cual no supone que se ocupe un espacio

adicional. De igual forma, para determinar el valor de k, se tiene en cuenta el tipo de planta y se toma un valor de 0.5 el cual corresponde a plantas de industria alimenticia o química.

Para la bahía de cargue y descargue se tiene en cuenta la NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

Para los servicios sanitarios, se realizó el cálculo que se muestra en la Tabla 19.

*Tabla 19. Cálculo del tamaño de los servicios sanitarios*

Elemento	n	N	L	W	H	Ss	Sg	Se	S	St
Lavabo	2	1	0.5	0.82	0.70	0.4100	0.0000	0.0615	0.4715	0.9430
Inodoro	1	1	0.7	0.39	0.50	0.2758	0.0000	0.0414	0.3172	0.3172
Urinario	1	1	0.35	0.75	0.45	0.2625	0.0000	0.0394	0.3019	0.3019
Ducha	1	1	0.9	0.10	0.90	0.0900	0.0000	0.0135	0.1035	0.1035
<b>Total</b>										1.6655

*Fuente: Elaboración propia basado en Sanfulgencio, 2017 (Sanfulgencio, 2017)*

Finalmente, se aclara que todos los datos de la Tabla 18 son de referencia y se usan para el cálculo del tamaño de los espacios, es decir, estos podrían variar de acuerdo con los fabricantes.

A continuación, se muestra el detalle de cada elemento fijo y móvil necesarios para el diseño de la planta:

<b>Elemento</b>	Centrifugadora vertical
<b>Capacidad</b>	2000 Lt
<b>Dimensiones (L*W*H)</b>	0.7*0.7*0.3

**Fotografía**



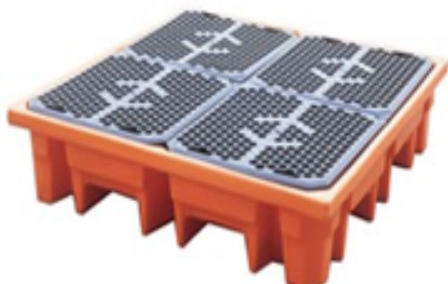
<b>Elemento</b>	Filtro prensa
<b>Capacidad</b>	226 Lt
<b>Dimensiones (L*W*H)</b>	2.8 * 1.2 * 1.3

**Fotografía**



<b>Elemento</b>	Equipo de estibado
<b>Capacidad</b>	240 Lt
<b>Dimensiones (L*W*H)</b>	1.4 * 1.4 * 0.25

**Fotografía**



<b>Elemento</b>	Carretilla elevadora
<b>Capacidad</b>	1000-2000 kg
<b>Dimensiones (L*W*H)</b>	1.87*0.86*2.08

**Fotografía**



<b>Elemento</b>	Bomba centrífuga
<b>Capacidad</b>	200 m3/hora
<b>Dimensiones (L*W*H)</b>	1.072*0.584*0.329

**Fotografía**



<b>Elemento</b>	Agitador vertical
<b>Capacidad</b>	240 Lt
<b>Dimensiones (L*W*H)</b>	Altura máx de 1.5 mt

**Fotografía**



<b>Elemento</b>	Secadora al vacío
<b>Capacidad</b>	2000 Lt
<b>Dimensiones (L*W*H)</b>	3.36*2.05*3.36

**Fotografía**



<b>Elemento</b>	Reactor
<b>Capacidad</b>	2000 Lt
<b>Dimensiones (L*W*H)</b>	0.95*0.95*1.55

**Fotografía**






<b>Elemento</b>	Filtro de discos
<b>Capacidad</b>	226 Lt
<b>Dimensiones (L*W*H)</b>	2*1.5*2.5
<b>Fotografía</b>	
	

<b>Elemento</b>	Resistencia inmersión
<b>Capacidad</b>	Adecuada al reactor
<b>Fotografía</b>	
	

<b>Elemento</b>	Sensor de temperatura
<b>Fotografía</b>	
	

<b>Elemento</b>	Operario
<b>Fotografía</b>	
	

Una vez obtenidos los cálculos se procede al diseño de la planta, teniendo en cuenta los recursos definidos por cada factor para tener en cuenta en cada una de las fases del proceso de producción.

### 3.1.6. Layout

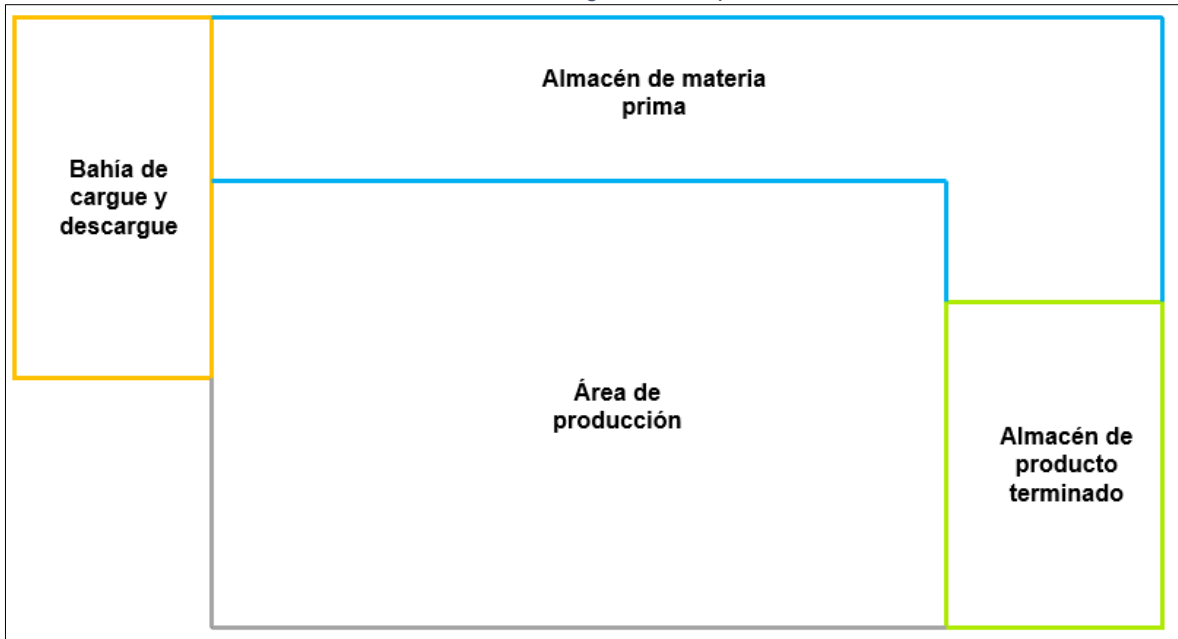
Luego de encontrar el tamaño necesario para la planta, de acuerdo con el proceso de producción definido se determinan unas áreas principales que son tenidas en cuenta para el layout de la planta de producción. Estas áreas son: bahía de cargue y descargue, almacén de materia prima, área de producción y almacén de producto terminado. A continuación, se describen brevemente las áreas designadas:

- Bahía de cargue y descargue: en esta área se realiza toda la operación relacionada con recepción de materias primas tales como el aceite de higuera, bidones, soda caustica, arcilla blanqueadora, alcohol, refrigerante y catalizador; y el despacho del biodiésel a comercializar. El tamaño de espacio que se estimó para este almacén es de 110.40 m<sup>2</sup> (Tabla 18)
- Almacén de materia prima: en esta área se almacenará el aceite de higuera y demás insumos necesarios para el proceso, para lo cual se contará con el respectivo equipo de estibado. El aceite de higuera viene en bidones de 60 litros, se ha estimado una producción diaria de 2000 litros y es por lo que el almacén cuenta con una capacidad inicial de almacenamiento de 5,760 litros de aceite de higuera (materia prima para 2.10 días). El tamaño de espacio que se estimó para este almacén es de 108.192 m<sup>2</sup> (Tabla 18).
- Área de producción: en esta se encuentran contemplados los materiales, herramientas y toda la tecnología necesaria para llevar a cabo los procesos antes mencionados. Se considera además un espacio suficiente para que los operadores puedan maniobrar sin ningún problema y el hecho de que se usarán tuberías que transportan el biodiésel, por lo tanto, el área estimada para esta área es de 98.8766 m<sup>2</sup> (Tabla 18).
- Almacén de producto terminado: en esta área se almacenará el biodiésel en bidones, para lo cual se obtiene un área de estimada de 45.08 m<sup>2</sup> en los cuales se incluye el equipo de estibado pertinente para el almacenamiento de este producto.

#### 4.1.6.1 Diagrama de espacios

Tomando en cuenta las áreas y espacios definidos, se construyó el siguiente diagrama de espacios:

*Ilustración 24. Diagrama de espacios*

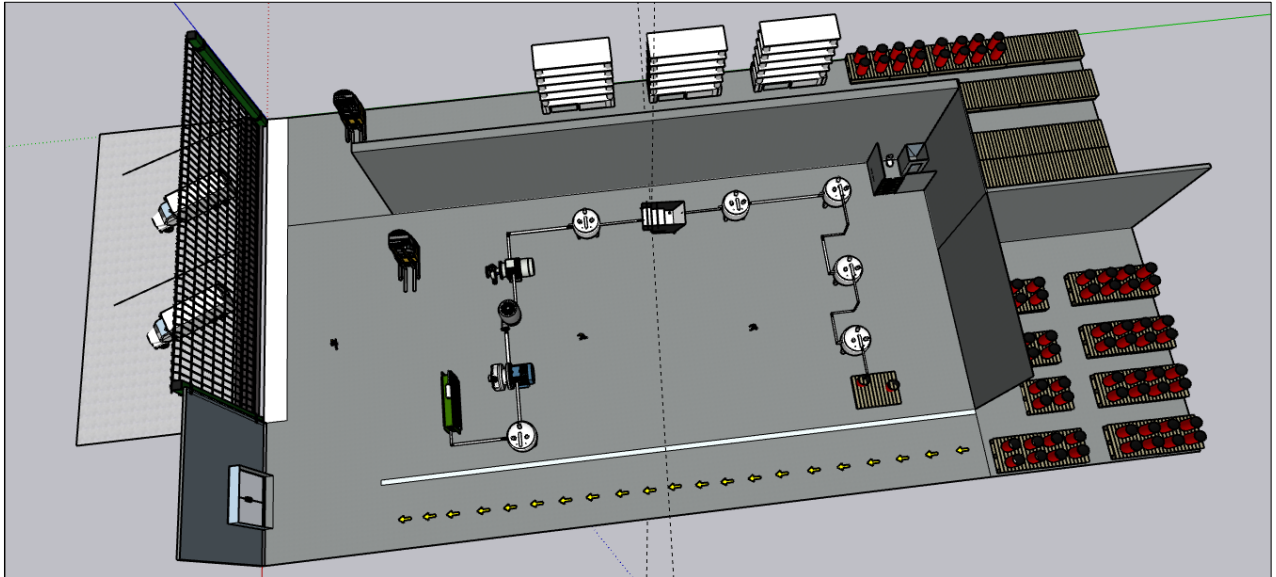


*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.6.2 Layout de la planta:

A continuación, se muestra mediante varias capturas las vistas generales y específicas de cada área definido en el diseño de la planta de producción de biodiésel. El software utilizado para el diseño del layout es Google SketchUp Pro-2021.

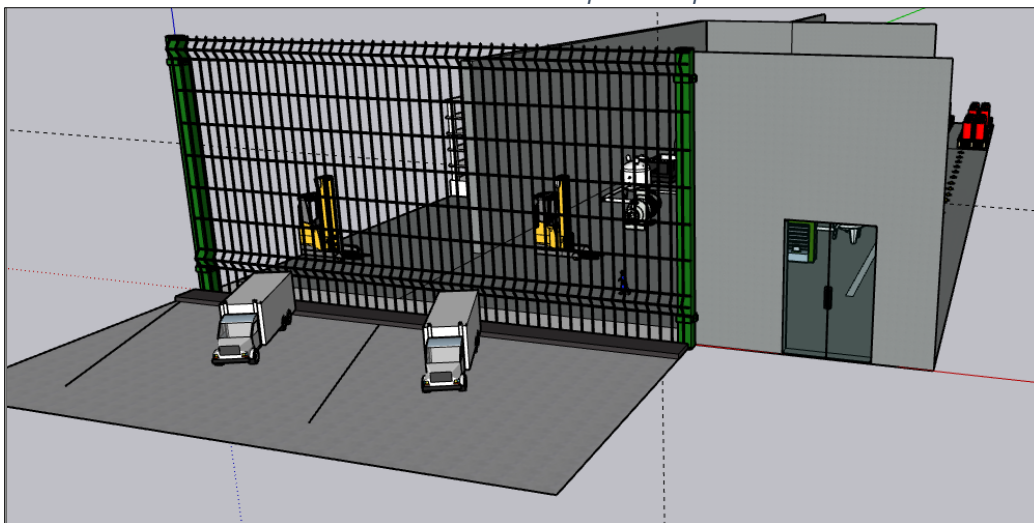
Ilustración 25. Vista general de la planta de producción



Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 25, se puede observar una vista general de la planta de producción de biodiésel donde se pueden identificar las áreas principales propuestas: bahía de cargue y descargue, área de producción, almacén de materia prima y almacén de producto terminado.

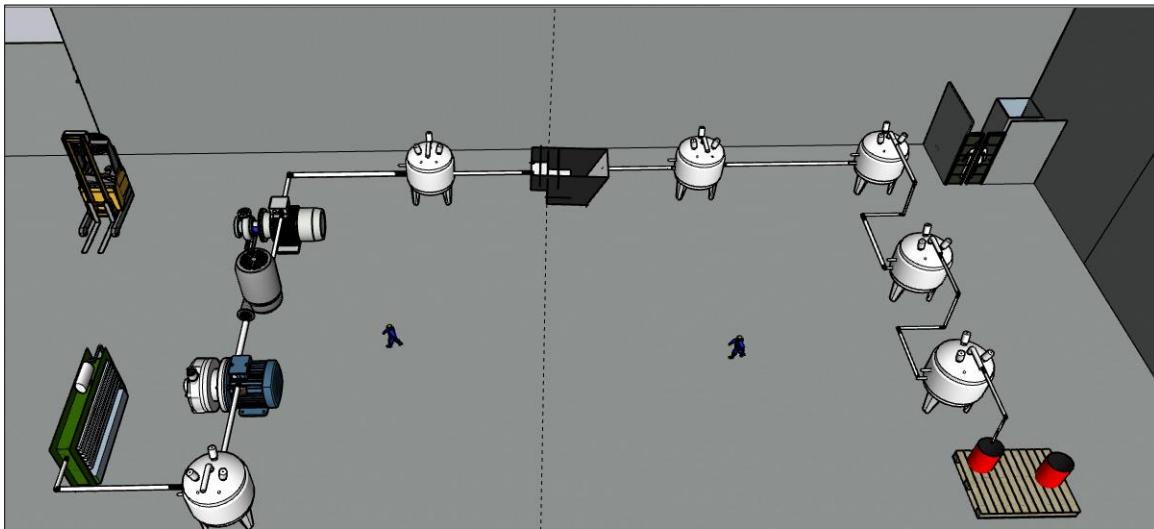
Ilustración 26. Vista frontal de la planta de producción



Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 26, se puede observar una vista frontal de la planta donde se puede identificar la bahía de cargue y descargue adecuado para los vehículos que traen materia prima y para aquellos que se llevan el producto terminado para su comercialización, y adicionalmente esta la entrada para los empleados a la planta.

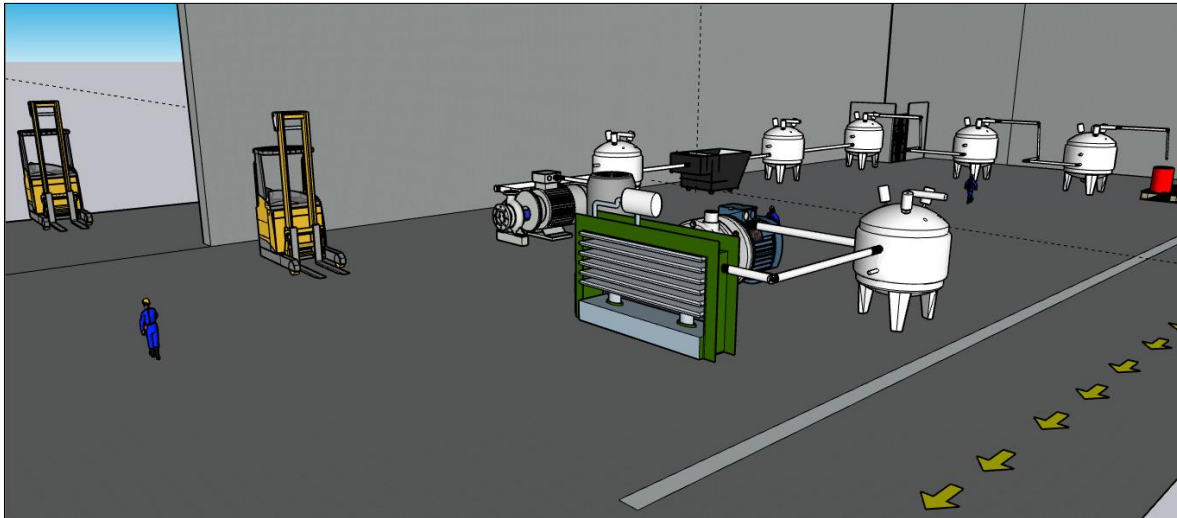
*Ilustración 27. Vista general del área de producción*



*Fuente: Elaboración propia*

En la ilustración 27 se tiene una vista del área de producción de forma muy general, en la cual se puede identificar la línea de producción, operarios y una carretilla elevadora, elementos que se encuentran involucrados en el desarrollo del proceso. Adicionalmente, se pueden identificar parte de los elementos fijos de la planta tales como los reactores, filtro prensa, centrifugadora, entre otras, y el área de servicios sanitarios para los empleados de la planta.

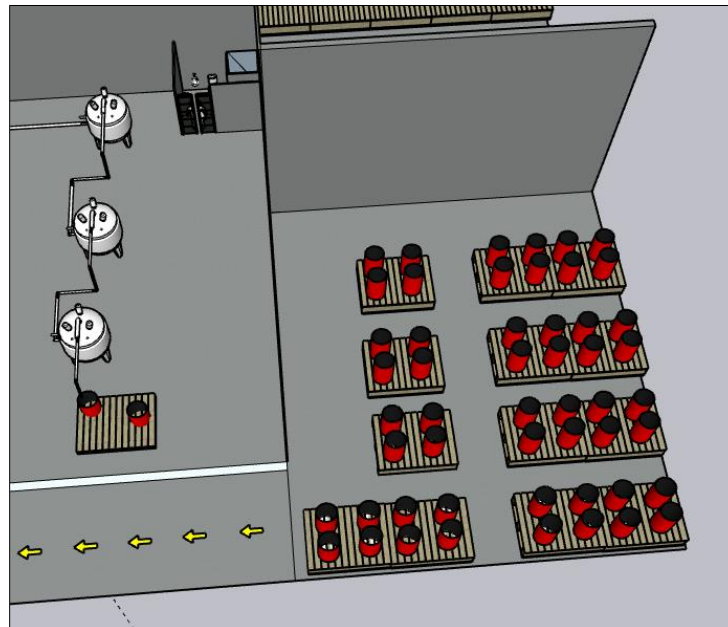
Ilustración 28. Vista del área de producción



Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 28 se muestra a más detalle una parte del área de producción, en esta se puede observar el filtro prensa que es una máquina necesaria para iniciar el proceso de producción, hay una carretilla elevadora que se usa para transportar la materia prima al área de producción y algunos operarios que supervisan la correcta ejecución del proceso de producción.

Ilustración 29. Almacén de producto terminado



Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 29, se muestra el área de producto terminado donde se tiene almacenado sobre estibas adecuadas, el biodiésel obtenido una vez termina el proceso de producción.

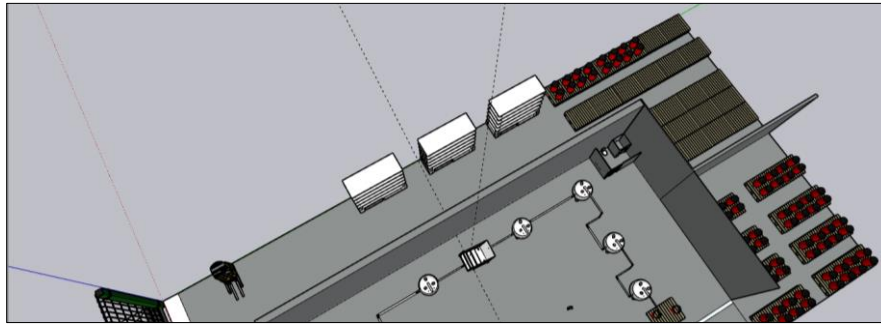
*Ilustración 30. Vista frontal almacén de materia prima*



*Fuente: Elaboración propia*

En la Ilustración 30 se tiene una vista frontal del almacén de materia prima, donde se pueden identificar estantes donde se disponen insumos como la arcilla, alcohol, catalizadores; una carretilla elevadora que facilita el transporte de mercancía ya sea desde la bahía de carga y descarga hacia el almacén o, desde el almacén de materia prima hacia el área de producción. Y finalmente, al fondo se pueden observar algunas estibas necesarias para almacenar el aceite de higuera que llega a la planta.

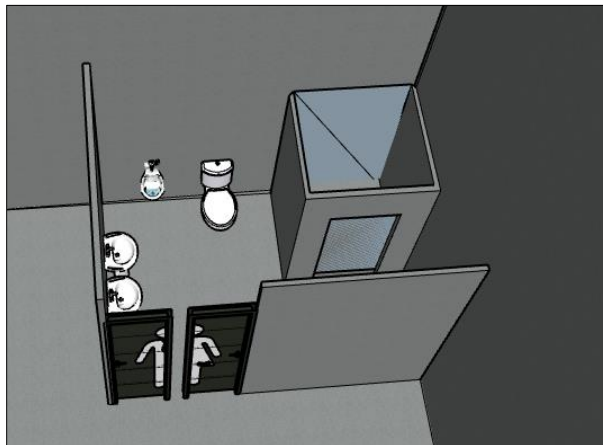
*Ilustración 31. Vista general almacén de materia prima*



*Fuente: Elaboración propia*

En la Ilustración 31 se tiene una vista general del almacén de materia prima donde se puede apreciar de una mejor manera las estibas mencionadas en la Ilustración anterior, las cuales están dispuestas para almacenar los bidones con aceite de higuera para el proceso de producción.

*Ilustración 32. Servicios sanitarios*



*Fuente: Elaboración propia*

Por último, en la Ilustración 32 se muestra el área de servicios sanitarios definidos en el diseño de la planta, el cual dispone de dos lavabos, un urinario, una ducha y un inodoro.



## CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

Con el presente trabajo de investigación se desarrolla el diseño de una planta productiva, donde se identifican a detalle los procesos, recursos y actividades involucradas y necesarias para llevar a cabo la producción de biodiésel utilizando como materia prima el aceite vegetal de la higuera. A partir de este diseño, es posible la toma de decisiones relacionadas con producción, distribución, logística, compras, entre otros y se puede utilizar como herramienta de partida para plantas de producción de biodiésel que utilicen materias primas diferentes a la higuera y que sean procedentes de fuentes vegetales. Se debe agregar también, la importancia de la aplicación de metodologías propias de la ingeniería industrial en el desarrollo de este trabajo de investigación, con el que se busca contribuir a la problemática ambiental que se vive en los últimos tiempos a nivel mundial a través del uso de fuentes renovables para la obtención de combustibles que a su vez, son utilizados por una de las industrias que más contribuyen a la problemática de la contaminación: el transporte, centrándonos a lo largo de este trabajo en el cultivo bioenergético de higuera, el cual a hoy tiene un bajo valor por ser considerado un cultivo no alimentario pero que podría aprovecharse para otro tipo de industrias como la de los biocombustibles; opciones como esta son las que se necesitan generar desde los diversos campos de estudio para que el cambio ocurra y se puedan tomar acciones respecto a problemas mundiales como la contaminación.

Dicho de otra manera, las alternativas sostenibles al uso de combustibles fósiles son una necesidad real que debe ser abordada por los diferentes gobiernos, y es por esto que, opciones como los biocombustibles generados a partir de bioenergéticos en países como México podría representar la opción más viable dadas las condiciones favorables para su siembra y cosecha, impulsando iniciativas que posicionen este tipo de proyectos el cual va en sintonía con la contribución a la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) buscada a nivel mundial. Para el caso específico de México se observa su posicionamiento como entre los pioneros en el uso del aceite de higuera para la producción de biodiésel,

con plantas ya instaladas y diversos proyectos impulsados desde entidades gubernamentales como lo es SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural).

Por otro lado, como trabajo a futuro es posible la implementación de metodologías relacionadas con el uso y disposición de los residuos del proceso de producción, sabiendo que por ejemplo, la mezcla de agua y glicerina separada de biodiésel luego de la transesterificación se puede destinar para la elaboración de productos en la industria cosmética y farmacéutica, y así con los demás excedentes, incorporando un proceso de economía circular que resulta una decisión ecológica para el proceso productivo.

## BIBLIOGRAFÍA

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2020. ANP. [En línea]

Available at: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/renovabio>  
[Último acceso: 3 Mayo 2020].

Ambientum, 2018. *Principales problemas del uso de combustibles fósiles*. [En línea]

Available at: <https://www.ambientum.com/ambientum/energia/principales-problemas-del-uso-de-combustibles-fosiles.asp>

[Último acceso: 13 Mayo 2020].

Bernal, R; Gradstein, S.R.; Celis, M, 2015. *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. [En línea]

Available at:

<http://www.plantsoftheworldonline.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:131462-2>

[Último acceso: 25 Septiembre 2021].

Cardona, A., 2018. *AgroNegocios*. [En línea]

Available at: <https://www.agronegocios.co/tecnologia/uniagraria-creo-una-nueva-planta-piloto-de-biodiesel-a-partir-de-la-palma-de-aceite-2769303>

[Último acceso: 27 Febrero 2021].

Casadiegos, A., 2013. [En línea]

Available at: <https://es.slideshare.net/casadres/segunda-entrega-distribucion-planta>

[Último acceso: 12 Agosto 2021].

Castellar, G., Angulo, E. & Cardozo, B., 2014. Transesterification vegetable. *Prospect*, 12(2), pp. 90-104.

Cepeda, K., Durango, K. & Bohórquez, L., 2017. Modelación y simulación en agentes como alternativa para el estudio de las organizaciones empresariales. *Ingeniería Solidaria*, pp. 103-119.

Comar, V. y otros, 2004. COMPARATIVE EMERGY EVALUATION OF CASTORBEAN (RICINUS COMMUNIS) PRODUCTION SYSTEMS IN BRAZIL AND THE U.S.. *Proceedings of IV Biennial International Workshop "Advances in Energy Studies"*, 16 Junio. pp. 227-237.

Cornejo, M. & Estrada, O., 2012. Chihuahua: s.n.

Coss, R., 2003. *Simulación un enfoque práctico*. s.l.:Editorial Limusa S.A. de C.V..

Ecos del Bosque, 2021. *Ricinus Communis*. [En línea]

Available at: <https://ecosdelbosque.com/plantas/ricinus-communis>

[Último acceso: 28 Diciembre 2021].

Energía, S. d., 2019. *Balance Nacional de Energía*. [En línea] Available at: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/528054/Balance Nacional de Energ a 2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/528054/Balance_Nacional_de_Energ_a_2018.pdf)

[Último acceso: 25 Septiembre 2021].

Espinoza, Goddard, Gutiérrez & Bonfil, 2009. *Los biocombustibles*. s.l.:Revista de Divulgación de la Ciencia de la UNAM.

Espinoza, W., Goddard, M., Gutiérrez, C. & Bonfil, C., 2009. Los Biocombustibles. *¿Cómo ves? Revista de Divulgación de la Ciencia UNAM*, Issue 123.

Estévez, R., 2012. *eco inteligencia*. [En línea] Available at: <https://www.ecointeligencia.com/2012/05/biodiesel-y-nuestro-medio-ambiente/>

[Último acceso: 14 Abril 2020].

Estrada, M., 2007. *Redes de distribución*. [En línea] Available at: [https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6625/03MER\\_Capitol1.pdf?sequence=3](https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6625/03MER_Capitol1.pdf?sequence=3)

[Último acceso: 15 Julio 2020].

European Comission, s.f. *Biofuels for transport*. [En línea] Available at: [https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/vehicles/road/biofuels\\_en](https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/vehicles/road/biofuels_en)

Fernández, L., 2019. *Statista*. [En línea] Available at: <https://es.statista.com/estadisticas/635730/paises-lideres-en-la-produccion-de-biocarburante/>

[Último acceso: 20 Junio 2020].

Gobierno de la Ciudad de México, 2020. *Indicadores por objetivo de desarrollo sostenible*. [En línea]

Available at: <http://www.monitoreo.cdmx.gob.mx/consulta/indicadoresODS/sociedad/1>

[Último acceso: 3 Mayo 2020].

Honty, G., 2010. *Tecnología y Biocombustibles de Segunda Generación: una Herramienta para la Toma de Decisiones*. [En línea]

Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000190701>

[Último acceso: 26 Mayo 2020].

IICA, I. I. D. C. P. L. A., 2010. *Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiésel*. s.l.:s.n.

INFAIMON, 2018. [En línea] Available at: <https://blog.infaimon.com/produccion-en-cadena-evolucion-ventajas/>

[Último acceso: 2 Abril 2021].

Interempresas, 2019. *El consumo energético en España creció un 1,8% durante el pasado año.* [En línea] Available at: <https://www.interempresas.net/Estaciones-servicio/Articulos/251773-El-consumo-energetico-en-Espana-crecio-un-1-8-por-ciento-durante-el-pasado-ano.html>

[Último acceso: 20 Junio 2020].

Leyva & Ruíz, 2011. Cultivos energéticos y biocombustibles. *LYCHNOS*, Issue 6.

Luiz-Fantinel, A., Luiz-Jahn, S. & Ramírez-Flores, Y., 2015. Producción y demanda de biodiésel en Brasil. *Dirección y Organización*, pp. 33-41.

Masera, O. y otros, 2011. *La bioenergía en México*. México: Imagia Comunicación.

Medina, I., Chávez, N. & Jáuregui, J., 2012. Biodiesel, un combustible renovable. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, Issue 55, pp. 62-70.

Montes, S., Camarena, M., Hernández, M. & Medina, T., 2018. Celaya(Guanajuato): Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Nava & Doldán, 2014. Cultivos energéticos. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 11(1), pp. 25-34.

OCDE/FAO, 2017. *OCDE-FAO Perspectivas agrícolas.* [En línea] Available at: <https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/data/oecd-agriculture-statistics agr-data-en>

[Último acceso: 24 Junio 2020].

Oiltanking, 2015. *Combustibles para generar movimiento.* [En línea] Available at: <https://books.google.com.mx/books?id=hIEuDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

[Último acceso: 26 Mayo 2020].

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, 2011. *Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en el Paraguay*”, Asunción: s.n.

Palermo, U. d., s.f. *Biodiésel.* [En línea] Available at:

[https://www.palermo.edu/economicas/pdf\\_economicas/Presentacion\\_biocom\\_Steinberg.pdf](https://www.palermo.edu/economicas/pdf_economicas/Presentacion_biocom_Steinberg.pdf)

[Último acceso: 23 Julio 2021].

Platas, J. & Cervantes, M., 2014. Distribución de planta. En: *Planeación Diseño y Layout de instalaciones*. Ciudad de México: Patria S.A. de C.V., pp. 64-110.

Portafolio, 2008. *Exportan primera planta de biodiésel de tres que fueron diseñadas con ingeniería colombiana.* [En línea]

Available at: <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/exportan-primera-planta-biodiesel-tres-disenadas-ingenieria-colombiana-375738>

[Último acceso: 24 Junio 2020].

Rey, M., 2014. *Estado del arte de la producción de biocombustibles avanzados en la Unión Europea.* [En línea]

Available at: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70579/fichero/Estado+del+arte+de+la+producci%C3%B3n+de+biocombustibles+avanzados+en+la+Uni%C3%B3n+Europea.pdf>

[Último acceso: 15 Julio 2020].

Rice, 2018. *La historia de los combustibles fósiles.* Ciudad de California: Teached Created Materials.

Rico, J., 2019. *Energías renovables.* [En línea]

Available at: <https://www.energias-renovables.com/biocarburantes/la-union-europea-incrementa-el-uso-de-20190627>

[Último acceso: 15 Julio 2020].

Romero, 2010. Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 104(2), pp. 331-345.

Sánchez, 2015. *Obtención de biodiésel mediante transesterificación de aceite de ricino y grasa animales. Aprovechamiento energético de la glicerina como subproducto del proceso.* [En línea]

Available at: [http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/3085/TDUEX\\_2015\\_Sanchez\\_Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/3085/TDUEX_2015_Sanchez_Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[Último acceso: 20 Junio 2020].

Sánchez, N., 2015. *Obtención de biodiesel mediante transesterificación de aceite de ricino y grasas animales. Aprovechamiento energético de la glicerina como subproducto del proceso. PhD thesis. Universidad de Extremadura.* [En línea]

Available at: [http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/3085/TDUEX\\_2015\\_Sanchez\\_Sanchez.pdf?sequence=1](http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/3085/TDUEX_2015_Sanchez_Sanchez.pdf?sequence=1)

[Último acceso: 24 Junio 2020].

Sánchez, V., 2015. *Obtienen biodiésel a partir del piñón mexicano.* [En línea]

Available at: <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/biotecnologia/797-biodisel-jatropha-curcas>

[Último acceso: 20 Junio 2020].

Sanfulgencio, J., 2017. *Arrevol.* [En línea]

Available at: <https://www.arrevol.com/blog/como-dimensionar-correctamente-un>

bano-dimensiones-minimas-de-los-aparatos-sanitarios

[Último acceso: 13 Octubre 2021].

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015. *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. [En línea]

Available at: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/mexico-en-vias-de-convertirse-en-uno-de-los-principales-productores-de-higuerilla-y-aceite-de-ricino?idiom=es>

[Último acceso: 20 Junio 2020].

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017. *Gobierno de México*. [En línea]

Available at: <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813>

[Último acceso: 2 Mayo 2020].

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017. *Impulsa SAGARPA producción de biocombustibles en México*. [En línea]

Available at: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/impulsa-sagarpa-produccion-de-biocombustibles-en-mexico>

[Último acceso: 15 Julio 2020].

Tribuna, 2016. Higuerilla en Sonora, fuente para producir biodiesel. *Tribuna México*, 25 Enero.

Valderrama, D., 2012. *Dialnet*. [En línea]

Available at: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-2012>

[Último acceso: 20 Junio 2020].

Valencia, A., s.f. *Ingeniería de plantas*. [En línea]

Available at: <https://senati2016.jimdofree.com/app/download/14054584923/Ingenier%C3%ADa+de+Plantas+10+-+C%C3%A1lculo+de+%C3%A1reas.pdf?t=1583246368>

[Último acceso: 13 Mayo 2021].

## ANEXO

### 1. Volumen de producción plantas de Biodiésel en México

Tabla 20. Volumen de producción de biodiésel en México

Empresa / Ciudad	Capacidad diaria aprox. (lt)	Capacidad anual (lt)
México	19,322	6,028,571
Nuevo León	57,692	18,000,000
Michoacán	28,846	9,000,000
Chiapas	32,051	10,000,000
Ciudad de México, IPN	500	182,500
GRIMA Biodiésel	288	90,000
PROBIORAM	3,045	950,000
ENRIMEX	237	74,000
Coop. Agr. Luz Michell	4,615	1,440,000
BIORECEN	2,013	628,000
RICINOMEX	3,205	1,000,000
<b>TOTAL</b>	<b>151,816</b>	<b>47,393,071</b>

Fuente: Elaboración propia

Para tomar el dato de referencia de volumen de producción para la planta objeto de estudio, se clasificaron los volúmenes de producción de la tabla 20 en las categorías alto, medio y bajo siguiendo los criterios que se muestran a continuación (Tabla 21):

Tabla 21. Clasificación volumen de producción

Clasificación por volumen de producción	
Alto	>10,000 litros diarios aprox.
Medio	<10,000 litros diarios aprox.
Bajo	<1,000 litros diarios aprox.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con esta clasificación, se tomaron para el diseño inicial de la planta los volúmenes clasificados como bajo y medio, y se calculó un promedio simple el cual sirvió como dato de referencia para fijar el volumen de producción para la planta propuesta en este trabajo de investigación, así:



Tabla 22. Cálculo de volumen de producción

<b>Empresa / Ciudad</b>	<b>Capacidad diaria aprox. (lt)</b>
Ciudad de México, IPN	500
GRIMA Biodiésel	288
PROBIORAM	3,045
ENRIMEX	237
Coop. Agr. Luz Michell	4,615
BIORECEN	2,013
RICINOMEX	3,205
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,986</b>

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con esto, se define como volumen de producción diaria la cantidad de 2,000 litros de biodiésel.