



**UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
QUÍMICA**

**“Configuración óptima de la cadena de suministro de  
producción de biodiésel a partir de *Hermetia illucens*”**

Tesis presentada por:

**Dulce María Aguilar Murguía**

Tesis que para obtener el grado de:

**Licenciatura en Ingeniería Química**

Asesor:

**Dr. José María Ponce Ortega**

Co-Asesor:

**Dr. Sergio Iván Martínez  
Guido**

**Morelia, Michoacán**

**Abril del 2022**

## AGRADECIMIENTOS

“Todo en la vida tiene un propósito, no hay errores ni coincidencia.”

Elisabeth Kubler-Ross

A lo largo del camino que he tenido que recorrer para llegar a donde estoy ahora mismo, han sido muchas las personas que me han ayudado directa o indirectamente en toda la trayectoria de este, es por ello que quiero agradecerles de alguna manera su apoyo, consejos, ayuda, amistad y por supuesto, su presencia.

Primero que nada, el apoyo incondicional de mis padres, José María Aguilar Echevarría y Martha Murguía Garay, quienes con esfuerzo, sacrificio, trabajo y dedicación me han apoyado en todo momento, ya sea en la cercanía o lejanía, y bajo las decisiones que haya tomado, para llegar a culminar la carrera que escogí y permitirme hoy, terminarla con este trabajo.

A mis hermanas, Martha, Blanca y Yuliana que, aunque no lo crean, me he apoyado en ellas bastante para seguir adelante, y que con algunos consejos y ejemplos en su actuar me han ayudado a tomar decisiones que en su momento fueron difíciles para mí.

A mis abuelitos Julio, Blanca y Guadalupe, quienes siempre estuvieron al pendiente de mí y me ayudaron en la medida de lo posible cuando tuve que irme del pueblo para seguir con mis estudios.

A mis mejores amigos de secundaria, Citlalli, Alondra y Juan José, los cuales no se han separado de mí, y que cuando pasé momentos difíciles estuvieron para apoyarme, especialmente a Citlalli, con quien estuve conviviendo varios años de la carrera y por lo cual ella estuvo presente en el camino que tuve que recorrer, siendo compañera de desveladas, estudios y más.

A mis amistadas formadas en la facultad desde el primer año que curse, Laura Itzel, Jorge Luis, Luis, Hulcan, Osvaldo, Edgar, Isaac, Manuel, Juárez, Andrea, Marina, Karen, Said,

Alcauter, Laura, Abel, Mario, Chayito, Roberto, Circe, Marlen, Rafa, Fabiola, Ezbai, Atenea, Alexa, Luisa, Jenifer, Ileri, Chava, Diego, con quienes compartí horas de estudio, momentos divertidos y agradables, secretos, ideas y pensamientos, quienes fueron un apoyo, una ayuda en la vida o la escuela, mediante sus consejos, asesorías, por su experiencia compartida así como conocimientos, por todo esto y más les agradezco su compañía, porque solo ustedes sabe por todo lo que pasamos juntos estos años, lo que compartimos y vivimos.

También quiero agradecer a algunos compañeros de clases, Charli, Danny, Luisa, Servín, Isaac, Alberto, Sauri, Sofí, Mario, Evelyn, Uriel, Alan, Alex, André, Salinas, Emmanuel, Alina, Campa, Picho, que, aunque puede que no hayamos llegado a formalizar como tal una amistad, les agradezco por los momentos, enseñanzas y lecciones compartidas.

A mi asesor y co-asesor, el Dr. José María y el Dr. Sergio Iván, quienes me tuvieron bajo su tutela y durante ella me han brindado su apoyo, consejos y conocimientos necesarios para poder llevar a cabo el presente trabajo.

la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo por proporcionarme las herramientas necesarias para mi preparación académica en el Facultad de Ingeniería Química y de esta manera permitir que forme parte del grupo de profesionistas.

Finalmente, pero no menos importante a Dios, por permitirme llegar al día de hoy, por las personas que ha puesto en mi vida y las lecciones que me ha hecho cursar para ser lo que hoy en día soy.

## Contenido

AGRADECIMIENTOS .....	I
GLOSARIO .....	IV
SIGLAS, ABREVIATURAS y SÍMBOLOS .....	VI
NOMENCLATURA.....	IX
VARIABLES.....	IX
VARIABLES BINARIAS .....	IX
VARIABLES POSITIVAS .....	IX
PARÁMETROS .....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XVIII
RESUMEN .....	XIX
ABSTRACT .....	XX
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES .....	6
JUSTIFICACIÓN.....	9
OBJETIVOS.....	10
General.....	10
Particulares: .....	10
HIPÓTESIS .....	10
DESARROLLO DEL TRABAJO .....	11
MARCO TEÓRICO .....	11
Cadenas de Suministro .....	11
Integración de Procesos .....	12
Integración másica.....	13
Integración energética.....	13
Optimización .....	13
GAMS.....	14
Tipos de modelos soportados .....	15
Sustentabilidad.....	16
Biomasa .....	16

Biocombustibles .....	18
Clasificación .....	18
Biodiésel .....	20
Métodos de obtención de biodiésel .....	21
Residuos Orgánicos .....	23
Economía circular .....	23
Larva de mosca soldado negro ( <i>Hermetia illucens</i> ) .....	24
METODOLOGÍA .....	26
Planteamiento del Problema .....	27
SUPERESTRUCTURA .....	29
MODELO MATEMÁTICO .....	31
BALANCES DE MASA .....	31
COSTOS .....	43
VENTAS .....	49
GANANCIAS .....	49
EMISIONES .....	51
FUNCIÓN OBJETIVO .....	57
RESULTADOS .....	58
Modelo matemático .....	58
Mezcla B20 .....	58
ANÁLISIS .....	72
IMPACTO AMBIENTAL .....	73
IMPACTO ECONÓMICO .....	78
CONCLUSIONES .....	82
RECOMENDACIONES .....	83
DEDICATORIA .....	84
BIBLIOGRAFÍA .....	85
ANEXOS .....	96
ANEXO 1 .....	97
ANEXO 2 .....	99
ANEXO 3 .....	101
ANEXO 4 .....	102

ANEXO 5 ..... 104

ANEXO 6 ..... 106

ANEXO 7 ..... 107

ANEXO 8 ..... 109

ANEXO 9 ..... 111

ANEXO 10 ..... 113

ANEXO 11 ..... 114

ANEXO 12 ..... 116

## GLOSARIO

- ❖ **Biocombustibles:** Fuente de energía que puede producirse directa o indirectamente a partir de la biomasa, proveniente de diversas actividades.
- ❖ **Biodiésel:** Biocombustible que se obtiene por la transesterificación a partir de compuestos con alto contenido celulósico y oleaginoso o aceite y grasas de origen animal o vegetal.
- ❖ **Biomasa:** Cualquier tipo de materia orgánica, ya sea de origen vegetal o animal, y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial presentes en una comunidad o ecosistema.
- ❖ **Biorefinerías:** Plantas industriales donde se procesa la biomasa para transformarla en algún tipo de energía o compuesto.
- ❖ **Biotransformación:** Conjunto de transformaciones que sufre un organismo.
- ❖ **Cadena de suministros:** Es un proceso integrado en el que un grupo de múltiples organizaciones o entidades, trabajaban en conjunto en el proceso de abastecimiento de materias primas, su transformación y distribución.
- ❖ **Diésel:** Hidrocarburo líquido no renovable.
- ❖ **Economía circular:** Modelo de producción y consumo que garantiza el aprovechamiento al máximo de los recursos materiales que se disponen, alargando el ciclo de vida de los productos.
- ❖ **Función objetivo:** Ecuación a ser optimizada (su maximización o minimización), basada en un criterio de desempeño, está se resolverá mediante técnicas de programación lineal o no lineal.
- ❖ **Gestión de residuos:** Proceso que engloba las actividades necesarias para hacerse cargo de un residuo y su manejo.
- ❖ **Larva de mosca:** Etapa juvenil de crecimiento de la mosca.
- ❖ **Modelos matemáticos:** Es una representación simplificada de un fenómeno o de la relación entre dos o más variables, parámetros y/o restricciones, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas.

- ❖ **Optimización:** Búsqueda de mejores resultados, eficientes, eficaces, o ambos para el desempeño de ciertas actividades.
- ❖ **Proceso de integración:** Mantener unidas diversos elementos que forman parte de un conjunto en común.
- ❖ **Programación matemática:** Es una técnica de optimización utilizada en los procesos de toma de decisiones con numerosas variables, se ocupa de la teoría, aplicaciones y métodos computacionales para resolver problemas.
- ❖ **Sustentabilidad:** Capacidad que tiene una sociedad para hacer un uso consciente y responsable de sus recursos, sin agotarlos o exceder su capacidad de renovación, y sin comprometer el acceso a estos por parte de las generaciones futuras.

## SIGLAS, ABREVIATURAS y SÍMBOLOS

<b>SIGLAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>APEC</b>	Asia-Pacific Economic Cooperation
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Material Standards (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
<b>BSFL</b>	Black soldier fly larvae (Larvas de mosca soldado negra)
<b>CS</b>	Cadena de suministro
<b>DOE</b>	Diario Oficial del Estado
<b>DOF</b>	Diario Oficial de la Federación
<b>FAME</b>	Fatty Acid Methyl Esters (Éster metílico de ácido graso)
<b>GAMS</b>	General Algebraic Modeling System
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>HL</b>	Hermetia illucens
<b>IEA</b>	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
<b>LP</b>	Programación Lineal
<b>LPDB</b>	Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos
<b>LTE</b>	Ley de Transición Energética
<b>MINLP</b>	Programación No Lineal Entera Mixta
<b>MIP</b>	Programación Entera Mixta
<b>NDC</b>	Contribución Determinada a nivel Nacional

<b>PI</b>	Integración de Procesos
<b>PM</b>	Material Particulado
<b>PNL</b>	Programación No Lineal
<b>RME</b>	Rapeseed Methyl Ester
<b>RO</b>	Residuos Orgánicos
<b>RSU</b>	Residuos Sólidos Urbanos
<b>SENER</b>	Secretaria de Energía

**ABREVIATURAS****DESCRIPCIÓN**

<b>P. B.</b>	Planta de biotransformación
<b>P. Prod. Bio.</b>	Planta de producción de biodiésel

**ELEMENTOS****DESCRIPCIÓN**

<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de azufre
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>CO<sub>2</sub><sup>eq</sup></b>	Dióxido de carbono equivalente
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>HC</b>	Óxidos hidrocarburos

**UNIDADES****DESCRIPCIÓN**

<b>a</b>	Años
<b>Gt</b>	Gigatoneladas
<b>Kg</b>	Kilogramo

---

<b>Mt</b>	Millones de toneladas
<b>Sem</b>	Semanas
<b>Ton</b>	Toneladas
<b>y</b>	Years (años)

## NOMENCLATURA

### VARIABLES

<i>Simbología</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ecuación</i>
$(E^{CO_2})$	<i>Emisiones totales de CO<sub>2</sub> generadas durante todo el proceso</i>	<u>49</u>
$(profit)$	<i>Rendimiento Económico</i>	<u>37</u>

### VARIABLES BINARIAS

<i>Simbología</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ecuación</i>
$(y_{k,c}^{Ac})$	<i>Variable binaria para la existencia de la planta de biodiésel</i>	<u>23, 25, 27</u>
$(x_{j,c}^{or})$	<i>Variable binaria para la existencia de la planta de biotransformación</i>	<u>20, 22, 26</u>

### VARIABLES POSITIVAS

<i>Simbología</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ecuación</i>
$(CC_{j,c}^{BiotranP})$	<i>Costo capital de planta de biotransformación</i>	<u>26, 37</u>
$(CPB_{k,c}^{BioP})$	<i>Costo capital de planta de producción de biodiésel</i>	<u>27, 37</u>
$(CDC_{l,t}^{Bio-Mix})$	<i>Costo de diésel convencional usado</i>	<u>34, 37</u>
$(CTAc_{k,t})$	<i>Costo generado por el transporte de aceite</i>	<u>30, 37</u>
$(CTBio_{M,t}^{Mix})$	<i>Costo generado por el transporte de biodiésel en mezcla</i>	<u>33, 37</u>
$(CTBio_{l,t}^{Puro})$	<i>Costo generado por el transporte de biodiésel puro</i>	<u>32, 37</u>

$(CTDC_{l,t})$	Costo generado por el transporte de diésel convencional	<u>31</u>
$(CTR_{j,t}^{Or})$	Costo generado por el transporte de residuos orgánicos	<u>29, 37</u>
$(COST_{i,t}^{Relleno})$	Costo generado por la disposición de residuos orgánicos en el relleno local	<u>28, 37</u>
$(DD_{l,t})$	Demanda total de diésel	<u>17, 18</u>
$(EPBio_k^P)$	Emisiones generadas por el biodiésel puro	<u>41, 48</u>
$(ET)$	Emisiones generadas por el transporte	<u>38, 48</u>
$(EPBio_i^{Mix})$	Emisiones generadas por la producción de biodiésel en mezcla	<u>40, 48</u>
$(ENMRO_i)$	Emisiones generadas por residuos orgánicos	<u>44, 46</u>
$(EBio_i^{Mix-use})$	Emisiones generadas por uso de biodiésel en mezcla	<u>42, 48</u>
$(EB_i^{Puro-Used})$	Emisiones generadas por uso de biodiésel puro	<u>47, 48</u>
$(EDC_l)$	Emisiones generadas por uso de diésel convencional	<u>43, 46</u>
$(EPC)$	Emisiones por producción convencional	<u>46</u>
$(EPNC)$	Emisiones por producción no convencional	<u>48</u>
$(EMO_i^{waste})$	Emisiones totales generadas por biotransformación de residuos orgánicos	<u>39, 48</u>
$(ETDC)$	Emisiones totales generadas por diésel convencional	<u>45, 46</u>
$(BO_{j,t}^{Ex})$	Flujo de aceite extraído en cada planta de biotransformación	<u>4, 5</u>
$(Ac_{k,t}^{rec})$	Flujo de aceite recibido en cada planta de producción de biodiésel instalada	<u>6, 7, 24</u>
$(FAC_{k,c}^{rec})$	Flujo de aceite recibido	<u>24, 25, 27</u>

$(TA_{j,k,t}^{trans-oil})$	Flujo de aceite transportado de la planta de biotransformación a la planta de producción de biodiésel	<u>5</u> , <u>6</u> , <u>30</u> , <u>38</u>
$(FBio_{l,t}^{Disponible})$	Flujo de biodiésel en mezcla disponible en cada sitio	<u>13</u> , <u>18</u> , <u>35</u> , <u>42</u> , <u>50</u>
$(FBio_{l,t}^{Mix})$	Flujo de biodiésel en mezcla en cada planta (l)	<u>11</u> , <u>12</u> , <u>40</u>
$(FDBio_{l,M,t}^{Sent})$	Flujo de biodiésel distribuido en mezcla	<u>12</u> , <u>14</u>
$(FBio_{l,t}^{Mix-rec})$	Flujo de biodiésel en mezcla recibido	<u>13</u> , <u>14</u>
$(FBio_{k,l,t}^{Sent})$	Flujo de biodiésel puro enviado a la planta de mezclado	<u>8</u> , <u>9</u> , <u>32</u> , <u>38</u>
$(FBPPSU_{l,t})$	Flujo de biodiésel puro para ser usado	<u>9</u> , <u>10</u> , <u>11</u> , <u>47</u>
$(FBio_{k,t}^{Prod})$	Flujo de biodiésel puro producido	<u>7</u> , <u>8</u> , <u>41</u>
$(DCC_{l,t}^{Conv})$	Flujo de diésel convencional para demanda convencional	<u>16</u> , <u>18</u> , <u>31</u> , <u>43</u>
$(FDiet_{s,l,t})$	Flujo de diésel convencional	<u>16</u> , <u>31</u> , <u>45</u>
$(FDCT_{s,l,t})$	Flujo de diésel convencional transportado de s a l	<u>15</u> , <u>34</u> , <u>38</u>
$(DCNM_{l,t})$	Flujo de diésel convencional requerido para la mezcla	<u>10</u> , <u>11</u> , <u>15</u> , <u>34</u>
$(FO_{i,t}^w)$	Flujo de residuos orgánicos disponibles	<u>1</u> , <u>2</u> , <u>36</u> , <u>39</u>
$(FOW_{j,c})$	Flujo de residuos orgánicos	<u>21</u> , <u>22</u> , <u>26</u>
$(R_{i,t}^{Relleno})$	Flujo de residuos orgánicos enviados al relleno sanitario	<u>2</u> , <u>28</u> , <u>44</u>
$(FO_{j,t}^{w-rec})$	Flujo de residuos orgánicos recibidos en cada planta de biotransformación	<u>3</u> , <u>4</u> , <u>21</u>
$(FS_{i,j,t}^{ow})$	Flujo de residuo orgánicos enviados de (i) a (j)	<u>2</u> , <u>3</u> , <u>29</u> , <u>38</u>
$(FDBio_{l,M,t}^{Sent})$	Flujo distribuido de biodiesel en mezcla a otros estados	<u>12</u> , <u>14</u> , <u>33</u> , <u>38</u>

$(FR_{i,t}^{Tot})$	Flujo total de residuos en cada sitio (l)	<u>1</u> , <u>19</u>
$(GR_{i,t}^{or})$	Ganancias generadas por manejo de residuos en cada estado	<u>36</u> , <u>37</u>
$(GNJ_l)$	Generación de trabajos	<u>50</u>
$(VBio_{l,t}^{Mix-Sale})$	Ventas generadas por la mezcla de biodiésel	<u>35</u> , <u>37</u>

### PARÁMETROS

<b>Simbología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ecuación</b>
$(CMRO)$	Costo de manejo de residuos orgánicos	<u>36</u>
$(CT_{i,j}^{ro})$	Costo de transporte por residuos orgánicos	<u>29</u>
$(CTR^{Relleno})$	Costo de transporte por residuos a relleno sanitario	<u>28</u>
$(C_{j,c}^F)$	Costo fijo de cada planta de biotransformación	<u>26</u>
$(C_{k,c}^{FPB})$	Costo fijo de cada planta de producción de biodiésel	<u>27</u>
$(C_{j,c}^{V-Btras})$	Costo variable de cada planta de biotransformación	<u>26</u>
$(C_{k,c}^{VPB})$	Costo variable de cada planta de producción de biodiesel	<u>27</u>
$(FC_{l,t})$	Factor de consumo por sitio (l) (ton/semana)	<u>17</u>
$(EGPBio)$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por biodiésel puro	<u>41</u>
$(FEM^{ow})$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por biotransformación de residuos	<u>39</u>
$(EBio^{Mix})$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por la producción de biodiésel en mezcla	<u>40</u>
$(FE^{ow-SM})$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por residuos orgánicos	<u>44</u>
$(FEUBio^{Mix})$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por tonelada de Biocombustible en mezcla usado	<u>42</u>
$(FEAc_{j,k}^{trans})$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por transporte de aceite	<u>38</u>

$(\text{FEBio}_{l,M}^{\text{Mix}})$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por transporte de biodiésel en mezcla	<u>38</u>
$(\text{FEBio}_{k,l}^{\text{Puro}})$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por transporte de biodiésel puro	<u>38</u>
$(\text{FECV}_{s,l})$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por transporte de diésel convencional	<u>38</u>
$(\text{FEO}_{i,j}^{\text{trans}})$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por transporte de residuos orgánicos	<u>38</u>
$(\text{FEUCD})$	Factor de CO <sub>2</sub> emitido por uso de diésel	<u>43</u>
$(\text{FUB}^{\text{Puro}})$	Factor de emisiones de biodiésel puro producido	<u>47</u>
$(\text{FTDC}_{s,l})$	Factor de transporte de diésel convencional	<u>45</u>
$(\beta^{B.Q.})$	Factor de rendimiento de aceite extraído	<u>4</u>
$(\mu)$	Factor de rendimiento de biodiésel puro producido	<u>7</u>
$(\text{FR}_{i,t}^{\text{TotMax}})$	Flujo total de residuos en cada sitio (l)	<u>19</u>
$(\phi^{D.C})$	Fracción de diésel convencional	<u>10</u>
$(\nu)$	Fracción de biodiésel	<u>10</u>
$(\alpha_i^{\text{Sep-or}})$	Fracción de residuos orgánicos	<u>1</u>
$(\text{FRO}_{j,c}^{\text{rec-low}})$	Límite inferior para que exista la planta	<u>22</u>
$(\text{FRO}_{j,c}^{\text{rec-up}})$	Límite superior para que exista la planta	<u>22</u>
$(\text{FAC}_{k,c}^{\text{Low}})$	Límite inferior de aceite en cada planta	<u>25</u>
$(\text{FAC}_{k,c}^{\text{Up}})$	Límite superior de aceite en cada planta	<u>25</u>
$(\text{EN})$	Número de empleos por tonelada de biodiésel en mezcla usado	<u>50</u>
$(\text{POPU}_l)$	Población de cada sitio	<u>17</u>
$(\text{PVBio}_1^{\text{Mix}})$	Precio de cada tonelada de biodiésel en mezcla	<u>35</u>
$(\text{PDC}_1^{\text{Bio-Mix}})$	Precio de diésel	<u>31</u>
$(\text{PTBio}_{l,M}^{\text{Mix}})$	Precio de transporte de biodiésel en mezcla	<u>33</u>
$(\text{PCDDCT}_{s,l})$	Precio de transporte de diésel convencional	<u>34</u>

$(PCDDC_1)$	Precio de venta del diésel convencional	<u>34</u>
$(PTAc_{j,k})$	Precio por transporte de aceite	<u>30</u>
$(PTBio_{k,l}^{Puro})$	Precio por transporte de biodiésel puro	<u>32</u>
$(PTDC_{s,l}^{Bio-Plant})$	Precio por transporte de diésel	<u>31</u>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Evolución global del PIB, demanda energética y emisiones generadas de CO <sub>2</sub> ....	1
<b>Figura 2.</b> Demanda energética en México (SENER, 2020).....	7
<b>Figura 3.</b> Elementos de una cadena de suministro .....	11
<b>Figura 4.</b> Ejemplo de optimización lineal (Buján-Pérez, 2017).....	14
<b>Figura 5.</b> Clasificación de los biocombustibles líquidos. ....	19
<b>Figura 6.</b> Reacción simplificada de la obtención del biodiésel (Grande-Tovar, 2014 .....	21
<b>Figura 7.</b> Producción de biodiésel industrial .....	22
<b>Figura 8</b> Larva de mosca soldado negro.....	25
<b>Figura 9</b> Diagrama de flujo de la metodología .....	26
<b>Figura 10.</b> Superestructura del proceso .....	30
<b>Figura 11.</b> Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario A.....	59
<b>Figura 12.</b> Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario A, así como la circulación de los flujos de residuos orgánicos hacia alguno de los estados que instalaron plantas de biotransformación.....	60
<b>Figura 13.</b> Representación de plantas de biotransformación, plantas de producción de biodiésel y la dirección del flujo de aceite desde las plantas donde se produjo hasta alguna de las plantas de producción de biodiésel instaladas del escenario A. ....	61
<b>Figura 14.</b> Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario B. ....	62
<b>Figura 15.</b> Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario B, así como la circulación de los flujos de residuos orgánicos hacia alguno de los estados que instalaron plantas de biotransformación.....	63
<b>Figura 16.</b> Representación de plantas de biotransformación, plantas de producción de biodiésel y la dirección del flujo de aceite desde las plantas donde se produjo hasta alguna de las plantas de producción de biodiésel instaladas del escenario B.....	64
<b>Figura 17.</b> Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario C. ....	65
<b>Figura 18.</b> Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario C, así como la circulación de los flujos de residuos orgánicos hacia alguno de los estados que instalaron plantas de biotransformación.....	66
<b>Figura 19.</b> Representación de plantas de biotransformación, plantas de producción de biodiésel y la dirección del flujo de aceite desde las plantas donde se produjo hasta alguna de las plantas de producción de biodiésel instaladas del escenario C.....	67
<b>Figura 20.</b> Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario D. ....	69
<b>Figura 21.</b> Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario D, así como la circulación de los flujos de residuos orgánicos hacia alguno de los estados que instalaron plantas de biotransformación.....	70

<b>Figura 22.</b> Representación de plantas de biotransformación, plantas de producción de biodiésel y la dirección del flujo de aceite desde las plantas donde se produjo hasta alguna de las plantas de producción de biodiésel instaladas del escenario D. ....	71
<b>Figura 23.</b> Curva de Pareto ejemplificando las emisiones de CO <sub>2</sub> y el rendimiento económico obtenido por año.....	72
<b>Figura 24.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> de acuerdo a las emisiones por proceso convencional, donde se consideran las emisiones de un proceso normal.....	76
<b>Figura 25.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> de acuerdo a las emisiones por proceso no convencional, donde se consideran las emisiones que intervienen para la generación del biodiésel proveniente de la larva de mosca soldado. ....	77
<b>Figura 26.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> totales del proceso, ejemplificando las emisiones por proceso convencional y por proceso no convencional, así como las emisiones que se reducirían por uso del biodiésel.....	78
<b>Figura 27.</b> Costos considerados de todo el proceso.....	79
<b>Figura 28.</b> Representación en magnitud de los costos, generación de trabajos, ganancias y ventas de cada uno de los escenarios planteados.....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Línea de tiempo biodiésel.....	6
<b>Tabla 2.</b> Tipos y características de biomasa (Salinas-Callejas & Gasca-Quezada, 2009)...	17
<b>Tabla 3.</b> Tipos de biocombustibles de acuerdo a su estado de materia (Salinas-Callejas & Gasca-Quezada, 2009).....	18
<b>Tabla 4.</b> Relación de dominio de cada una de las variables consideradas.....	29
<b>Tabla 5.</b> Factor de basura orgánica de cada estado.....	32
<b>Tabla 6.</b> Población de cada estado que tiene registrado un carro que emplea diésel como combustible.....	39
<b>Tabla 7.</b> Cantidad de residuos sólidos urbanos reportada en cada uno de los estados. ....	41
<b>Tabla 8.</b> Límites superior e inferior de las plantas de biotransformación instaladas de acuerdo a los 3 diferentes tipos de capacidad considerada.....	42
<b>Tabla 9.</b> Límites superior e inferior de las plantas de producción de biodiésel instaladas de acuerdo a los 3 diferentes tipos de capacidad que se consideraron. ....	43
<b>Tabla 10.</b> Costos fijos y variables establecidos para cada uno de los 3 diferentes capacidades de plantas de biotransformación consideradas. ....	44
<b>Tabla 11.</b> Costos fijos y variables establecidos para cada uno de los 3 diferentes capacidades de plantas de producción de biodiésel consideradas. ....	45
<b>Tabla 12.</b> Comparación de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Costo de Transporte por Residuos Orgánicos ( $CT_{i,j}^{ro}$ ) .....	97
<b>Anexo 2.</b> Precio por Transporte de Aceite ( $PTAc_{j,k}$ ) .....	99
<b>Anexo 3.</b> Precio por Transporte de Diésel ( $PTDC_{s,l}^{Bio-Plant}$ ) .....	101
<b>Anexo 4.</b> Precio por Transporte de Biodiésel Puro ( $PTBio_{k,l}^{Puro}$ ) .....	102
<b>Anexo 5.</b> Precio por Transporte de Biodiésel en Mezcla ( $PTBio_{l,M}^{Mix}$ ) .....	104
<b>Anexo 6.</b> Precio por Transporte de Diésel Convencional para Mezcla ( $PCDDCT_{s,l}$ ) .....	106
<b>Anexo 7.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> generadas por transporte de aceite ( $FEAc_{j,k}^{trans}$ ) .....	107
<b>Anexo 8.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> generadas por transporte de biodiésel puro ( $FEBio_{k,l}^{Puro}$ ) .....	109
<b>Anexo 9.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> generadas por transporte de mezcla de biodiésel ( $FEBio_{l,M}^{Mix}$ ) .....	111
<b>Anexo 10.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> generadas por transporte de diésel convencional ( $FECV_{s,l}$ ) .....	113
<b>Anexo 11.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> generadas por transporte de residuos orgánicos ( $FEO_{i,j}^{trans}$ )	114
<b>Anexo 12.</b> Emisiones generadas de CO <sub>2</sub> por "transporte de diésel convencional ( $FTDC_{s,l}$ ) .....	116

## RESUMEN

Previamente a la pandemia, la sociedad enfrentaba ya desafíos relacionados con el cambio climático, así como de seguridad alimentaria y energética. Hoy en día la recuperación económica sostenible se suma generando con ello un desafío mayor. En este sentido, el desarrollo de biocombustibles sostenibles es un punto clave en dicho proceso. Particularmente, el biodiésel es uno de los biocombustibles más producidos a nivel mundial, sin embargo, todas las plantas existentes basan su producción en aceites vegetales o animales (comestibles, no comestibles y desechos). Materias primas cuya disponibilidad es limitada dado su origen; incluso el uso de algunas de ellas impacta negativamente en la seguridad alimentaria. Ante ello, los esfuerzos actuales se centran en la búsqueda de otras fuentes de aceites que eviten agravar otros problemas. Fuentes como aceites obtenidos a partir de insectos, han resultado atractivas debido a sus ciclos de vida cortos, sin relación con alimentos, sin necesidad de terrenos fértiles para su producción, así como la no competencia con otras fuentes alimenticias, tal como es el caso de la larva de mosca soldado negra. Específicamente, la larva de mosca soldado negra puede consumir una alta variedad de residuos orgánicos no revalorizados; residuos que está biotransformación en aproximadamente 40% de lípidos. Por ello, en la presente tesis se plantea el diseño y configuración de la cadena de suministro de producción de biodiésel, con el objetivo de satisfacer la necesidad de una mezcla B20 a nivel nacional. Siendo esto posible mediante la formulación, codificación y análisis del modelo matemático propuesto. Los resultados indican que es posible satisfacer el 24% de la demanda nacional de diésel con una mezcla B20, usando aceite extraído de larvas de mosca soldado negra, las cuales a su vez revalorizan residuos orgánicos alimenticios. Acciones que conllevan a generar una disminución del 58% en las emisiones de CO<sub>2</sub> liberadas anualmente en comparativa de cuando se satisface dicho porcentaje de la demanda con diésel convencional. Adicionalmente, se genera una ganancia neta de USD\$3,369E6/a, valor que representa el 0.26% del incremento del Producto Interno Bruto nacional.

**Palabras clave:** Biocombustibles, optimización, cadena de suministro, gestión de residuos, economía circular.

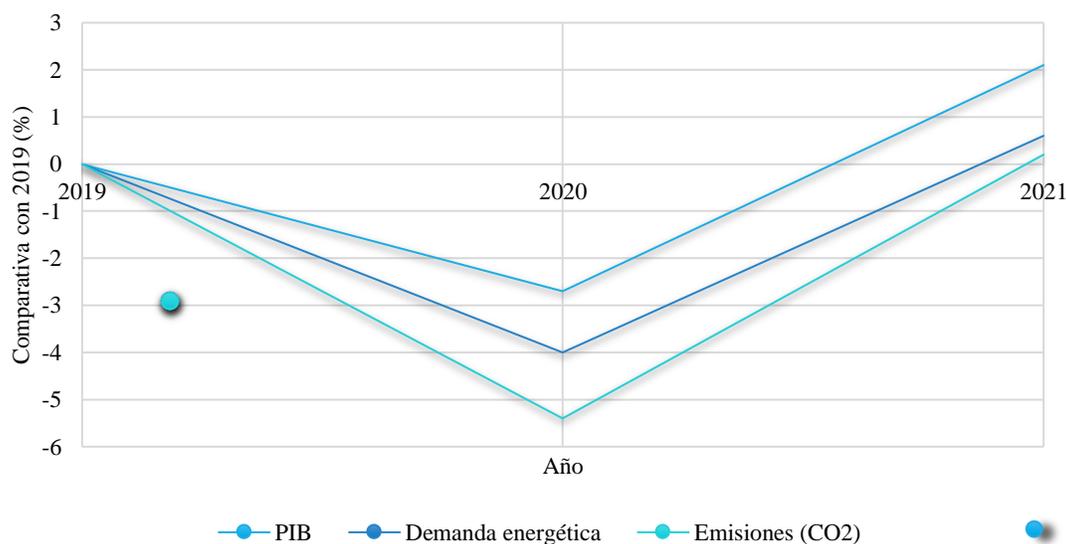
## ABSTRACT

Before the pandemic, society was already facing challenges related to climate change, as well as food and energy security. Today, sustainable economic recovery adds up to a greater challenge. In this sense, the development of sustainable biofuels is a key point in this process. In particular, biodiesel is one of the most produced biofuels worldwide, however, all existing plants base their production on vegetable or animal oils (edible, inedible and waste). Raw materials whose availability is limited due to their origin; even the use of some of them has a negative impact on food safety. Because of this, current efforts are focused on finding other sources of oils that avoid aggravating other problems. Sources such as obtaining oils from insects have been attractive sources due to their short life cycles, food sources, no need for fertile land for their production as well as non-compete with other food sources, such as the black soldier fly larva. Specifically, black welded fly larvae can consume a high variety of undeveloped organic residues; residues that are biotransformed in approximately 40% of lipids. For this reason, the present thesis addresses the design and configuration of the biodiesel production supply chain, with the aim of meeting the need for a B20 blend at a national level. It is possible through the formulation, coding and analysis of the proposed mathematical model. The results indicate that it is possible to satisfy 24% of the national demand for diesel with a B20 mixture, using oil extracted from black welded fly larvae, which in turn revalue organic food waste. Actions that lead to a 58% reduction in CO<sub>2</sub> emissions released annually in comparison to when this percentage of demand is met with conventional diesel. In addition, a net gain of USD\$3,369E6/y is generated, a value that represents 0.26% of the increase in the national Gross Domestic Product.

**Keywords:** Biofuels, optimization, supply chain, waste management, circular economy.

## INTRODUCCIÓN

A nivel global, la seguridad energética y la mitigación del cambio climático son los dos principales motores de la transformación del sistema energético actual, es decir la transición de una economía basada en energías fósiles a una en energías renovables que permita disminuir los efectos drásticos del calentamiento global. En este sentido, de acuerdo con el reporte de la Agencia Internacional de Energía por sus siglas en inglés “IEA” (2021), la demanda energética a nivel mundial para el año 2020 se redujo cerca del 4% (véase **Figura 1**) como consecuencia de la aun presente pandemia a causa del COVID-19. Por otro lado, con la introducción y desarrollo de sistemas de vacunación, se prevé que la economía mundial se recupere, e incluso que a finales de 2021 se retome la demanda energética en un 4.6% mayor en comparación con a la etapa pre-COVID. Sin embargo, existe incertidumbre en que estos valores sean alcanzados, recayendo en la factibilidad de ello en el funcionamiento de las vacunas.



**Figura 1.** Evolución global del PIB, demanda energética y emisiones generadas de CO<sub>2</sub>

Similarmente, la demanda de crudo del sector de transporte terrestre a nivel mundial se ha visto ralentizada por efecto del COVID-19, aunado a las emisiones generadas por esta actividad. En este sentido, se estimaba que para el año 2021 se tendría un incremento del

6.2% en la demanda de combustible por dicho sector, no obstante, hoy en día la demanda se mantiene 3% debajo de la demanda del año 2019, teniendo pronosticado alcanzar los niveles en la demanda alcanzados para el 2019 a finales del 2021, lo que se traduciría en la generación de 8.5 Gt de CO<sub>2</sub> por el consumo de combustible de este sector. Creando como consecuencia la contribución a la crisis de petróleo, y la contaminación ambiental. Ante dicha situación, de acuerdo con el reporte *Net Zero by 2050* “Emisiones cero para el 2050” (EIA, 2021), es posible alcanzar una descarbonización del sector de transporte, sólo si algunas estrategias son incluidas en el desarrollo del mismo. Estrategias como la creación de nuevas políticas que busquen promover cambios modales y operaciones más eficientes energéticamente en este sector. Así mismo, es necesario una transición energética en el sector de movilidad, con miras a la inclusión de vehículos eléctricos, además como de medios de transporte que obtén por el uso de biocombustibles como única fuente energética (o al menos con la inclusión de mezclas combustibles con mayor participación renovable). Ante dichas estrategias son evidentes la necesidad de políticas que consideren promover estímulos económicos, ante una necesidad inminente de inversión en términos infraestructura (producción), suministro (distribución), así como la aceptación por el mismo consumidor (accesibilidad).

Bajo este contexto, la sustitución de combustibles fósiles consumidos por el sector transporte por fuentes alternas como la solar, eólica, biomasa han recibido la mayor atención dada la creciente demanda y los problemas asociados a esta necesidad (Im-orb *et al.*, 2021). Dentro de las soluciones propuestas, los biocombustibles generados a partir de biomasa han destacado como soluciones energéticas alternas para el sector transporte. Es por ello que diversos autores en los últimos años han enfocado sus esfuerzos para obtener nuevos métodos de generación de biocombustibles (Pasaye-Anaya *et al.*, 2019), su escalamiento (Thoppil & Zein, 2021), planificación de la cadena de suministro (Martínez-Guido *et al.*, 2021), optimización de los procesos (Hernández-Pérez *et al.*, 2019), así como la intensificación de los mismos (Im-orb *et al.*, 2021). Cabe destacar que la fuente principal de los biocombustibles es materia orgánica (biomasa), lo que conlleva a generar procesos con capacidad de agregar valor a sistemas de producción primarios, promoviendo con ello la economía circular.

En este sentido, la biomasa, se define como todo el material biológico generado en el ciclo corto de carbono, tales como semillas, granos, cultivos alimenticios, residuos orgánicos,

aceite residual, cultivos no comestibles y algas, entre otros. Esta puede clasificarse de acuerdo con su naturaleza química en materia lignocelulósica, triglicéridos, así como azúcares y almidones; de esta manera, dependiendo de su naturaleza química, la biomasa es transformada mediante diferentes procesos de conversión para generar energía térmica, eléctrica o biocombustibles (Matos-Ríos *et al.*, 2021).

Es así pues que la bioenergía puede contribuir de manera importante a sustituir las fuentes de energía fósil y nuclear sin provocar aumento en las emisiones que contribuyen al cambio climático (Islas-Sampeiro & Martínez-Jiménez, 2010). Permitiendo, además, la eliminación de buena parte de los desechos orgánicos rurales y urbanos.

Específicamente, en términos de diésel convencional (diésel derivado del petróleo) se ha optado por el estudio de alternativas limpias como el diésel verde y el biodiésel. Concretamente el biodiésel, ha sido introducido como una alternativa con la que es posible reducir aproximadamente el 40% de las emisiones (como monóxido “CO” de carbono, óxidos hidrocarburos “HC”, dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), y material particulado “PM”) generadas por la quema del diésel convencional; así como una reducción del 78% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitido (Syafiuddin *et al.*, 2020). De acuerdo con Marchini-Fonseca *et al.* (2019), el biodiésel es un biocombustible producido principalmente a partir de aceites vegetales o grasas animales, el cual puede ser usado en automotores con mínimas modificaciones. Particularmente, este combustible renovable está constituido por una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos, los cuales se pueden obtener a partir reacciones de transesterificación de aceites o grasas, los cuales son llevadas en presencia de alcohol y un catalizador. Bajo este tenor, la producción de biodiésel puede ser clasificada en cuatro generaciones, las cuales están ligadas al tipo de materia prima usada y a la tecnología usada (Syafiuddin *et al.*, 2020). En la primera generación se encuentra el biodiésel obtenido a partir de aceites comestibles, como el aceite de soya, aceite de palma, de maíz, entre otros. Como biodiésel de segunda generación se tiene al producido a partir de aceites no comestibles, destacando el aceite de jatropha, aceite de semilla de caucho, así como aceites de árbol de neem y karanja. En el biodiésel de tercera generación se tiene al producido a partir de materias que no compiten con el uso de suelo como el aceite de microalgas, y aceites residuales (aceites residuales de cocina). Por último, el biodiésel de cuarta generación es

aquel obtenido a partir de procesos foto-biológicos y electro-combustibles (ambos procesos hoy en día categorizados como nuevos campos de investigación).

Sin embargo, hoy en día la mayor cantidad de biodiésel producido alrededor del mundo es de primera y segunda generación, teniendo como principales desventajas altos costos de producción y competitividad con el uso de suelo. En este sentido, aproximadamente el 70% del costo total de producción de biodiésel de primera generación está ligado a la obtención de materias primas (aceites), haciéndolo un combustible renovable de poca rentabilidad económica, dado que este es 1.5 veces más costoso que el diésel convencional (Mansir *et al.*, 2018; Jamil *et al.*, 2018). Por otro lado, algunas investigaciones asociadas a la producción de biodiésel a partir de aceites no comestibles como los obtenidos a partir de *jatropha curcas*, microalgas y aceites residuales han sido foco de atención alrededor de mundo; sin embargo, de acuerdo con Nguyen *et al.* (2017) todas estas rutas presentan aún barreras técnicas, viabilidad económica, sustentabilidad, o la misma falta de promoción de una economía circular, en menor o mayor medida para cada materia prima estudiada. Ante estas inminentes desventajas presentadas por las materias primas en la producción de biodiésel, algunos autores han propuesto el uso de aceites generados por insectos, particularmente el aceite extraído a partir de larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*).

En este sentido, Surendra *et al.*, (2016) and Nguyen *et al.* (2018A) proponen que existen muchas ventajas vinculadas al uso de aceite de larva de mosca soldado negra (HL), debido a su alto contenido de grasa, alta velocidad reproductiva, y ciclos de vida cortos; aunado a la habilidad de consumir diversos tipos de componentes orgánicos en su mayoría de desecho o residuos sin ninguna aplicación de valorización, siendo esta su valiosa ventaja sostenible, frente a las otras materias primas. Así mismo, Jung *et al.*, (2022) definen que el uso de aceite de HL no requiere del uso de tierras fértiles, no compite con otros procesos de producción alimenticia, no contribuye con la huella hídrica generada por otras materias primas (producción de algas o cultivos), además de que es posible generar altos volúmenes de aceite en espacios reproductivos pequeños, resultando en la generación de biomasa con un 35-40% de contenido de grasa a partir de la eliminación de diversos residuos (Feng *et al.*, 2018). Sin embargo, todos los estudios presentados hasta hoy se han enfocado solamente a la factibilidad en la producción, ninguno de estos a integrado un análisis en el sentido de una configuración

de la cadena de suministro, evaluado aspectos de rentabilidad, factibilidad a un caso de estudio en particular, con el que se puede estimar la resiliencia del sistema a nivel general, así como de todas las posibles soluciones (configuraciones) de este tipo de alternativas.

Por ello en el presente trabajo se propone el análisis de la configuración óptima de la cadena de suministro de producción y distribución de biodiésel, mediante la integración de biorefinerías a base de aceite de larva de mosca soldado negra. Para ellos fue formulado un modelo matemático, integrando todas las ecuaciones que representan cada una de las etapas en la red de producción y distribución, generado con ello un estudio general del sistema real. Los datos alimentados al modelo fueron obtenidos de parámetros actuales de México, siendo este el caso de estudio evaluado. El sistema evaluado considero en primera estancia la biotransformación de los residuos orgánicos generados a nivel nacional a través de la integración de larvas de mosca soldado negra; posteriormente el aceite obtenido de dichos insectos es usado como materia prima para la producción de biodiésel de tercera generación. Una vez que se cuenta con el biodiésel producido, este es integrado la cadena convencional de distribución como mezcla B20. Destacando como resultados principales, que mediante la integración de este tipo de biorefinerías a nivel nacional es posible generar una ganancia de USD\$3.369E6/anual, valor que representa el 0.26% de incremento al producto interno bruto nacional.

## ANTECEDENTES

Los biocombustibles existen desde la invención de los automóviles, algunos puntos clave en el desarrollo de estos se muestran en la **Tabla 1**.

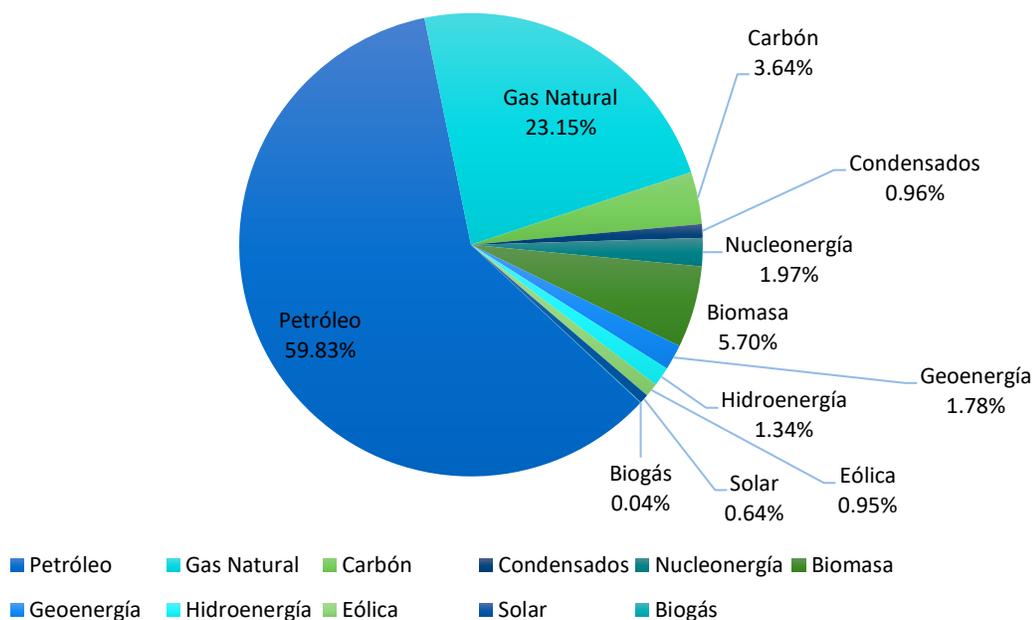
**Tabla 1.** Línea de tiempo biodiésel

Año	Evento	Referencia
1900	Uso por primera vez de aceites vegetales como combustibles	Chávez-Mieles, 2010
1908	Ford considera biocombustibles para mover sus Modelos T	Salinas-Callejas & Gasca-Quezada, 2009
1938	Primera experiencia del empleo de un biocombustible en transporte público	Idem
1970	Producción de biodiésel de forma significativa a raíz de la crisis energética	Chávez-Mieles, 2010
1980	Brasil y Alemania otorgaron dos patentes para el uso de metil ésteres de aceites vegetales	Grande-Tovar, 2014
1982	Se realizan pruebas técnicas con biodiésel en Austria y Alemania	Chávez-Mieles, 2010
1985	Se construye la primera planta piloto productora de RME (Rapeseed Methyl Ester-metil éster)	Idem
1985	Se expide la primera norma de calidad para estos compuestos.	Idem
1998	El Diario Oficial del Estado (DOE) designa al biodiésel puro ("B100"- 100%), como un combustible alternativo mientras que el biodiésel mezclado, cuya forma más común se llama B20 (20% biodiésel, 80% diésel convencional)	Chávez-Mieles, 2010

Por su parte, en el año 2007 en México se completó un primer estudio sobre las posibilidades del bioetanol y el biodiésel como combustibles para el transporte. (Riegelhaupt *et al.*, 2016).

Así mismo, el 1° de febrero de 2008 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB) que tiene la finalidad de “coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable, como condiciones que permiten garantizar el apoyo al campo mexicano y establecer las bases para (Riegelhaupt *et al.*, 2016), promover la producción de insumos para bioenergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano, sin poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país, con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable como condiciones que permiten garantizar el apoyo al campo mexicano, procurando la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y gases de efecto de invernadero.

Sin embargo, en México, hoy se sigue apostando por fuentes de energía derivadas de combustibles fósiles, mientras que las energías provenientes de fuentes más renovables se han dejado de lado (véase **Figura 2**).



**Figura 2.** Demanda energética en México (SENER, 2020)

Particularmente, en términos de producción de biodiésel existen dos vías de producción a nivel nacional: a partir de aceites usados y grasas; y con aceites vegetales crudos. Sin

embargo, la única cadena de valor que opera es la de aceites usados y grasas; cadena de valor con falta de insumos y costos poco competitivos con los combustibles convencionales, haciendo insostenible la comercialización del biodiésel (Riegelhaupt *et al.*, 2016).

En México, han existido plantas de producción con escalas entre los 9 000, 10 000 y 18 000 m<sup>3</sup> de biodiésel por año; sin embargo, éstas fueron cerradas entre 2008 y 2011. De acuerdo con Gómez-Castro *et al.* (2019), hoy en día hay una serie de plantas de biodiésel a escala demostrativa, que siguen operativas o que están próximas a completarse donde su principal materia prima es el aceite usado, grasa animal e higuierilla (Riegelhaupt *et al.*, 2016).

Sin embargo, las materias primas actuales (principalmente aceites comestibles), limitan la viabilidad económica de la producción de biodiésel y, por lo tanto, el desarrollo de una materia prima no alimentaria rentable es realmente esencial. En este sentido, los insectos han atraído mucha atención como fuente de materia prima para producir biodiésel debido a su alto contenido de grasa, ciclos de vida cortos y altas tasas de reproducción. En particular, se ha informado de que las larvas de mosca soldado negra (BSFL; *Hermetia illucens*) son una materia prima prometedora para el biodiésel. Estos insectos pueden degradar diversos residuos orgánicos derivados de animales y plantas, como el estiércol animal, los residuos de restaurantes y la biomasa lignocelulósica para acumular un alto contenido de grasa, que posteriormente se utiliza para la producción de biodiésel (Nguyen *et al.*, 2018B).

En 2015, se publicó un estudio de viabilidad de la producción de biodiésel utilizando lípidos de larvas de *Hermetia illucens* alimentadas con residuos orgánicos por Leong *et al.* Así como más estudios donde se ha empezado a profundizar sobre el tratamiento de residuos de diferente índole con la crianza de BSLF y su posterior tratamiento hasta la obtención de biodiésel. Posteriormente Rehman *et al.* (2018) evalúan los efectos de emplear el biodiésel proveniente de está como comburente para los motores de ignición.

Trabajos subsecuentes se han enfocado en evaluar diferentes tipos de sustratos, frente a la cantidad de aceite generado (Pang *et al.*, 2019). Algunos otros, se han enfocado en evaluar diversos catalizadores en la producción de biodiésel a partir de BSLF, o incluso en la optimización de las reacciones de transesterificación (Su *et al.*, 2019).

## JUSTIFICACIÓN

Las emisiones producidas por diversas actividades humanas han desencadenado un desequilibrio, generando consigo lo que hoy en día denominamos cambio climático, uno de los factores que impacta enormemente es el uso de combustibles, particularmente del total de las emisiones contaminantes que genera México, 64% corresponden al consumo de combustibles fósiles, pues estos generalmente provienen de derivados de petróleo como bien son la gasolina, diésel, turbosina, entre otros.

Por otro lado, los residuos orgánicos son derivados de diferentes actividades en la vida humana, los cuales se envían a rellenos sanitarios y generalmente no se les da un tratamiento, o proceso de revalorización, generando acumulación y descomposición lo que en consecuencia forma gases y líquidos contaminantes, que son descargados al ambiente sin control alguno.

Es por ello, que el empleo o revalorización de dichos residuos mediante técnicas como el crecimiento de larva de mosca soldado, es una opción atractiva para el desarrollo de procesos que cumplan las leyes en proceso asociadas a la economía circular en nuestro país. Siendo esto posible al sumar valor a los residuos orgánicos al ser usados como materia prima para la crianza de larvas de mosca soldado, las cuales posteriormente serán tratadas para la extracción de sus aceites, compuestos que son de gran interés en la cadena de suministro de producción de biodiésel. Biocombustible el cual puede integrarse a los sistemas energéticos actuales a nivel nacional en esquemas de mezclas B20.

## OBJETIVOS

### General

Desarrollar un modelo óptimo de la cadena de suministro para la producción de biodiésel a partir de larva de mosca soldado.

### Particulares:

- ❖ Proponer un modelo de optimización para las cadenas de suministro del biodiésel a partir de la larva de mosca soldado.
- ❖ Construir una superestructura, que integre la selección de la materia prima, su recolección y rutas de distribución.
- ❖ Aplicar el modelo de optimización en la cadena de suministro a diferentes escenarios, considerando aspectos, económicos, sociales y ambientales.
- ❖ Establecer los estados que puedan ser seleccionados como mejores opciones para el establecimiento de una planta de biotransformación, así como de una planta de producción de biodiésel.
- ❖ Análisis del impacto tanto económico como financiero de los estados seleccionado por el modelo matemático.
- ❖ Hacer una perspectiva del mercado que se puede abarcar con la producción de biodiésel a partir de la larva de mosca soldado y el beneficio que traería esta.

## HIPÓTESIS

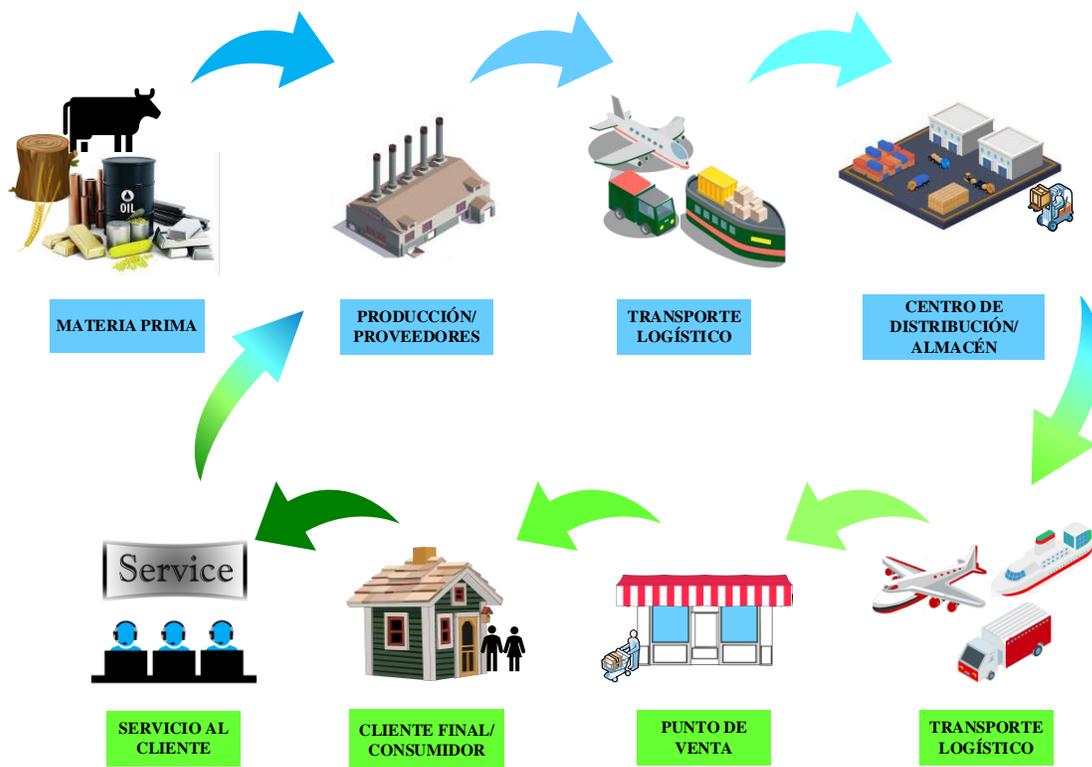
La aplicación de la optimización matemática en la configuración de la cadena de suministro para la obtención de biodiésel a partir de la larva de mosca soldado permitirá cuantificar los beneficios económicos, ambientales y sociales generados por dicha estrategia de revalorización, los cuales resultan en herramientas para los tomadores de decisiones.

## DESARROLLO DEL TRABAJO

### MARCO TEÓRICO

#### Cadenas de Suministro

De acuerdo con Goviel & Proth (2002) una cadena de suministro (CS) puede ser definida como una red de organizaciones interconectadas entre ellas a través de flujos de materiales e información, dichos flujos se transfieren desde los proveedores hasta el consumidor final, al menor costo y la mayor velocidad. En este sentido, toda CS debe trabajar bajo el lema de “buscar siempre la entera satisfacción del cliente”. Por lo que una CS representa una red global usada para distribuir productos y/o servicios, en la que intervienen entidades como: proveedores de materias primas, unidades de transformación (procesamiento), sistemas de transporte, distribuidores principales, así como los clientes. Dichas entidades están vinculadas por un flujo de materiales que fluye desde los proveedores hasta los minoristas o consumidores finales, y un flujo de información en sentido opuesto (véase **Figura 3**).



**Figura 3.** Elementos de una cadena de suministro

Bajo este contexto todas las entidades involucradas en una CS particular tienen decisión propia, es decir, un proveedor tiene la capacidad de decir si cumple o no con las necesidades de un cliente (manufacturero) u otro, para ello se proponen el desarrollo de políticas internas las cuales tienen que ser aceptadas por las partes involucradas para ser ejecutadas.

La complejidad de la CS se puede determinar con ayuda del número de nodos, el número de etapas y la estructura del flujo de material e información (Beamon & Chen, 2001). De acuerdo con Gupta & Maranas (2003), los modelos de planificación para operaciones de CS se pueden dividir en tres grupos: estratégicos, tácticos y operativos.

Como consecuencia las cadenas de suministros se vuelven sistemas complejos, dadas las cantidades de condiciones e interacciones que deben mantener en cuenta para la formación resultando en la reformulación o creación de nuevos modelos que cumplan con los requerimientos del desarrollo de una organización, generando alternativas más rentables a las ya establecidas y que a su vez se integren nuevas herramientas que ayuden en el proceso, optimizando todas las secciones como parte de un todo.

### **Integración de Procesos**

La Integración de Procesos (PI) es una serie de métodos utilizados para combinar operaciones en uno o más procesos para reducir el consumo de recursos y/o emisiones. Son posibles muchas definiciones de PI. El adoptado por la Agencia Internacional de Energía (Sabev-Varbanov, 2013) es: "Diseñar un enfoque sistemático y general para un sistema de producción integrado, que vaya desde un proceso individual hasta un sitio total, con especial énfasis en el uso eficiente de la energía y la reducción del impacto hacia el medio ambiente", optimizando entonces todas las interconexiones de todo el proceso.

Esta herramienta permite identificar los objetivos globales de eficiencia y encontrar la estrategia óptima para llevarlo a cabo, estos objetivos pueden ser: minimización de los requerimientos energéticos, minimización de la generación de residuales, maximización de la eficiencia del proceso, optimización de un proceso o de una etapa de éste, etc. Puede aplicarse durante el diseño de las plantas o en plantas que ya se encuentren funcionando y

que no fueron diseñadas teniendo en cuenta los criterios de la integración de procesos (González-Cortes *et al.*, 2014).

La integración de procesos puede clasificarse en integración másica e integración energética de acuerdo con una clasificación enfocada en los dos principales productos consumidos y procesados en una instalación. En términos generales, la primera se refiere a flujos de materia mientras que la segunda a flujos de energía.

#### Integración másica

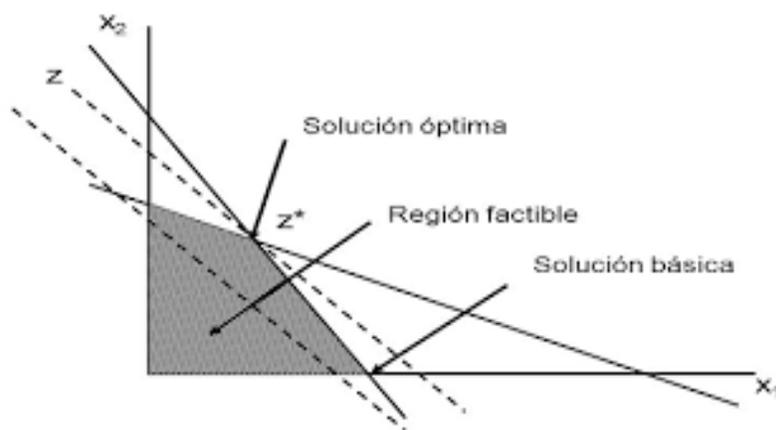
La integración másica consta de un enfoque general que proporciona una comprensión fundamental del flujo global de masa dentro del proceso para la localización, transformación y separación de las corrientes y contaminantes basando en la concepción del proceso como un todo, que de esta manera permite fijar objetivos en función de flujos y desarrollar estrategias de mejora al proceso identificando objetivos de rendimiento y optimizando la generación y el enrutamiento de las especies a lo largo del proceso.

#### Integración energética

La integración energética es un enfoque sistemático que proporciona una comprensión fundamental del uso de la energía en el proceso, utiliza esta comprensión para determinar los objetivos energéticos y optimizar los sistemas de recuperación de calor y los servicios energéticos (El-Halwagi, 2006).

### **Optimización**

La *optimización* es un área madura y muy exitosa de las matemáticas aplicadas. Se ocupa del análisis y solución de problemas para encontrar el mejor elemento en un conjunto. La estructura del conjunto y la forma en que se entiende el término "mejor" determinan diferentes campos de la teoría de optimización: lineal, entero, estocástico, no lineal, control óptimo, programación semi-infinita, etc. (véase **Figura 4**). Dentro de estos campos, y a través de ellos, se persiguen varias direcciones de investigación: condiciones de optimalidad, teoría de la dualidad, análisis de sensibilidad y métodos numéricos (Ruszczynski, 2006).



**Figura 4.** Ejemplo de optimización lineal (Buján-Pérez, 2017).

Los problemas de optimización surgen en la teoría de aproximación, teoría de probabilidad, diseño de estructuras, control de procesos químicos, enrutamiento en redes de telecomunicaciones, reconstrucción de imágenes, diseño de experimentos, radioterapia, valoración de activos, gestión de la cadena de suministro, ubicación de instalaciones, entre otros (Ruszczynski, 2006). Problemas que llegan a ser muy complejos dado el número de decisiones o situaciones que se tienen que analizar; es por ello, que se emplean sistemas computacionales con los que es posible obtener la opción más factible dentro de un conjunto de soluciones alternativas.

### GAMS

El sistema de modelado algebraico general, GAMS por sus siglas en inglés (General Algebraic Modeling System) es un sistema de modelado de alto nivel para programación y optimización matemática. Consiste en un compilador de lenguaje y una variedad de solucionadores asociados (Multion., 2021). GAMS está diseñado para aplicaciones complejas de modelado a gran escala, y le permite construir modelos grandes y fáciles de mantener que se pueden adaptar rápidamente a nuevas situaciones. Está específicamente diseñado para modelar problemas de optimización de enteros lineales, no lineales y mixtos. Los problemas a tratar han de ser de naturaleza algebraica no pudiendo especificarse problemas de optimización con ecuaciones diferenciales de forma directa.

El lenguaje GAMS es formalmente similar a los lenguajes de programación comunes, dado que el modelo está formulado de manera similar a su descripción matemática, puede ser entendido y mantenido no solo por los programadores, sino también por los expertos del dominio real. GAMS genera automáticamente cada ecuación de restricción, y permite al usuario hacer excepciones en los casos en que no se desea la generalidad. Las declaraciones de los modelos pueden ser reutilizados sin tener que cambiar el álgebra cuando surgen otras instancias de los mismos o de otros problemas conexos. La ubicación y el tipo de errores se identifican antes de que se tenga una solución. GAMS maneja modelos dinámicos que implican secuencias de tiempo, retrasos y clientes potenciales y el tratamiento de los extremos temporales. Los modelos pueden ser desarrollados y documentados de forma simultánea porque GAMS permite al usuario incluir un texto explicativo, como parte de la definición de cualquier símbolo o ecuación. (Meza-Contreras *et al.*, 2016).

#### Tipos de modelos soportados

GAMS puede formular modelos de diferentes clases de problemas. Normalmente, un solucionador será capaz de resolver (es decir, aceptará como entrada) más de un tipo de modelo (Rosenthal., 2007). Como principales estructuras de programación disponibles en GAMS se tiene programación lineal (LP), programación entera mixta (MIP), programación no lineal (PNL) y programación no lineal entera mixta (MINLP). Además, puede soportar las siguientes matrices de los tipos de modelos:

- ✓ MCP Problemas complementarios mixtos.
- ✓ MPEC Programas matemáticos con restricciones de equilibrio.
- ✓ SNC Sistemas restringidos no lineales.
- ✓ DNLP Programación no lineal con derivadas discontinuas.
- ✓ MINLP Programación no lineal entera-mixta
- ✓ QCP Programación cuadrática restringida.
- ✓ MIQCP Programación con restricciones de mezcla de integración cuadrática.

Además, GAMS cuenta con un portafolio de más de 30 solucionadores, algunos de estos son: ANTIGONE, BONMIN, IPOPT, SCIP, CBC, CONOPT, CONVERT, DICOPT, EXAMINER, LOCALSOLVER, LGO, MOSEK, Soplex, SCIP.

## Sustentabilidad

El término sustentabilidad es definido como la capacidad que tiene una sociedad para hacer un uso consciente y responsable de sus recursos, sin agotarlos o exceder su capacidad de renovación, y sin comprometer el acceso a estos por parte de las generaciones futuras (Coelho, 2019). Cabe destacar que lo que esencialmente se busca a partir de la sustentabilidad es avanzar hacia una relación diferente entre la economía, el ambiente y la sociedad. En este sentido, la sustentabilidad no busca frenar el progreso ni volver a estados primitivos, sino, fomentar un progreso, pero desde un enfoque amigable con el ambiente (Calvente, 2007).

En la actualidad, la sustentabilidad juega un papel clave en la gestión de industrias responsables, para lograr este objetivo es necesario considerar tres aspectos importantes: el primero es utilizar herramientas económicas, sociales y ambientales para la evaluación. El segundo es encontrar los indicadores adecuados y recolectar los datos necesarios para cuantificar el desempeño de la sustentabilidad. Finalmente, el proceso de sustentabilidad debe ser visto a una escala global, es decir, todos estos deben estar incluidos en toda la cadena de suministro del proceso relevante. En respuesta a estos desafíos, se pueden utilizar la optimización y otros métodos para concebir un desarrollo global que conduzca a la supervivencia y el desarrollo de la industria (Zhang *et al.*, 2014).

## Biomasa

La biomasa es la cuarta fuente de energía del mundo, después del carbón, el petróleo y el gas natural, y representa alrededor del 14% del consumo mundial de energía primaria. Es por ello que hoy en día la biomasa está siendo considerada como un recurso energético importante en todo el mundo, esta se utiliza para satisfacer necesidades, como la generación de electricidad, el abastecimiento de vehículos y el suministro de calor de proceso para las industrias (Zobaa & Bansal, 2011). Cabe destacar que la biomasa es la única fuente de energía renovable que se puede almacenar tan fácilmente como el petróleo y el gas, lo cual es una ventaja económica para establecer el equilibrio entre la oferta y la demanda de energía.

De acuerdo a Zooba & Basal existen seis tipos de biomasa, los cuales son: biomasa agrícola, biomasa forestal, plantación de energía, biomasa marina, biomasa de residuos animales y

residuos municipales. De igual manera, se pueden considerar distintos tipos de biomasa como bien pueden ser catalogados de la siguiente forma (véase **Tabla 2**) (Salinas-Callejas & Gasca-Quezada, 2009).

**Tabla 2.** *Tipos y características de biomasa (Salinas-Callejas & Gasca-Quezada, 2009)*

Tipo de Biomasa	Características
Biomasa Primaria	Materia orgánica formada directamente de los seres fotosintético (Biomasa vegetal, residuos agrícolas y forestales).
Biomasa Secundaria	Es la producida por los seres heterótrofos. La constituyen la materia fecal o la carne de los animales.
Biomasa Terciaria	Es la producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria, por ejemplo, los restos y deyecciones de los animales carnívoros que se alimentan de herbívoros.
Biomasa Natural	Es la que producen los ecosistemas silvestres; 40% de la biomasa que se produce en la tierra proviene de los océanos.
Biomasa Residual	La que se puede extraer de los residuos agrícolas y forestales, y de las actividades humanas.
Cultivos energéticos	Recibe esta denominación cualquier cultivo agrícola cuya funcionalidad sea suministrar la biomasa para producir biocombustibles.

## Biocombustibles

Un biocombustible se puede definir como todo aquel combustible que puede producirse directa o indirectamente a partir de la biomasa proveniente de diversas actividades (Soria *et al.*, 2016). En este sentido, los biocombustibles son aquellos biocarburantes como alcoholes, éteres, esterres y otros productos químicos que provienen de compuesto orgánicos de base celulósica (biomasa) extraída de plantas silvestres o de cultivo, que sustituyen en mayor o menor parte el uso de la gasolina en el transporte o destinados a producir electricidad. (Salinas-Callejas & Gasca-Quezada, 2009).

### Clasificación

Los biocombustibles pueden hallarse en estado sólido (madera, astillas, pellet, etc.), líquido (bioetanol, biobutanol, biodiésel, bioturbosina) y gaseoso (biogás, syngás); como se muestra en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** *Tipos de biocombustibles de acuerdo a su estado de materia (Salinas-Callejas & Gasca-Quezada, 2009).*

Sólidos	Líquidos	Gaseosos
Madera	Alcoholes	Biogás
Astillas	Biohidrocarburos	Syngás
Paja	Aceites vegetales	Gasógeno
Briquetas	Esteres derivados de aceites vegetales	Hidrogeno
Pellets		
Triturados finos	Aceites de pirolisis	
Carbón vegetal		

Los biocombustibles pueden ser clasificados con base al tipo de materia prima usada para su producción en: biocombustibles de primera, segunda, tercera y cuarta generación (como se muestra en la **Figura 5**).



Figura 5. Clasificación de los biocombustibles líquidos.

Los biocombustibles incluidos en la **primera generación** son aquellos producidos a partir de aceites o azúcares comestibles provenientes de plantas como el maíz, el trigo, la caña de azúcar, el girasol, la canola, la soja y más. El método de obtención depende de la planta de origen: si el contenido de azúcares es alto, se opta por convertirlos en alcoholes por fermentación, como es el caso de la producción de etanol a partir de caña de azúcar. En cambio, si se parte de plantas ricas en grasas o aceites, se apela a una reacción química llamada transesterificación, mediante la cual se combinan dichos aceites con un alcohol para producir ésteres grasos, como el biodiésel (Ramos *et al.*, 2016).

Los biocombustibles de **segunda generación** se obtienen con materias primas que no pueden ser aprovechadas para la alimentación humana, como residuos forestales y agrícolas (bagazo de caña, rastrojo de maíz, paja de trigo, residuos de soja, cascarilla de arroz, entre otros), así como algunos desperdicios industriales (papel, viruta, aserrín, etc.), que tienen elevado contenido de celulosa y lignina, los principales componentes de las paredes celulares de las plantas. El aceite reciclado de cocina se puede considerar materia prima para los

biocombustibles de segunda generación, puesto que ya no tiene uso alimentario. Hay varias formas de producir biocombustibles de segunda generación, de las cuales la vía bioquímica y la termoquímica son las más populares.

Los biocombustibles de **tercera generación** provienen de organismos que pueden utilizar la energía solar y CO<sub>2</sub> para producir su propio alimento, entre estos se encuentran las algas y microalgas, los cuales se pueden cultivar en reactores fotoquímicos o en piletones al aire libre, destacando que estas pueden cultivarse en aguas residuales con alta cantidad de material orgánica.

Finalmente, los biocombustibles de **cuarta generación** son producidos a partir de organismos genéticamente modificados para que capturen más dióxido de carbono del ambiente, por lo que tienen la doble característica de provenir de una fuente alternativa de energía y ser generados por procedimientos que reducen la cantidad de gases de efecto invernadero. Como resultado, se ha alterado por procedimientos de ingeniería genética árboles como el eucalipto para que almacenen hasta tres veces más CO<sub>2</sub> que los normales, y proporcionen una mayor proporción celulosa, lo que se traduce en un incremento de biocombustible producido (Ramos *et al.*, 2016).

## **Biodiésel**

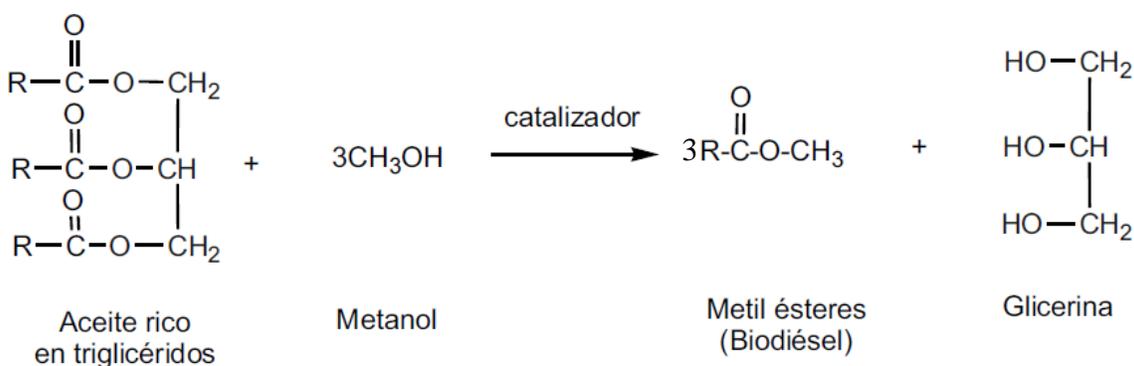
El biodiésel es uno de los biocombustibles líquidos, como también lo son el bioetanol, biobutanol, bioturbosina. Los biocombustibles de mayor interés en México son el biodiésel y la bioturbosina para el reemplazo del diésel y turbosina convencionales, respectivamente (Matos-Ríos *et al.* 2021). Específicamente, el biodiésel, también conocido como éster metílico de ácido graso (FAME, por sus siglas en inglés), es un combustible líquido que se obtiene mediante transesterificación de aceites (ya sean de origen animal o vegetal) (Rojas-González *et al.*, 2011). La definición más aceptada hoy en día para el biodiésel se basa en las especificaciones de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Material Standards, ASTM, por sus siglas en inglés), que determina que el biodiésel es una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga, obtenidos a partir de lípidos de fuentes renovables como los aceites o las grasas vegetales y

animales, con aplicación en motores de ignición (Grande-Tovar, 2014) denominado B100 y que cumplen los requerimientos de la ASTM D 6751 (Vega-Charpentier, 2010).

Para una definición técnica de la mezcla de éste, se puede tomar la utilizada por ASTM, donde el biodiésel mezcla se refiere a una mezcla de biodiésel con el diésel derivado del petróleo y denominado BXX, donde XX representa el porcentaje del volumen de biodiésel en la mezcla. Por ejemplo: B20 significa una mezcla con 20% de biodiésel y 80% de diésel derivado del petróleo (Vega-Charpentier, 2010).

### Métodos de obtención de biodiésel

Aunque hay diversas rutas y formas de obtención de alquil ésteres, la más utilizada actualmente es la transesterificación de triacilglicéridos debido a su bajo costo y simplicidad, en esta se implica la reacción de un mol de triglicérido con tres moles de alcohol de bajo peso molecular en presencia de un catalizador (álcali o ácido) homogéneo o heterogéneo, para producir tres moles de alquil ésteres y una mol de glicerina (véase **Figura 6**). Normalmente, se utiliza un exceso de alcohol para controlar el carácter reversible que esta reacción presenta. (Grande-Tovar, 2014). El alcohol más utilizado es el metanol, razón por la cual otro nombre para el biodiésel es metiléster de ácido graso o FAME (Fatty Acid Methyl Esters) por sus siglas en inglés (Soria *et al.*, 2016).



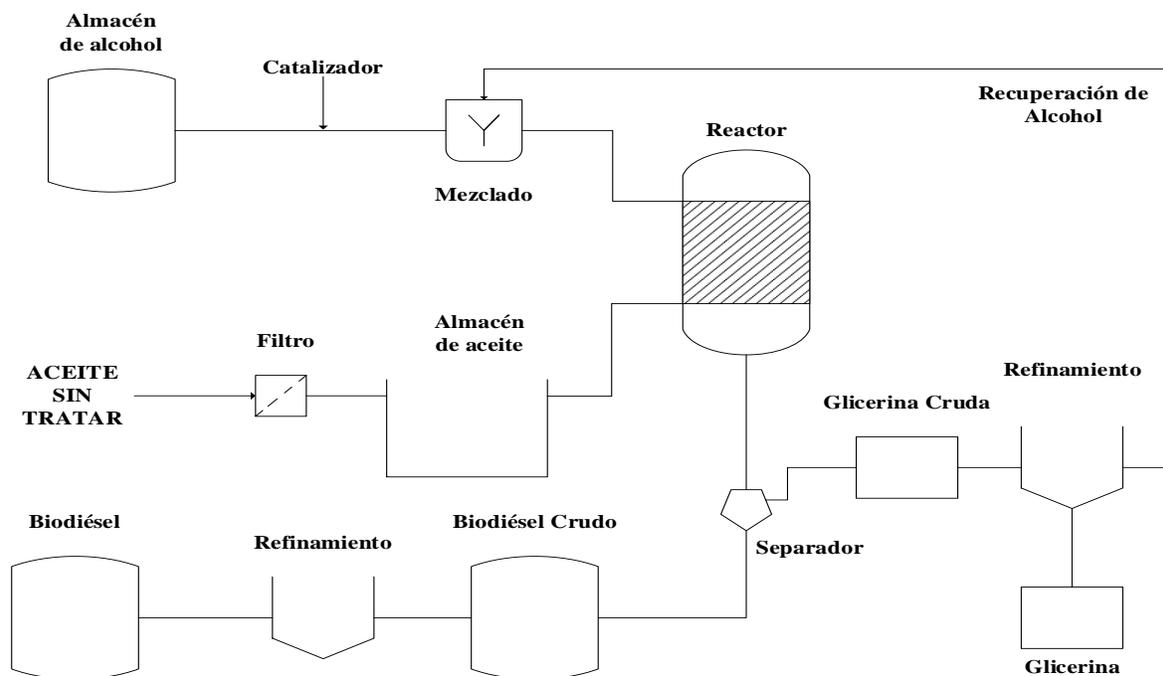
**Figura 6.** Reacción simplificada de la obtención del biodiésel (Grande-Tovar, 2014)

La reacción en realidad es el conjunto de la conversión de un mol de triglicérido a un mol de diglicérido, que a su vez se convierte en monoglicérido el cual libera glicerol. Sin embargo,

en las tres reacciones se libera un mol de monoalquiléster (Grande-Tovar, 2014). Por lo tanto, al final de las tres reacciones, se obtienen tres moles de alquil éster y un mol glicerina, a partir de un mol de triglicérido y tres moles de alcohol (Rojas-González *et al.*, 2011).

Las principales variables que alteran la reacción, específicamente el rendimiento y la conversión, son la calidad y el tipo de la materia prima, la cantidad y el tipo de alcohol, el sistema y la cantidad del catalizador y la temperatura. Uno de los principales aspectos a cuidar en la producción de biodiésel es su costo final, el cual, dependiendo de las fluctuaciones en los precios del petróleo, usualmente resulta mayor que el costo del diésel fósil. Esto se debe a varios factores, entre ellos el tipo de materia prima empleado, así como la tecnología utilizada para la transformación de la materia prima en biodiésel (Gómez-Castro *et al.*, 2019).

En la **Figura 7** se observa el resumen de un proceso productivo de biodiésel que combina la purificación de un aceite crudo, la reacción de transesterificación catalizada con álcali, el centrifugado y la refinación del biodiésel, con resinas de intercambio iónico, el secado y el almacenamiento del biodiésel en una planta de operación (Grande-Tovar, 2014).



**Figura 7.** Producción de biodiésel industrial

## Residuos Orgánicos

En México se generan anualmente 44.6 Millones de toneladas de residuos sólidos urbanos, de las cuales podrían usarse hasta 14 Mt con fines de aprovechamiento energético, lo que representa una gran área de oportunidad en cuanto al potencial de energía que puede ser producida diferentes tecnologías (Rosillo-Pantoja, 2019).

De manera genérica, se pueden distinguir dos categorías de material orgánico para la producción energética:

- **Los residuos orgánicos naturales y artificiales**, liberarán energía durante su proceso de descomposición produciendo dióxido de carbono y metano. Los residuos orgánicos naturales son todos los residuos orgánicos que se generan en el bosque cada año. Los residuos artificiales son residuos orgánicos generados en el sistema económico y en toda la sociedad. Estos desechos se generan en grandes cantidades y consisten en heces de animales y desperdicios de origen humanos, como bien pueden ser desechos agrícolas, desechos municipales, desechos orgánicos, lodos de depuradora, paja, bagazo de caña de azúcar y agave, cáscaras de trigo y arroz, rastrojo de maíz, madera y desechos de papel, virutas, entre otros.
- **Plantaciones o cultivos agro energéticos** inducidos por el ser humano con vistas a su utilización energética o como materias primas para otras industrias. Van desde plantaciones forestales de aprovechamiento rápido, pasando por plantaciones de palmeras, pastos de crecimiento rápido, y cultivos de caña de azúcar y de colza, entre otros.

## Economía circular

El modelo económico popular actual en el mundo es el modelo lineal, que incluye planes basados en la extracción, producción, consumo y disposición final para promover el consumo continuo con bienes y servicios útiles a corto plazo. Esto hace que el modelo sea insostenible desde la producción hasta la disposición final en la cadena antes mencionada. Es en parte debido a esto que surge un nuevo concepto “La economía circular”, la cual no solo trata de buscar una transformación basada en las tres R: "reducir, reutilizar y reciclar"(Santinelli-

Ramos, 2020), sino que tiene por objetivo reducir tanto la entrada de los materiales principales puros como la producción de desecho, cerrando los “ciclos” o flujos económicos y ecológicos de los recursos.

La economía circular tiene como objetivo implantar una economía basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, produciendo bienes y servicios a la vez que se reduce el consumo, desechos y desperdicio de materias primas, agua y energía. La economía circular plantea un modelo económico y productivo caracterizado por la sostenibilidad y el ahorro de recursos y fuentes de energía. Los bienes se producen, se consumen, se reciclan, se producen y se vuelven a consumir, entrando en un ciclo de vida circular. Es un concepto reciente y cada vez más extendido basado en los principios económicos y otros aspectos como el medio ambiente. (Sánchez-Galán, 2016).

### **Larva de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*)**

La *Hermetia illucens*, llamada más comúnmente como Mosca Soldado Negro es un díptero de la familia *Stratiomyidae*, género *Hermetia*. (Cabrera-Gutiérrez & López-Gutiérrez, 2021), son insectos oleaginosos que pueden asimilar residuos orgánicos para la acumulación de grasa, y por lo tanto son útiles para manejar grandes cantidades de biosólidos y, por ende, sirven como materia prima alternativa para la producción de biodiésel (Nguyen *et al.*, 2018A). Las moscas adultas no poseen partes bucales, sistema digestivo o aguijón, por lo que no representa una amenaza para los seres humanos, no son ni una especie molesta ni un vector mecánico de enfermedades, ya que no necesitan alimentarse, sobreviviendo de las reservas de grasa de su etapa larvaria (Wang *et al.*, 2017). Son originarias de América, pero se han ido introduciendo en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo. Su reproducción se lleva a cabo por oviposición, la postura de huevos es pseudo-oothecas, formando hileras de huevos en medios parcialmente cerrados. Sus huevos son cilíndricos con un milímetro de largo aproximadamente. Al nacer las larvas, su color es crema y al crecer su color va cambiando a amarillo, hasta finalmente conseguir el color marrón en su último estado (véase **Figura 8**).



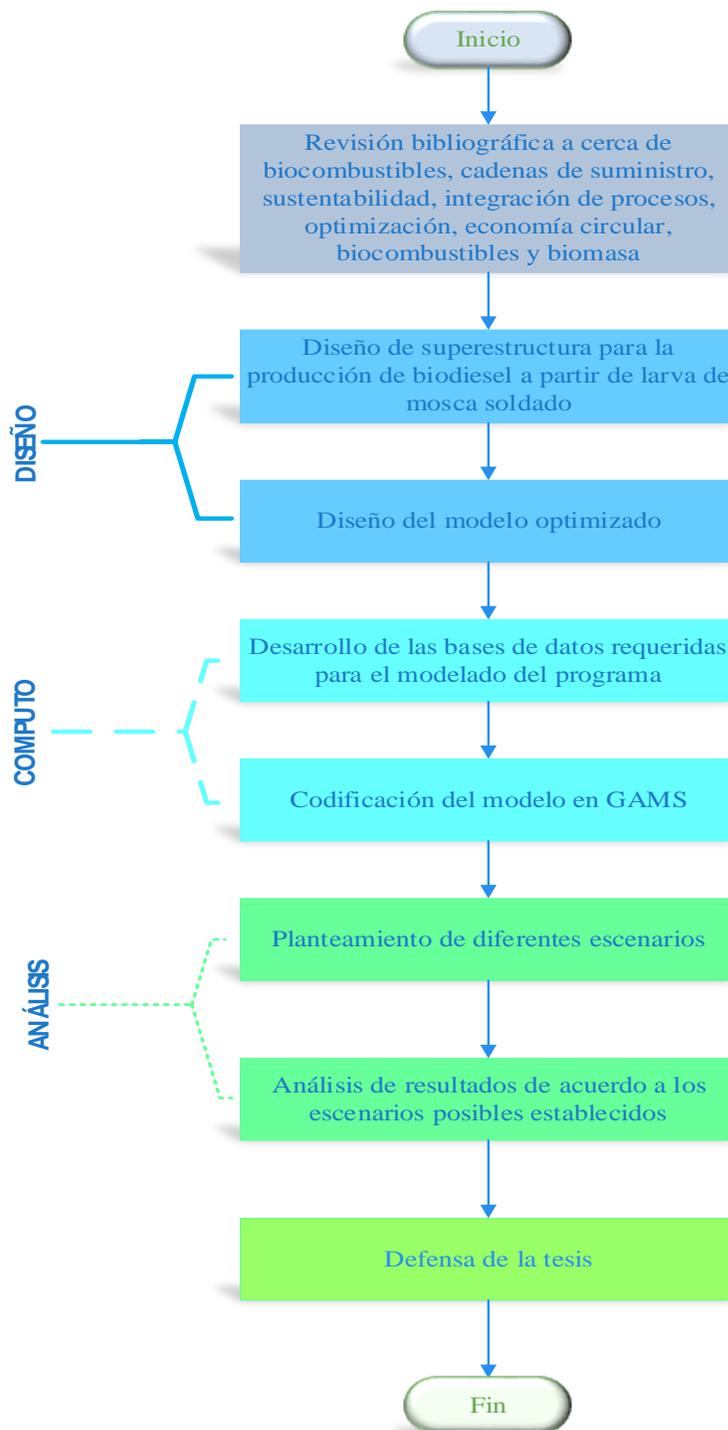
**Figura 8** Larva de mosca soldado negro.

Su ciclo vital se divide en cinco etapas huevos, larvas, pupas, pre pupas y adultos. En estas etapas, la eclosión de huevos y de adultos son más cortas y la etapa larval y pupal son las más largas y las que contribuyen al máximo al ciclo de vida.

Se reporta que las larvas contienen en promedio 40-44% de proteínas brutas y 35-40% de lípidos. Las ventajas distintivas del insecto energético son la tasa de crecimiento rápido, alta producción de biomasa, menos tiempo de crecimiento y bajo uso de la tierra. Además, pueden cultivarse en diferentes medios, los cuales pueden mitigar el problema de la contaminación (Wang *et al.*, 2017).

## METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología que se plantea seguir para la realización de la presente tesis (véase **Figura 9**) así como la descripción de cada etapa.



**Figura 9** Diagrama de flujo de la metodología

1. Se realizó una revisión bibliográfica amplia acerca de los biocombustibles, cadenas de suministro, sustentabilidad, integración de procesos, optimización, economía circular, residuos, biomasa, biocombustibles y biodiésel.
2. Se diseñó una superestructura de la cadena de suministro para la producción de biodiésel a partir de larva de mosca soldado, considerando la recolección de la materia prima (residuos orgánicos), centros de acopio, distancias, localización de centros de biotransformación, así como líneas de distribución.
3. De acuerdo a la superestructura generada, se procedió a hacer un modelo de optimización matemática para la cadena de suministro del biodiésel, a partir de la larva de mosca soldado.
4. Se investigaron los parámetros necesarios para generar las bases de datos que se requerirán en el modelado del programa, como bien son la cantidad de residuos orgánicos por estado, entre otros.
5. Seguido de esto, se procedió a la codificación el modelo propuesto en la plataforma de GAMS.
6. Se plantearon diferentes escenarios, los cuales fueron analizados mediante la codificación previamente descrita. En cada uno de los ensayos realizados fueron evaluados los impactos ambiental y económico.
7. Se llevó a cabo el análisis y reporte de resultados obtenidos a través de diagramas de flujo óptimos de la cadena de suministro obtenidos.
8. Defensa de la tesis.

## Planteamiento del Problema

La demanda energética aumenta continuamente debido al rápido crecimiento de la población y al desarrollo de la industrialización. En un año el ser humano consume lo que la naturaleza ha tarda años en producir. Es así pues que el desarrollo de las fuentes de energía no va a la par del consumo energético. La mayor demanda de energía se compensa a partir de fuentes de energía convencionales como el carbón, el petróleo, el gas natural, etc. (Zobaa & Bansal, 2011). De acuerdo con la Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC), México emitió 804 millones de toneladas de CO<sub>2</sub><sup>eq</sup> en 2020, del total de las emisiones contaminantes que

genera México, 64% corresponden al consumo de combustibles fósiles (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018). Particularmente, el consumo de diésel nacional fue de 2,611 mil barriles diarios para el año 2020, en concreto, por cada litro de combustible quemado un motor diésel genera unos 2,65 kg de CO<sub>2</sub> (Roncero, 2013), traducándose en 58,035 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anualmente.

Ante dicha problemática, han surgido diferentes alternativas para poder solventar la demanda de diésel, así como disminuir las emisiones provocadas por este; entre estas destacan los biocombustibles, como es el caso del biodiésel, sin embargo, la materia prima empleada hasta hoy en día a escala industrial proviene de cultivos alimentarios y/o residuos de aceite, principalmente, por consiguiente, al emplear este tipo de materia se genera un incremento en los costos. Es por todas estas cuestiones que se busca implementar diferentes alternativas de materias primas para la producción de biodiésel, como es el caso del aceite generado a partir de la biotransformación de las larvas de *Hermetia illucens*.

Por eso, en el presente trabajo se presenta una cadena de suministro que atiende la demanda de diésel a través del aceite de larva, el cual a su vez revaloriza los residuos orgánicos generados por la población, además de la reducción de emisiones provocadas por estos en los vertederos o rellenos sanitarios, puesto que se plantea que la materia prima para la obtención final de biodiésel parta de darle un uso a dichos residuos, los cuales fomentaran la crianza de las larvas y posteriormente serán convertidas mediante procesos industriales a aceite y en consecuencia este a biodiésel.

## SUPERESTRUCTURA

Como primera instancia, el esquema generado para el establecimiento del modelo matemático se basó a través de la superestructura diseñada, en donde se muestra el flujo que recorrerían los residuos orgánicos hasta el punto final, los puntos de venta (véase **Figura 10**). Los residuos orgánicos en los rellenos sanitarios o vertederos de cada uno de los estados, designados con la variable “i”, pasarán a ser recolectados en estos puntos y posteriormente transportados hasta las plantas de biotransformación, nombrados con la variable “j”, donde serán tratados con larvas de mosca soldado negra con el fin de obtener como producto el aceite de estas últimas. Seguido a esto, el aceite será enviado a las plantas de producción de biodiésel, designadas con la variable “k”, así como el diésel convencional, proveniente de las refinerías nacionales, designadas con la variable “s”, es en este punto donde se generará la mezcla B20, y finalmente está, será enviada a los puntos de distribución en cada uno de los estados, indicado con la variable “l”, como bien pueden ser las gasolineras.

Cabe destacar que se contempla el escenario donde la demanda no sea satisfecha totalmente por la mezcla de biodiésel, por lo cual también a los puntos de distribución llegan flujos de diésel convencional provenientes de las refinerías nacionales, tanto como las exportaciones, para compensar la demanda no satisfecha.

Así mismo, el dominio de cada una de las variables se muestran en la **Tabla 4**:

**Tabla 4.** *Relación de dominio de cada una de las variables consideradas.*

Variable	Dominio	Consideraciones
I	1:32	Considera todos los estados de la República Mexicana
J	1:32	Considera todos los estados de la República Mexicana
K	1:32	Considera todos los estados de la República Mexicana
L	1:32	Considera todos los estados de la República Mexicana
S	1:6	Considera las 6 refinerías existentes en la República Mexicana

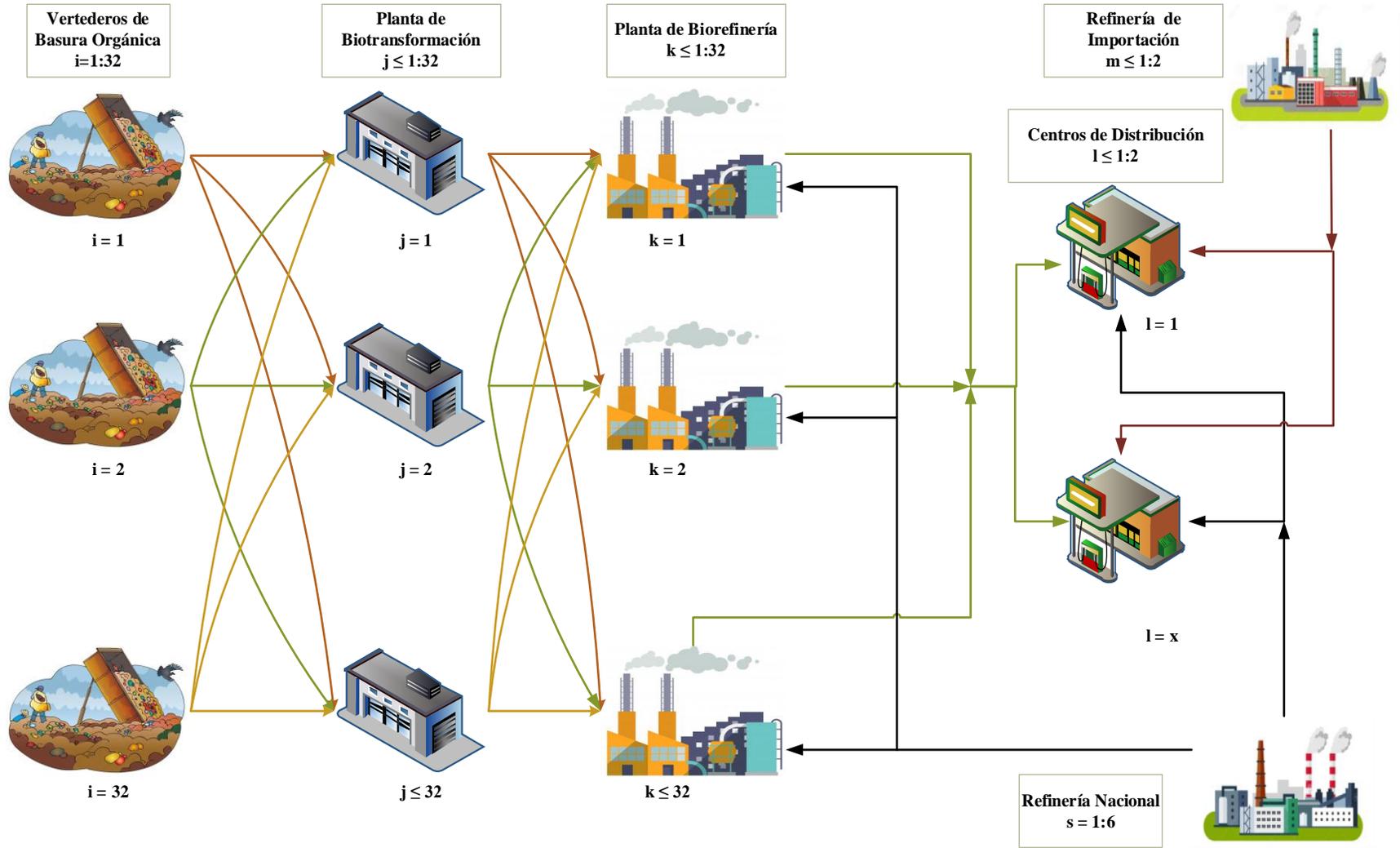


Figura 10. Superestructura del proceso

## MODELO MATEMÁTICO

Como caso de estudio se planteó realizar la configuración de la cadena de suministro de biodiésel a partir de la larva de mosca soldado negra a nivel nacional, considerando las relaciones entre los vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU), la producción de larvas de mosca soldado negra y finalmente la producción del biodiésel a partir de estas últimas, en este sentido se considera la aplicación a nivel estatal, por ello “ $i$ ” puede ocupar valores de (1-32) que representan los 32 estados de la república. La planificación se lleva a cabo por semana, las cuales están representadas por “ $t$ ”, tomando valores de (1-52). El modelo de optimización propuesto se describe a continuación, cabe resaltar que en el modelado matemático se determina el impacto ambiental, económico y social en cada estado.

En cada ecuación, el símbolo  $\forall$  se utiliza para definir los índices para los que la ecuación es válida, mientras que el símbolo  $\in$  se utiliza para indicar el sistema que contiene los subíndices considerados. Así mismo las unidades de todos los flujos manejados están dadas en toneladas por semana.

### BALANCES DE MASA

#### ❖ Balance de Masa para los Residuos

##### Balance del Flujo de Residuos Orgánicos

En la **Ecuación 1** se calcula el flujo de residuos orgánicos ( $FO_{i,t}^w$ ) disponible en cada sitio considerado, a partir de la multiplicación del flujo de residuos total ( $FR_{i,t}^{Tot}$ ) por la fracción de residuos orgánicos ( $\alpha_i^{Sep-or}$ ), cuyo factor varía dependiendo del estado. En la **Tabla 5** se presentan los valores del factor para cada estado.

$$FO_{i,t}^w \leq FR_{i,t}^{Tot} \times \alpha_i^{Sep-or} \quad \forall \quad i \in I, t \in T \quad (1)$$

El valor de la fracción de residuos orgánicos por semana se calculó a partir de los datos reportados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales 2019, donde se reporta la cantidad de residuos sólidos urbanos de cada estado, así como la fracción de residuos orgánicos que pertenecen a estos, por lo que al dividir el valor de los residuos orgánicos entre los residuos sólidos urbanos totales de cada estado se obtiene el factor  $(\alpha_i^{\text{Sep-or}})$ .

**Tabla 5.** Factor de basura orgánica de cada estado

ESTADO	FACTOR (B.O/BASURA)	ESTADO	FACTOR (B.O/BASURA)
Aguascalientes	3.90E-02	Morelos	8.51E-04
Baja California	3.90E-02	Nayarit	1.12E-03
Baja California Sur	3.90E-02	Nuevo León	3.90E-02
Campeche	3.90E-02	Oaxaca	1.67E-02
Chiapas	3.13E-03	Puebla	2.18E-03
Chihuahua	7.12E-04	Querétaro	4.89E-03
Coahuila de Zaragoza	3.90E-02	Quintana Roo	1.51E-04
Colima	2.41E-03	San Luis Potosí	2.58E-04
Ciudad de México	2.44E-01	Sinaloa	3.90E-02
Durango	3.90E-02	Sonora	2.44E-03
Estado de México	5.83E-03	Tabasco	3.90E-02
Guanajuato	2.23E-02	Tamaulipas	9.30E-05
Guerrero	3.90E-02	Tlaxcala	2.61E-03
Hidalgo	6.43E-03	Veracruz	2.13E-02
Jalisco	1.05E-02	Yucatán	5.70E-04
Michoacán	3.42E-03	Zacatecas	1.75E-04

Balance Distribución del Flujo de Residuos Orgánicos

La **Ecuación 2** representa el balance total de los residuos orgánicos, donde se contempla los intercambios de flujos realizado entre los estados desde lo sitios de generación (i) hacia las plantas de biotransformación (j), contemplando además el flujo de residuos que no se utilizan, los cuales son enviados a los rellenos sanitarios. El flujo de los residuos orgánicos disponibles ( $FO_{i,t}^w$ ) será igual a la sumatoria del flujo de residuos orgánicos enviados de (i) a (j) ( $FS_{i,j,t}^{ow}$ ) más el flujo de residuos orgánicos enviados al relleno sanitario de cada estado (i) ( $R_{i,t}^{RELLENO}$ ).

$$FO_{i,t}^w = \sum_j FS_{i,j,t}^{ow} + R_{i,t}^{RELLENO}, \quad \forall \quad i \in I, t \in T \quad (2)$$

Balance del Flujo de R.O. Recibidos en Cada P.B.

El balance 3 (**Ecuación 3**) calcula el flujo de residuos orgánicos recibidos en cada planta de biotransformación (j) en la semana (t). Donde ( $FO_{j,t}^{w-rec}$ ) representa el flujo de residuos orgánicos recibidos en cada planta de biotransformación (P.B) por semana.

$$FO_{j,t}^{w-rec} = \sum_i FS_{i,j,t}^{ow}, \quad \forall \quad j \in J, t \in T \quad (3)$$

❖ **Balances de Masa para el Aceite**Balance de Aceite Extraído

La **Ecuación 4** calcula el flujo de aceite extraído en cada planta de biotransformación (j) por semana (t) ( $BO_{j,t}^{Ex}$ ), el cual se obtiene al multiplicar el flujo de residuos orgánicos recibidos en cada una de las plantas de biotransformación ( $FO_{j,t}^{w-rec}$ ) instaladas por el factor de rendimiento del aceite extraído ( $\beta^{B.Q.}$ ).

$$BO_{j,t}^{Ex} = FO_{j,t}^{w-rec} \cdot \beta^{B.Q.}, \quad \forall \quad j \in J, t \in T \quad (4)$$

El factor de rendimiento de aceite extraído fue considerado a partir de la investigación reportada por Elsayed et al. (2020).

#### Balance de Distribución del Flujo de Aceite

En el balance 5 (**Ecuación 5**) se obtiene el seguimiento entre los flujos de aceite transportado a la planta de producción de biodiésel (P. Prod. Bio.) para satisfacer la demanda de cada sitio (j). El flujo de aceite extraído de cada planta de biotransformación (j) es igual a la sumatoria del flujo de aceite transportado de la planta de biotransformación (j) a la planta de producción biodiésel (k) representado por  $(TA_{j,k,t}^{trans-oil})$ .

$$BO_{j,t}^{Ex} = \sum_k TA_{j,k,t}^{trans-oil}, \quad \forall \quad j \in J, t \in T \quad (5)$$

#### Balance del Flujo de Aceite Recibido en Cada P. Prod. Bio.

El flujo de aceite recibido  $(Ac_{k,t}^{rec})$  de cada planta de producción de biodiésel (k) en la semana (t), se obtiene de la sumatoria del flujo de aceite transportado a la planta de producción biodiésel (k), como se ejemplifica en la **Ecuación 6**.

$$\sum_j TA_{j,k,t}^{trans-oil} = Ac_{k,t}^{rec}, \quad \forall \quad k \in K, t \in T \quad (6)$$

### ❖ Balance de masa para el biodiésel

#### Balance del Flujo de Biodiésel Puro Producido

El flujo de biodiésel puro producido ( $FBio_{k,t}^{Prod}$ ) en cada planta de producción de biodiésel (k) se obtiene a partir del flujo de aceite recibido en cada planta de producción de biodiésel ( $Ac_{k,t}^{rec}$ ) por el factor de rendimiento de biodiésel puro producido ( $\mu$ ), el balance descrito anteriormente se muestra en la **Ecuación 7**.

$$FBio_{k,t}^{Prod} = Ac_{k,t}^{rec} \cdot \mu, \quad \forall \quad k \in K, t \in T \quad (7)$$

El factor de rendimiento del biodiésel puro fue tomado Elsayed et al. (2020).

#### Balance de Distribución de Biodiésel puro

El balance 8 (**Ecuación 8**) representa la distribución del flujo de biodiésel puro producido en cada sitio (k) en la semana (t). El flujo del transporte de biodiésel puro será igual a la sumatoria del flujo de biodiésel puro enviado desde la planta de producción de biodiésel (k) a la planta de mezcla (l) ( $FBio_{k,l,t}^{Sent}$ ).

$$FBio_{k,t}^{Prod} = \sum_l FBio_{k,l,t}^{Sent}, \quad \forall \quad k \in K, t \in T \quad (8)$$

#### Balance del Flujo de Biodiésel Puro para ser Usado

La **Ecuación 9** obtiene el flujo de biodiésel puro para ser usado en cada sitio (l) por cada semana (t) ( $FBPPSU_{l,t}$ ), el cual es igual a la sumatoria del flujo de biodiésel puro enviado desde la planta de producción de biodiésel (k) a la planta de mezcla (l) por cada semana (t).

$$\sum_k FBio_{k,l,t}^{Sent} = FBPPSU_{l,t}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (9)$$

### Balance sobre la Relación de Flujo de Biodiésel con el Diésel Convencional

De acuerdo a la **Ecuación 10**, donde se establece la relación del flujo de diésel convencional que se requiere para la mezcla de biodiésel ( $DCNM_{l,t}$ ) en cada sitio ( $l$ ) por cada semana ( $t$ ), el cual es igual a el flujo de biodiésel puro para ser usado por el factor de biodiésel ( $\nu$ ) entre el factor de diésel convencional ( $\phi^{D.C}$ ).

$$DCNM_{l,t} = FBPPSU_{l,t} \cdot \nu / \phi^{D.C}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (10)$$

Cada factor representa la fracción de diésel o biodiésel en la mezcla, para este caso B20 (20% biodiésel y 80% de diésel). Este valor es tomado en consideración al tipo de mezclas que se han manejado por mandato en países como Estados Unidos y Brasil, puesto que México carece de mandatos que establezcan objetivos de producción de biodiésel o de obligación de mezclado (Ley de Transición Energética (LTE) y prospectivas elaboradas por la SENER) (Haupt *et al.*, 2010).

#### ❖ Balance de masa para la mezcla

##### Balance de Biodiésel en Mezcla

La **Ecuación 11** obtiene el flujo de biodiésel en mezcla para su uso comercial en cada planta ( $l$ ) por semana ( $t$ ) ( $FBio_{l,t}^{Mix}$ ) considerando el flujo de diésel convencional requerido para la mezcla más el flujo de biodiésel puro para ser usado en cada sitio ( $l$ ).

$$FBio_{l,t}^{Mix} = DCNM_{l,t} + FBPPSU_{l,t}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (11)$$

### Balance de la Distribución de Biodiésel en Mezcla

En la **Ecuación 12** se calcula la distribución del flujo de biodiésel en mezcla a cada estado ( $FDBio_{l,M,t}^{Sent}$ ), en caso de que la demanda sea mayor en el sitio (l) que en el sitio (M), o que no se llegue a requerir de ella.

$$FBio_{l,t}^{Mix} = \sum_M FDBio_{l,M,t}^{Sent}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (12)$$

### Balance de biodiésel en mezcla disponible

El flujo de biodiésel en mezcla disponible en cada planta (l) ( $FBio_{l,t}^{Disponible}$ ) se representa en la **Ecuación 13**, el cual equivale al flujo de biodiésel en mezcla recibido ( $FBio_{l,t}^{Mix-rec}$ ).

$$FBio_{l,t}^{Disponible} = FBio_{l,t}^{Mix-rec}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (13)$$

### Balance de Biodiésel en Mezcla Recibido

La **Ecuación 14** calcula el flujo de biodiésel en mezcla recibido de otro estado al sumar el flujo distribuido de biodiésel en mezcla enviado a la planta (l) desde la planta (M) en la semana (t), esta ecuación se emplea con el fin de seguir la distribución de los flujos, en caso de que ocurriese un intercambio de estos.

$$FBio_{l,t}^{Mix-rec} = \sum_M FDBio_{l,M,t}^{Sent}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (14)$$

### ❖ Balance de masa para el diésel

#### Balance de Transporte de Diésel Convencional del sitio (s) a (l) para la Mezcla

La **Ecuación 15** describe el balance del flujo de diésel convencional recibido en cada planta (l) considerando el intercambio de los flujos de diésel convencional que ocurren desde las refinerías (s) a las plantas de mezclado de biodiésel (l) ( $FDCT_{s,l,t}$ ).

$$DCNM_{l,t} = \sum_s FDCT_{s,l,t}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (15)$$

#### Balance de Distribución de Diésel Convencional para Satisfacer la Demanda solo con Diésel Convencional

En la **Ecuación 16** se obtiene el flujo de diésel convencional transportado ( $FDiet_{s,l,t}$ ) de cada refinería (s) a cada estado (l), este balance indica el flujo de diésel convencional que es usado para satisfacer la demanda únicamente con el diésel convencional en los casos donde no se llegue a instalar una planta de producción de biodiésel.

$$DCC_{l,t}^{Conv} = \sum_s FDiet_{s,l,t}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (16)$$

#### Demanda de diésel

La **Ecuación 17** calcula la demanda total de diésel ( $DD_{l,t}$ ) en cada sitio (l), al integrar un factor de consumo ( $FC_{l,t}$ ) por sitio (l) así como por semana (t) y multiplicarlo por la población ( $POP_{l,t}$ ) que emplea un transporte con uso de diésel de cada sitio (l).

$$DD_{l,t} = FC_{l,t} \times \text{POPU}_l, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (17)$$

El factor de consumo ( $FC_{l,t}$ ) fue calculado considerando el total de personas con auto a motor diésel (INEGI, 2019) y el valor de la demanda de diésel convencional reportado por la Secretaria de Energía en 2020 [0.004 ton/semana #personas]. El valor de la población (POPU) se muestra en la **Tabla 6** (INEGI, 2021).

**Tabla 6.** Población de cada estado que tiene registrado un carro que emplea diésel como combustible.

ESTADO	POPU	ESTADO	POPU
Aguascalientes	648,759	Morelos	905,051
Baja California	1,799,151	Nayarit	475,446
Baja California Sur	529,680	Nuevo León	2,385,644
Campeche	310,299	Oaxaca	726,322
Chiapas	935,563	Puebla	1,553,518
Chihuahua	1,672,105	Querétaro	785,570
Coahuila de Zaragoza	970,099	Quintana Roo	867,895
Colima	355,900	San Luis Potosí	1,243,194
Ciudad de México	6,084,903	Sinaloa	1,272,755
Durango	626,728	Sonora	1,444,942
Estado de México	8,455,028	Tabasco	620,335
Guanajuato	2,144,119	Tamaulipas	1,225,196
Guerrero	1,235,599	Tlaxcala	479,825
Hidalgo	661,778	Veracruz	2,138,830
Jalisco	3,910,903	Yucatán	873,132
Michoacán	2,741,629	Zacatecas	514,384

Satisfacción de la demanda de diésel

En la **Ecuación 18** se calcula la demanda máxima de diésel en cada sitio (l) el cual debe ser mayor o igual al flujo de combustible convencional ( $DCC_{l,t}^{Conv}$ ) de cada sitio (l) más al flujo de biocombustible en disponible en cada sitio (l).

$$DD_{l,t} \leq DCC_{l,t}^{Conv} + FBio_{l,t}^{Disponible}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (18)$$

❖ **Restricciones**Flujo de residuos sólidos urbanos

La **Ecuación 19** restringe el flujo de residuos ( $FR_{i,t}^{Tot}$ ) que pueden considerarse para la planta de biotransformación, los cuales no pueden exceder al flujo máximo de residuos producidos en cada estado ( $FR_{i,t}^{TotMax}$ ).

$$FR_{i,t}^{Tot} \leq FR_{i,t}^{TotMax}, \quad \forall \quad i \in I, t \in T \quad (19)$$

El flujo máximo de residuos es el valor obtenido de acuerdo a la cantidad de residuos sólidos urbanos producidos en cada estado (véase **Tabla 7**) con base a los datos reportados por el INEGI en el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales 2019.

Tabla 7. Cantidad de residuos sólidos urbanos reportada en cada uno de los estados.

ESTADO	BASURA (TON/SEM)	ESTADO	BASURA (TON/SEM)
Aguascalientes	6,835	Morelos	10,693
Baja California	22,435	Nayarit	12,497
Baja California Sur	7,604	Nuevo León	35,817
Campeche	5,240	Oaxaca	15,015
Chiapas	21,442	Puebla	27,987
Chihuahua	27,509	Querétaro	13,735
Coahuila de Zaragoza	18,103	Quintana Roo	20,341
Colima	5,570	San Luis Potosí	13,5601
Ciudad de México	106,161	Sinaloa	22,787
Durango	9,520	Sonora	17,403
Estado de México	84,113	Tabasco	12,966
Guanajuato	31,370	Tamaulipas	22,560
Guerrero	16,291	Tlaxcala	8,033
Hidalgo	14,608	Veracruz	40,031
Jalisco	56,367	Yucatán	10,0756
Michoacán	24,716	Zacatecas	7,995

#### Instalación de la planta de biotransformación

El modelo puede definir si es necesaria la instalación de al menos una planta de transformación en cada estado (**Ecuación 20**), dicha decisión está basada en la cantidad de residuos ( $FO_{j,t}^{w-rec}$ ) a procesar (**Ecuación 21**), siendo este una restricción para la existencia o no de cada planta. Si el flujo recibido se encuentra entre los límites mínimos ( $FRO_{j,c}^{rec-low}$ ) y máximos ( $FRO_{j,c}^{rec-high}$ ), entonces la variable binaria ( $x_{j,c}^{or}$ ) toma el valor de uno y la planta se instala (**Ecuación 22**).

$$\sum_c x_{j,c}^{or} \leq 1, \quad \forall \quad j \in J \quad (20)$$

$$\sum_t FOW_{j,t}^{w-rec} = \sum_c FOW_{j,c}, \quad \forall \quad j \in J \quad (21)$$

$$FRO_{j,c}^{rec-low} \cdot x_{j,c}^{or} \leq FOW_{j,c} \leq FRO_{j,c}^{rec-up} \cdot x_{j,c}^{or}, \quad \forall \quad j \in J, c \in C \quad (22)$$

Los límites establecidos como  $(FRO_{j,c}^{rec-low})$  y  $(FRO_{j,c}^{rec-up})$  se muestran en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.** Límites superior e inferior de las plantas de biotransformación instaladas de acuerdo a los 3 diferentes tipos de capacidad considerada.

	CAPACIDAD		
	5,000	10,000	20,000
$(FRO_{j,c}^{rec-low})$	38,999.85	260,052	520,052
$(FRO_{j,c}^{rec-up})$	260,000	520,000	1,040,000

### Instalación de la planta de producción de biodiésel

De manera similar el modelo puede definir si es necesaria la instalación de al menos una planta de producción de biodiésel en cada estado (**Ecuación 23**), dicha decisión está basada en la cantidad de aceite  $(Ac_{k,t}^{rec})$  a procesar (**Ecuación 24**), siendo este una restricción para la existencia o no de cada planta. Si el flujo recibido se encuentra entre los límites mínimos  $(FAC_{k,c}^{Low})$  y máximos  $(FAC_{k,c}^{Up})$ , entonces la variable binaria  $(y_k^{Ac})$  toma el valor de uno y la planta se instala (**Ecuación 25**).

$$\sum_c y_{k,c}^{Ac} \leq 1, \quad \forall \quad k \in K \quad (23)$$

$$\sum_t Ac_{k,t}^{rec} = \sum_c FAC_{k,c}^{rec}, \quad \forall \quad k \in K \quad (24)$$

$$FAC_{k,c}^{Low} y_{k,c}^{Ac} \leq FAC_{k,c}^{rec} \leq FAC_{k,c}^{Up} y_{k,c}^{Ac}, \quad \forall \quad k \in K \quad (25)$$

Los límites establecidos como  $(FAC_{k,c}^{Low})$  y  $(FAC_{k,c}^{Up})$  se muestran en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.** Límites superior e inferior de las plantas de producción de biodiésel instaladas de acuerdo a los 3 diferentes tipos de capacidad que se consideraron.

	CAPACIDAD		
	2,587	5,175	10,350
$(FAC_{k,c}^{Low})$	13,452.4	134,552	2,691,052
$(FAC_{k,c}^{Up})$	134,524	269,100	588,200

## COSTOS

### ❖ Costo capital de la planta de biotransformación

La **Ecuación 26** calcula el costo capital de la planta de biotransformación  $(CC_{j,c}^{BiotranP})$  en caso de que exista. Toma en cuenta el costo fijo de cada planta de biotransformación  $(C_{j,c}^F)$  multiplicado por la variable binaria  $(x_{j,c}^{or})$  que dicta la existencia de la planta, sumado al costo variable de cada planta de biotransformación  $(C_{j,c}^{V-Btras})$  multiplicado por la sumatoria del flujo de residuos orgánicos recibidos localmente o de otros estados en cada P. Bio.  $(FO_{j,t}^{w-rec})$ .

$$CC_{j,c}^{BiotranP} = x_{j,c}^{or} \cdot C_{j,c}^F + C_{j,c}^{V-Btras} \cdot FOW_{j,c}, \quad \forall \quad j \in J, c \in C \quad (26)$$

Los costos fijos y variables para cada una de las plantas fueron considerados a partir de cálculos realizados tomando como base una planta de capacidad de 70 toneladas/semana establecida en el año 2021, con costos fijos y variables de \$ 100,150.23 y \$ 42,921.53 respectivamente. La **Tabla 10** muestra los costos para cada planta considerada en este análisis.

**Tabla 10.** Costos fijos y variables establecidos para cada uno de los 3 diferentes capacidades de plantas de biotransformación consideradas.

	CAPACIDAD		
	5,000	10,000	20,000
$(C_{j,c}^F)$	\$ 3,345	\$ 5,071	\$ 7,686
$(C_{j,c}^{V-Btras})$	\$ 15	\$ 13	\$ 10

#### ❖ Costo capital de la planta de producción de biodiésel

En la **Ecuación 27** se obtiene el costo capital de la planta de producción de biodiésel  $(CPB_{k,c}^{BioP})$  en caso de que exista, al integrar el costo fijo de cada P. Prod. Bio.  $(C_{k,c}^{FPB})$  multiplicado por la variable binaria  $(y_{k,c}^{Ac})$  que dicta la existencia de la planta, sumado al costo variable asociada a cada P. Prod. Bio.  $(C_{k,c}^{VPB})$  multiplicado por el flujo de aceite recibido en cada planta de biodiésel instalada  $(FAC_{k,c}^{rec})$ .

$$CPB_{k,c}^{BioP} = y_{k,c}^{Ac} \cdot C_{k,c}^{FPB} + C_{k,c}^{VPB} \cdot FAC_{k,c}^{rec}, \quad \forall \quad k \in K, c \in C \quad (27)$$

Los costos fijos y variables para cada una de las plantas de producción de biodiésel fueron considerado a partir de cálculos realizados tomando como base una planta de capacidad de 1,892.26 toneladas/semana establecida en el año 2010, con costos fijos y variables de \$ 54,547,000 y \$13,960,646 respectivamente, además de emplear un valor de CEPCI de 652.59 para el año 2021. Los valores calculados para las plantas con capacidades consideradas de 2,587 toneladas/semana, 5,175 toneladas/semana y 10,350 toneladas/semana, son los mostrados en la **Tabla 11**.

**Tabla 11.** Costos fijos y variables establecidos para cada uno de los 3 diferentes capacidades de plantas de producción de biodiésel consideradas.

	CAPACIDAD		
	2,587	5,175	10,350
$(C_{k,c}^{FPB})$	\$ 2,951,899	\$ 3,343,662	\$ 4,706,839
$(C_{k,c}^{VPB})$	\$ 215	\$ 150	\$ 90

#### ❖ Costo por depósito de residuos en relleno sanitario

En el **balance 28 (Ecuación 28)** se obtiene el costo por depósito de los residuos orgánicos en relleno sanitario de cada estado ( $i$ ) ( $COST_{i,t}^{Relleno}$ ), el cual se obtiene al multiplicar el flujo de residuos orgánicos enviados al relleno sanitario ( $R_{i,t}^{Relleno}$ ) por un costo de almacenamiento ( $CTR^{Relleno}$ ) de estos mismos.

$$COST_{i,t}^{Relleno} = R_{i,t}^{Relleno} \cdot CTR^{Relleno}, \quad \forall \quad i \in I, t \in T \quad (28)$$

El parámetro de costo por depósito de los residuos orgánicos en relleno sanitario, cuyo valor es de \$ 1,915/tonelada de residuos fue tomado de los datos reportados por Veolia (2021).

#### ❖ Costo de transporte por residuos orgánicos

La **Ecuación 29** calcula el costo total del transporte de los residuos orgánicos en cada planta de biotransformación ( $j$ ) en la semana ( $t$ ). Donde ( $CTR_{j,t}^{Or}$ ) representa el costo generado por el transporte de residuos orgánicos, este se obtiene al multiplicar el costo de transporte por residuos orgánicos ( $CT_{i,j}^{ro}$ ) por la sumatoria del flujo de residuos orgánicos enviados del sitio ( $i$ ) al sitio ( $j$ ) ( $FS_{i,j,t}^{ow}$ ).

$$CTR_{j,t}^{Or} = \sum_i FS_{i,j,t}^{ow} \cdot CT_{ij}^{ro}, \quad \forall \quad j \in J, t \in T \quad (29)$$

El costo de transporte de residuos orgánicos considerado fue de MXN 1.70/ km (\$ 0.09/ km), cuyo valor fue consultado de Riegelhaupt et al. (2016). Este valor fue multiplicado por cada valor correspondiente a la distancia entre cada estado (véase **Anexo 1**).

#### ❖ Costo de transporte de aceite

La siguiente ecuación (**Ecuación 30**) calcula el costo generado por el transporte de aceite ( $CTAc_{k,t}$ ) hasta el sitio (k) al multiplicar el precio del transporte de aceite ( $PTAc_{j,k,t}$ ) desde el sitio (j) hasta el sitio (k) por la sumatoria del flujo de aceite transportado de la planta de biotransformación (j) a la plata de producción de biodiésel (k) ( $TA_{j,k,t}^{trans-oil}$ ).

$$CTAc_{k,t} = \sum_j TA_{j,k,t}^{trans-oil} \cdot PTAc_{j,k,t}, \quad \forall \quad k \in K, t \in T \quad (30)$$

El costo generado por el transporte de aceite de acuerdo con un análisis elaborado por GasGas Analytics (2020), este parámetro se multiplico por cada una de las distancias recorridas entre cada estado (véase **Anexo 2**).

#### ❖ Costo por transporte de diésel convencional

En la **Ecuación 31** se calcula el costo que conlleva la satisfacción de la demanda de combustible en cada sitio ( $CTDC_{l,t}$ ), incluye el costo de transporte y el costo por cada tonelada (precio) (no se considera biocombustible), al considerar el flujo de diésel convencional ( $DCC_{l,t}^{Conv}$ ) multiplicado por el precio de diésel convencional ( $PDC_1^{Bio-Mix}$ )

sumado a el precio del transporte de diésel ( $PTDC_1^{\text{Bio-Plant}}$ ) por el flujo de diésel convencional transportado de cada sitio (l) a (s) ( $FDiet_{s,l,t}$ ).

$$CTDC_{l,t} = DCC_{l,t}^{\text{Conv}} \cdot PDC_1^{\text{Bio-Mix}} + \sum_s FDiet_{s,l,t} \cdot PTDC_{s,l}^{\text{Bio-Plant}}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (31)$$

El valor asignado para el parámetro de ( $PDC_1^{\text{Bio-Mix}}$ ) fue de \$ 400/ton, mientras que para el parámetro ( $PTDC_1^{\text{Bio-Plant}}$ ) fue de MXN 1.70/ km (\$ 0.09/ km), cuyo valor fue consultado en Riegelhaupt et al. (2016), este fue multiplicado por las distancias entre cada refinera con respecto a cada uno de los estados del país (véase **Anexo 3**).

#### ❖ Costo por transporte de biodiésel puro

El costo generado por el transporte de biodiésel puro ( $CTBio_{l,t}^{\text{Puro}}$ ) se calcula a partir de la **Ecuación 32**, multiplicando el precio por el transporte de biodiésel puro ( $PTBio_{k,l,t}^{\text{Puro}}$ ) desde el sitio (k) al sitio (l) por la sumatoria del flujo de biodiésel puro enviado a cada planta de mezcla ( $FBio_{k,l,t}^{\text{Sent}}$ ).

$$CTBio_{l,t}^{\text{Puro}} = \sum_k FBio_{k,l,t}^{\text{Sent}} \cdot PTBio_{k,l,t}^{\text{Puro}}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (32)$$

El valor considerado para el parámetro ( $PTBio_{k,l,t}^{\text{Puro}}$ ) fue el reportado por GasGas Analytics (2020) el cual fue multiplicado por las distancias entre cada estado (véase **Anexo 4**).

### ❖ Costo por distribución de biodiésel en mezcla a otras plantas

La **Ecuación 33** determina el costo generado por la distribución de biodiésel en mezcla ( $CTBio_{M,t}^{Mix}$ ), el cual es igual al precio del transporte de biodiésel en mezcla ( $PTBio_{l,M}^{Mix}$ ) desde el sitio (l) al sitio (M) por la sumatoria del flujo distribuido de biodiésel en mezcla enviado a cada planta ( $FDBio_{l,M,t}^{Sent}$ ).

$$CTBio_{M,t}^{Mix} = \sum_l FDBio_{l,M,t}^{Sent} \cdot PTBio_{l,M}^{Mix}, \quad \forall \quad M \in M, t \in T \quad (33)$$

El valor considerado para el parámetro ( $PTBio_{l,M}^{Mix}$ ) fue el reportado por GasGas Analytics (2020), con un valor de de MXN 1.08/km (\$ 0.05/km), el cual fue multiplicado por las distancias entre cada estado (véase **Anexo 5**).

### ❖ Costo de diésel convencional para satisfacer la demanda

El costo de diésel convencional usado ( $CDC_{l,t}^{Bio-Mix}$ ) para satisfacer la demandad en cada sitio (l) se obtiene a partir de la **Ecuación 34**, la cual considera el flujo de diésel convencional necesario para efectuar la mezcla en cada sitio (l) ( $DCNM_{l,t}$ ) por el precio de venta del diésel convencional ( $PCDDC_1$ ), más el flujo de diésel convencional transportado desde las refinerías a las plantas de producción de biodiésel multiplicado por el precio de transporte de diésel convencional ( $PCDDCT_{s,l}$ ).

$$CDC_{l,t}^{Bio-Mix} = DCNM_{l,t} \cdot PCDDC_1 + \sum_s FDCT_{s,l,t} \cdot PCDDCT_{s,l}, \quad \forall \quad l \in L, t \in T \quad (34)$$

El precio por transporte de diésel convencional se consideró el reportado en Riegelhaupt et al., (2016), el cual fue multiplicado por las distancias entre cada una de las refinerías con respecto a cada estado del país (véase **Anexo 6**), mientras que para el parámetro del precio de venta de diésel convencional ( $PCDDC_1$ ) se le asignó un valor de \$ 350/ton diésel.

## VENTAS

### ❖ Ventas generadas por el biodiésel en mezcla

En la **Ecuación 35** se representan las ventas generadas por la mezcla de biodiésel ( $VBio_{i,t}^{Mix-Sale}$ ) tomando en cuenta el flujo de biodiésel en mezcla disponible en cada sitio ( $i$ ) ( $FBio_{i,t}^{Disponible}$ ) por el precio de venta de cada tonelada de biodiésel en mezcla ( $PVBio_1^{Mix}$ ).

$$VBio_{i,t}^{Mix-Sale} = FBio_{i,t}^{Disponible} \cdot PVBio_1^{Mix} \quad (35)$$

El Precio de Biodiésel en Mezcla B20 fue calculado de análisis realizado por APEC (2010).

## GANANCIAS

### ❖ Ganancia por residuos orgánicos

En el balance dado por la **Ecuación 36**, se obtiene las ganancias obtenidas al desaparecer residuos de los vertederos en cada sitio ( $i$ ), las cuales pueden ser generadas debido a que actualmente se paga por depositar los residuos en un vertedero, por lo que al darle un uso a estos se empezaría a obtener una ganancia en vez de una pérdida. La ganancia generada por manejo de residuo ( $GR_{i,t}^{or}$ ) será igual a el flujo de residuos orgánicos en cada sitio ( $i$ ) ( $FO_{i,t}^w$ ) por el costo de manejo de los residuos orgánicos (CMRO).

$$GR_{i,t}^{or} = FO_{it}^w \cdot CMRO, \quad \forall \quad i \in I, t \in T \quad (36)$$

El valor del parámetro asignado como costo de manejo de los residuos orgánicos (CMRO) se le atribuyo el valor de \$ 500.15/ton valor consultado de los datos reportados por Veolia (2021).

#### ❖ Rendimiento económico

La **Ecuación 37** calcula el rendimiento económico que se obtendrá de cada planta al tomar en cuenta la sumatoria por las ventas generadas por la mezcla de biodiésel ( $VBio_{l,t}^{Mix-Sale}$ ) más la sumatoria de las ganancias generadas por el manejo de residuos orgánicos ( $GR_{i,t}^{or}$ ) menos el costo por relleno sanitario ( $COST_{i,t}^{Relleno}$ ) menos el costo capital de la planta de biotransformación ( $CC_{j,c}^{BiotranP}$ ) menos el costo capital de la planta de producción de biodiésel ( $CPB_{k,c}^{BioP}$ ) menos el costo total generado por el transporte de residuo orgánicos ( $CTR_{j,t}^{or}$ ) menos el costo total generado por el transporte de aceite ( $CTAc_{k,t}$ ), menos el costo total generado por el transporte de biodiésel puro ( $CTBio_{l,t}^{Puro}$ ) menos el costo total generado por el transporte de biodiésel en mezcla ( $CTBio_{M,t}^{Mix}$ ) menos el costo total del diésel convencional usado para la mezcla ( $CDC_{l,t}^{Bio-Mix}$ ).

$$\begin{aligned} Pr\ of\ it = & \sum_{l,t} VBio_{l,t}^{Mix-sale} + \sum_{i,t} GR_{i,t}^{or} - \sum_{i,t} COST_{i,t}^{Relleno} - \sum_{j,c} CC_{j,c}^{BiotranP} - \sum_{k,c} CPB_{k,c}^{BioP} \\ & - \sum_{j,t} CTR_{j,t}^{or} - \sum_{k,t} CTAc_{k,t} - \sum_{l,t} CTBio_{l,t}^{Puro} - \sum_{M,t} CTBio_{M,t}^{Mix} - \sum_{l,t} CDC_{l,t}^{Bio-Mix} \end{aligned} \quad (37)$$

## EMISIONES

### ❖ Emisiones por transporte

En la **Ecuación 38** se calculan las emisiones generadas por el transporte ( $ET$ ), al considerar la sumatoria del flujo de residuos orgánicos enviados del sitio (i) al sitio (j) ( $FS_{i,j,t}^{ow}$ ) más la sumatoria del flujo de aceite transportado de la planta de biotransformación a la planta de producción de biodiésel ( $TA_{j,k,t}^{trans-oil}$ ) más la sumatoria del flujo de biodiésel puro enviado a la planta de mezcla (l) ( $FBio_{k,l,t}^{Sent}$ ) más la sumatoria del flujo consumido localmente de biodiésel ( $FDBio_{l,M,t}^{Sent}$ ) más la sumatoria del flujo de diésel convencional a las plantas de mezclado ( $FDCT_{s,l,t}$ ), cada sumatoria va multiplicada por un factor de emisiones (F.E), donde cada uno comprenden las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por transporte de un sitio a otro con base en el tipo de transporte usado.

$$\begin{aligned}
 ET = & \sum_{i,j,t} FS_{i,j,t}^{ow} \cdot FEO_{ij}^{trans} + \sum_{j,k,t} TA_{j,k,t}^{trans-oil} \cdot FEAc_{j,k}^{trans} + \sum_{k,l,t} FBio_{k,l,t}^{Sent} \cdot FEBio_{k,l}^{Puro} \\
 & + \sum_{l,M,t} FDBio_{l,M,t}^{Sent} \cdot FEBio_{l,M}^{Mix} + \sum_{s,l,t} FDCT_{s,l,t} \cdot FECV_{s,l}
 \end{aligned} \tag{38}$$

Cada factor de emisiones por transporte fue consultado de acuerdo al programa GREET en su versión 2020, cada uno de estos factores de emisiones fue multiplicado por las distancias entre cada estado (véase **Anexos 7, 8, 9 y 10**). Por otro lado, el factor de emisiones por transporte de residuos orgánicos ( $FEO_{ij}^{trans}$ ) fue obtenido de Herrera et al. (2018), este factor de emisiones fue multiplicado por las distancias entre cada estado (véase **Anexo 11**).

### ❖ Emisiones por biotransformación de residuos

Las emisiones totales generadas de CO<sub>2</sub> por la biotransformación de los residuos ( $EMO_i^{waste}$ ) se calculan en la **Ecuación 39**, la cual considerara la sumatoria del flujo de residuos orgánicos

en cada sitio (i) por semana (t) por el factor de emisiones generadas de CO<sub>2</sub> por biotransformación de residuos (FEM<sup>ow</sup>).

$$EMO_i^{waste} = \sum_t FO_{i,t}^w \cdot FEM^{ow}, \quad \forall \quad i \in I \quad (39)$$

El factor de CO<sub>2</sub> por biotransformación de residuos (FEM<sup>ow</sup>) se le atribuyo un valor de 1.66665E-5 ton CO<sub>2</sub>/ton cuyo valor fue reportado por Parodi et al. (2020).

#### ❖ Emisiones por la producción de biodiésel en mezcla

En la **Ecuación 40** se obtienen las emisiones generadas por la producción de biodiésel en mezcla (EPBio<sub>*l*</sub><sup>Mix</sup>) al tomar en cuenta la sumatoria del flujo de biodiésel en mezcla en cada planta (l) por semana (t) multiplicado por el factor de CO<sub>2</sub> emitido por tonelada producida de biodiésel en mezcla (EBio<sup>Mix</sup>).

$$EPBio_l^{Mix} = \sum_t FBio_{l,t}^{Mix} \cdot EBio^{Mix}, \quad \forall \quad l \in L \quad (40)$$

El factor (EBio<sup>Mix</sup>) se obtuvo del programa GREET (2020) con valor de 0.0016 ton CO<sub>2</sub>/ton.

#### ❖ Emisiones por biodiésel puro

La **Ecuación 41** determina las emisiones generadas por el biodiésel puro (EPBio<sub>*k*</sub><sup>P</sup>) en cada sitio (k), el balance se determina con la sumatoria del flujo de biodiésel puro producido (FBio<sub>*k,t*</sub><sup>Prod</sup>) por el factor de CO<sub>2</sub> emitido por biodiésel puro (EGPBio).

$$EPBio_k^P = \sum_t FBio_{k,t}^{Prod} \cdot EGPBio, \quad \forall \quad k \in K \quad (41)$$

El factor de CO<sub>2</sub> emitido por biodiésel puro (EGPBio) se obtuvo de los resultados obtenidos por el estudio realizado por Elsayed et al., (2020) cuyo valor es de 0.016 ton CO<sub>2</sub>/ton.

#### ❖ Emisiones por uso de biodiésel en mezcla

Las emisiones generadas por el uso de biodiésel en mezcla ( $EBio_l^{Mix-use}$ ) se obtiene a partir del flujo de biodiésel en mezcla disponible en cada sitio (l) multiplicado por el factor de CO<sub>2</sub> emitido por tonelada de mezcla de biocombustible usado ( $FEUBio^{Mix}$ ) como se ejemplifica en la **Ecuación 42**.

$$EBio_l^{Mix-use} = \sum_t FBio_{l,t}^{Disponible} \cdot FEUBio^{Mix}, \quad \forall \quad l \in L \quad (42)$$

El factor de CO<sub>2</sub> emitido por tonelada de mezcla de biocombustible usado ( $FEUBio^{Mix}$ ) se obtuvo del programa GREET (2020) donde se obtiene un valor de 0.72 ton CO<sub>2</sub>/ton.

#### ❖ Emisiones por uso de diésel convencional

El cálculo de las emisiones generadas por uso de diésel convencional ( $EDC_l$ ) en cada sitio (l), se obtiene mediante el balance presentado en la **Ecuación 43** al considerar la sumatoria del flujo de combustible convencional ( $DCC_{l,t}^{Conv}$ ) por el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por uso de diésel (FEUCD).

$$EDC_l = \sum_t DCC_{l,t}^{Conv} \cdot FEUCD, \quad \forall \quad l \in L \quad (43)$$

El factor de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por uso de diésel (FEUCD) se obtuvo del programa GREET (2020) cuyo valor fue de 1.879 ton CO<sub>2</sub>/ton.

#### ❖ Emisiones por R.O. en relleno sanitario

En el balance 44 (**Ecuación 44**) se calcula las emisiones generadas por los residuos orgánicos ( $ENMRO_i$ ) en cada sitio (i) al multiplicar la sumatoria del flujo de residuos orgánicos enviados al relleno de cada sitio (i) ( $R_{i,t}^{Relleno}$ ) por el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> emitido por los residuos orgánicos ( $FE^{OW-SM}$ ) en los rellenos sanitarios.

$$ENMRO_i = \sum_t R_{i,t}^{Relleno} \cdot FE^{OW-SM}, \quad \forall \quad i \in I \quad (44)$$

El factor de emisiones de CO<sub>2</sub> emitido por los residuos orgánicos ( $FE^{OW-SM}$ ) en los rellenos sanitarios es de 1.29343 ton CO<sub>2</sub>/ton, este valor se consultó del trabajo reportado por Herrera-Murillo et al. (2018).

#### ❖ Emisiones por transporte de diésel convencional

En la **Ecuación 45** se calcula las emisiones debido al transporte de diésel convencional ( $ETDC$ ) para satisfacer la demanda, al multiplicar la sumatoria del flujo de diésel transportado del sitio (l) a (s) por el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> ( $FTDC_{s,l}$ ).

$$ETDC = \sum_{s,l,t} FDiet_{s,l,t} \cdot FTDC_{s,l} \quad (45)$$

El factor de emisiones de CO<sub>2</sub> por transporte de diésel convencional ( $FTDC_{s,l}$ ) tiene un valor de 0.0169 el cual fue consultado por el programa GREET (2020), este factor se multiplica por cada una de las distancias recorridas entre las refinerías y los estados (véase **Anexo 12**).

#### ❖ Emisiones por proceso convencional

La **Ecuación 46** calcula las emisiones generadas por el proceso convencional ( $EPC$ ), es decir las emisiones que se generan sin efectuar un cambio al ciclo del consumo del diésel convencional, toma en cuenta las variables calculadas desde la ecuación 43 a la ecuación 45, las cuales son ( $ETDC$ ),  $\left(\sum_i ENMRO_i\right)$  y  $\left(\sum_l EDC_l\right)$ .

$$EPC = ETDC + \sum_i ENMRO_i + \sum_l EDC_l \quad (46)$$

#### ❖ Emisiones por producción de biodiésel puro

En la **Ecuación 47** se calcula las emisiones generadas por el uso del biodiésel puro ( $EB_l^{Puro-Used}$ ) al multiplicar la sumatoria del flujo de biodiésel puro por el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> emitido del biodiésel al ser usado ( $FUB^{Puro}$ ).

$$EB_l^{Puro-Used} = \sum_t FBPPSU_{l,t} \cdot FUB^{Puro}, \quad \forall \quad l \in L \quad (47)$$

El factor de emisiones de CO<sub>2</sub> emitido por el biodiésel al ser usado ( $FUB^{Puro}$ ) tiene un valor de 2.72, el cual fue consultado del programa GREET (2020).

#### ❖ Emisiones por proceso no convencional

La **Ecuación 48** calcula las emisiones totales generadas por la mezcla de biodiésel ( $EPNC$ ) al considerar todas las emisiones generadas durante el proceso de la producción del biodiésel en mezcla, considerando las variables de ( $ET$ ), ( $EMO_i^{waste}$ ), ( $EPBio_l^{Mix}$ ), ( $EPBio_k^P$ ), ( $\sum_l EBio_l^{Mix-use}$ ) y ( $EB_l^{Puro-Used}$ ).

$$EPNC = ET + \sum_i EMO_i^{waste} + \sum_l EPBio_l^{Mix} + \sum_k EPBio_k^P + \sum_l EBio_l^{Mix-use} - \sum_l EB_l^{Puro-Used} \quad (48)$$

#### ❖ Emisiones totales

Las emisiones totales de CO<sub>2</sub>, generadas durante todo el proceso, se calculan en el **balance 49 (Ecuación 49)**, donde ( $E^{CO_2}$ ) representa el total de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas, que es iguala a las emisiones generadas por proceso convencional menos las emisiones generadas por proceso no convencional.

$$E^{CO_2} = EPC + EPNC \quad (49)$$

## SOCIAL

### ❖ Generación de trabajos

En la **Ecuación 50** se obtiene el número total de empleos generados ( $GNJ_l$ ), el cual es igual a la sumatoria del flujo de biodiésel en mezcla disponible en cada sitio ( $l$ ) ( $FBio_{l,t}^{Disponible}$ ) por el número de empleos por tonelada de mezcla de biodiésel ( $EN$ ).

$$GNJ_l = \sum_t FBio_{l,t}^{Disponible} \cdot EN, \quad \forall \quad l \in L \quad (50)$$

El parámetro  $EN$  se obtuvo en base a la cantidad de empleos reportados en el análisis realizado por APEC (2010), cuyo valor considerado fue de 252.

## FUNCIÓN OBJETIVO

Finalmente, la **Ecuación 51** es la función objetivo, la cual se va a considerar bi-objetivo, al tomar en cuenta las emisiones totales generadas y los costos generados por todo el proceso. Lo primero que se busca es maximizar el rendimiento, que en este caso sería maximizar las ganancias, de las cuales hay dos tipos, las ganancias que se obtiene por la venta del biodiésel y las otras ganancias que se generaran son por la disminución de los RO y tratamiento de los mismos y el otro objetivo que se persigue es minimizar las misiones de  $CO_2$ .

$$F.O. = \{máx Profit, \min E^{CO_2}\} \quad (51)$$

## RESULTADOS

### Modelo matemático

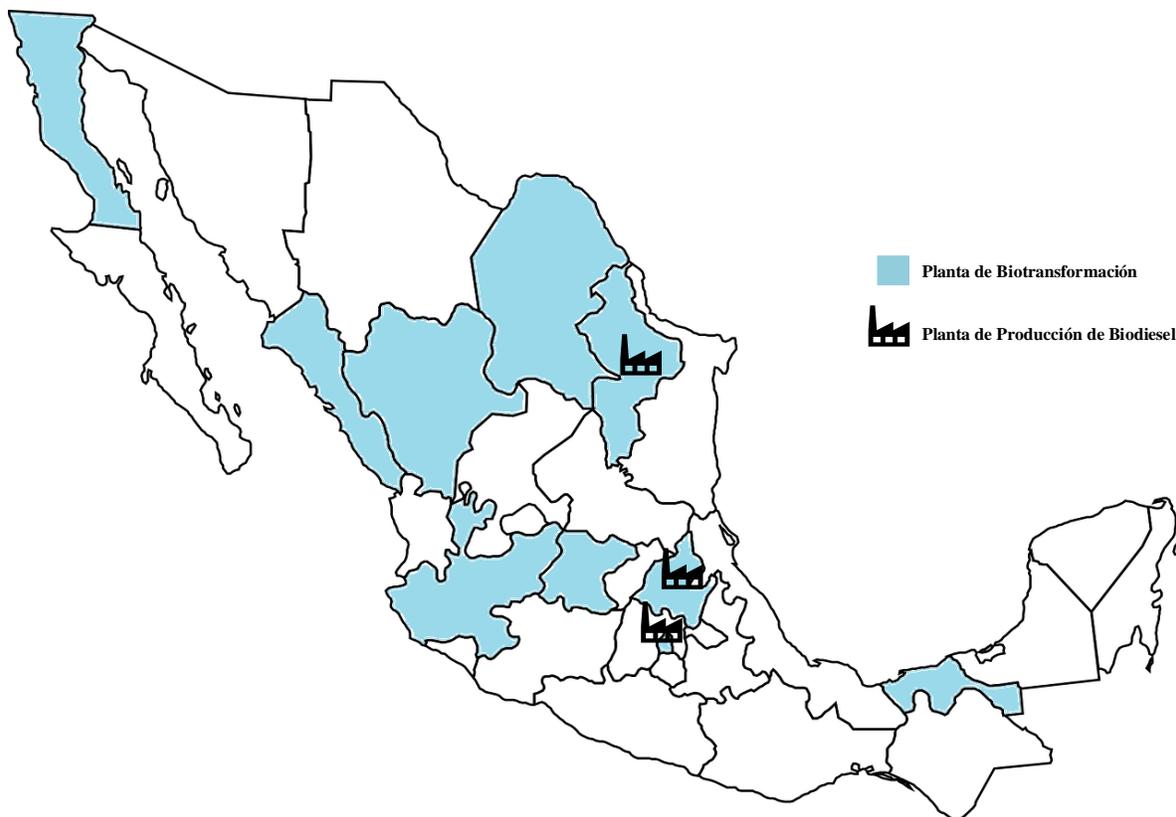
El modelo matemático propuesto fue codificado en la plataforma de GAMS®, este incluye 47,558 restricción, 272,069 variables libres, y 192 variables discretas. El cual fue resuelto como Modelo Mixto Entero Lineal usando CPLEX como resolvidor. Cada ensayo se corrió en una AMD® A10 con 2.60 GHz de CPU y 8 GB de RAM. El tiempo de resolución entre cada ejecución fue de 2.360 segundos.

### Mezcla B20

Después de realizar los análisis con respecto a la maximización del rendimiento económico y minimizando el impacto ambiental, se obtuvieron los extremos del sistema (el máximo rendimiento y el mínimo impacto ambiental). Adicionalmente se generaron dos escenarios más los cuales representa soluciones compromiso entre ambas funciones objetivo, puntos de donde se generaron los resultados descritos a continuación.

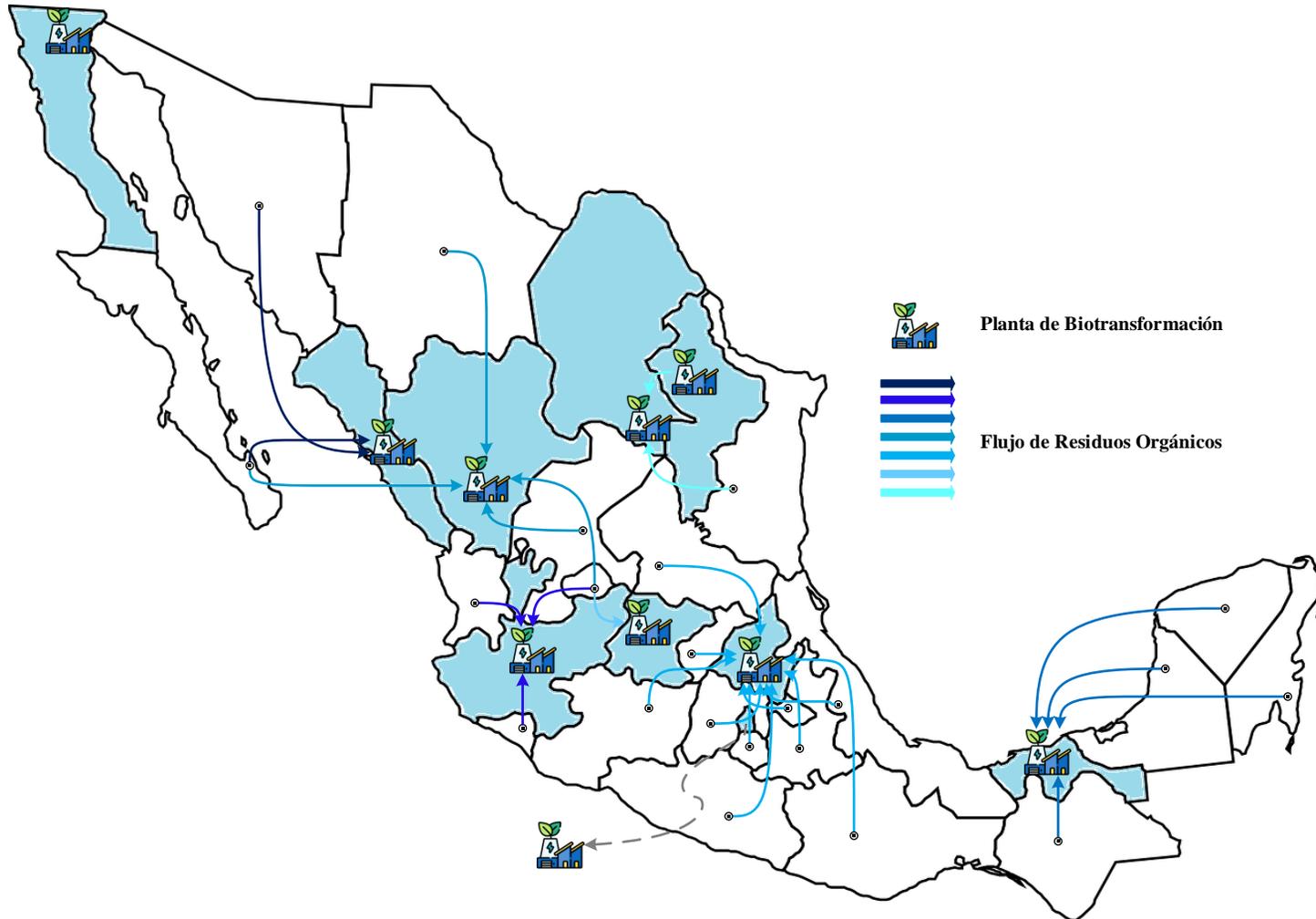
**Escenario A.** (Maximización de rendimiento): Se obtiene un rendimiento económico de \$ 3,3690,730,683/año y generando un total de emisiones de CO<sub>2</sub> de 18,030,295 toneladas/año. De acuerdo a los resultados obtenidos en este escenario, solo en los estados de Baja California (2), Coahuila (7), CDMX (9), Durango (10), Guanajuato (12), Hidalgo (14), Jalisco (15), Nevo León (19), Sinaloa (25) y Tabasco (27) se instala una planta de biotransformación de residuos orgánicos (**Figura 11**) para obtener como producto el aceite. Cabe destacar que todos los residuos producidos en cada uno de los 32 estados son empleados para la producción de aceite, por lo cual el flujo de cada estado es ubicado en alguna de las plantas previamente mencionadas, como muestra la distribución de la **Figura 12**. Posteriormente, el aceite obtenido en cada planta productora de larva será transportado a las plantas de producción de biodiésel (Véase **Figura 13**), las cuales se encuentran localizadas en los estados de Ciudad de México (CDMX) (9), Hidalgo (14) y Nevo León (19), donde se obtiene el producto final, la mezcla de biodiésel, para su posterior distribución y venta. En este sentido, la obtención de biodiésel puro para el escenario A es de 561,976 toneladas/año lo que en una mezcla B20 se traduce en 2,809,878 toneladas/año, valor que representa aproximadamente el 24% de la demandad total de diésel en México. En tanto la generación

de trabajos a partir de la instalación de la cadena de suministro de producción de biodiésel, el estado que mayor número de trabajos genera, así como el mayor número de ventas es CDMX (9), seguido de Hidalgo (14) y, por último, Nuevo León (19). Por otro lado, el estado que presenta el mayor número de ganancias por el manejo de los residuos es CDMX, seguido de Nuevo León y Sinaloa.



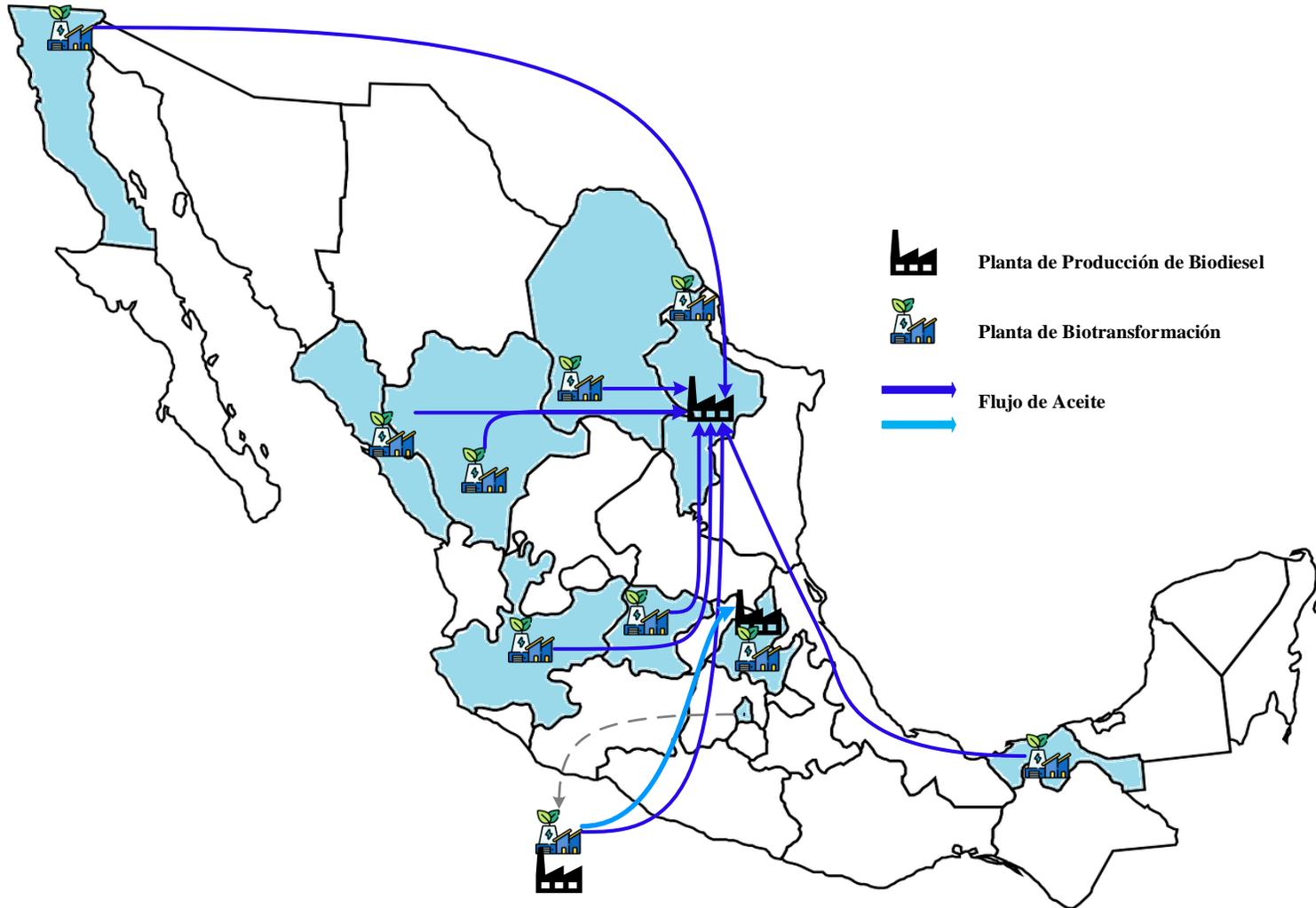
**Figura 11.** Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario A

\*Nota: Los estados sombreados en azul las plantas de biotransformación, y las imágenes de fábricas indican donde se localizan las plantas de biodiésel.



**Figura 12.** Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario A, así como la circulación de los flujos de residuos orgánicos hacia alguno de los estados que instalaron plantas de biotransformación.

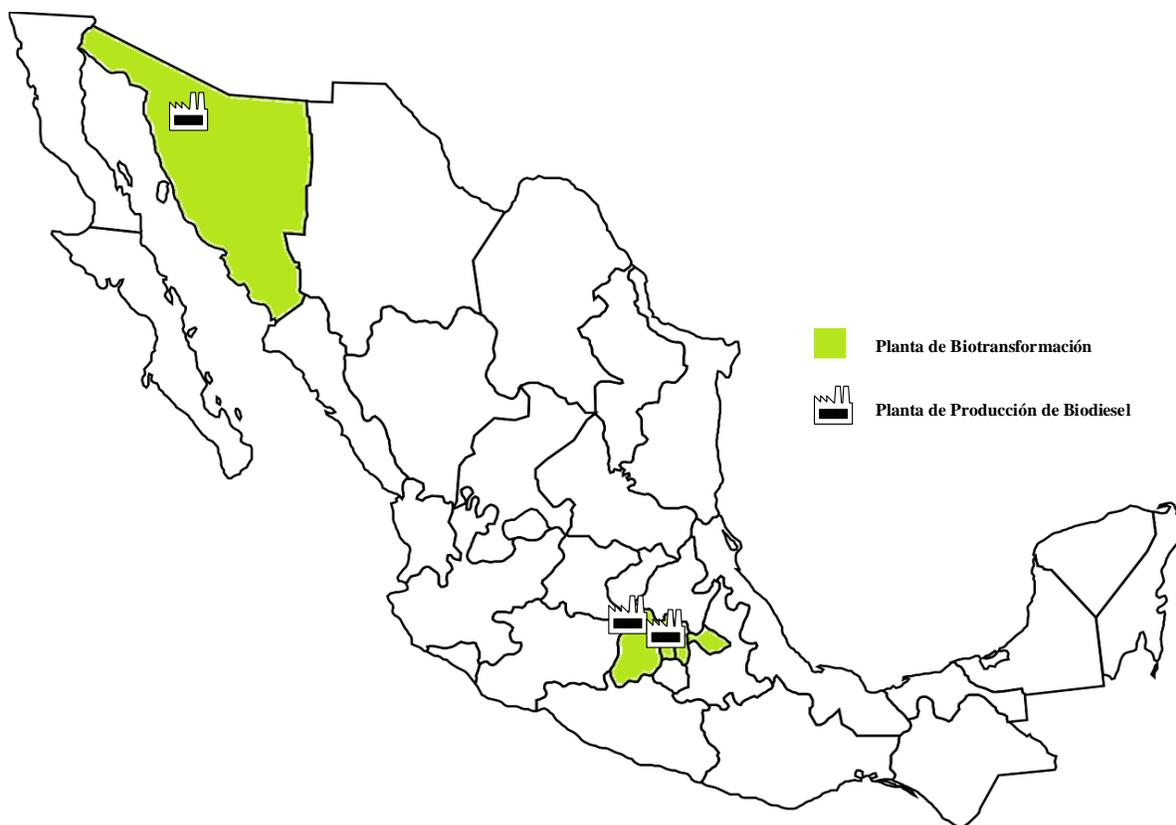
\*Nota: La figura de fábrica representan las plantas de biotransformación y las flechas de diferentes colores indican el flujo de los residuos orgánicos de un estado a otro donde se presenta la planta de biotransformación.



**Figura 13.** Representación de plantas de biotransformación, plantas de producción de biodiésel y la dirección del flujo de aceite desde las plantas donde se produjo hasta alguna de las plantas de producción de biodiésel instaladas del escenario A.

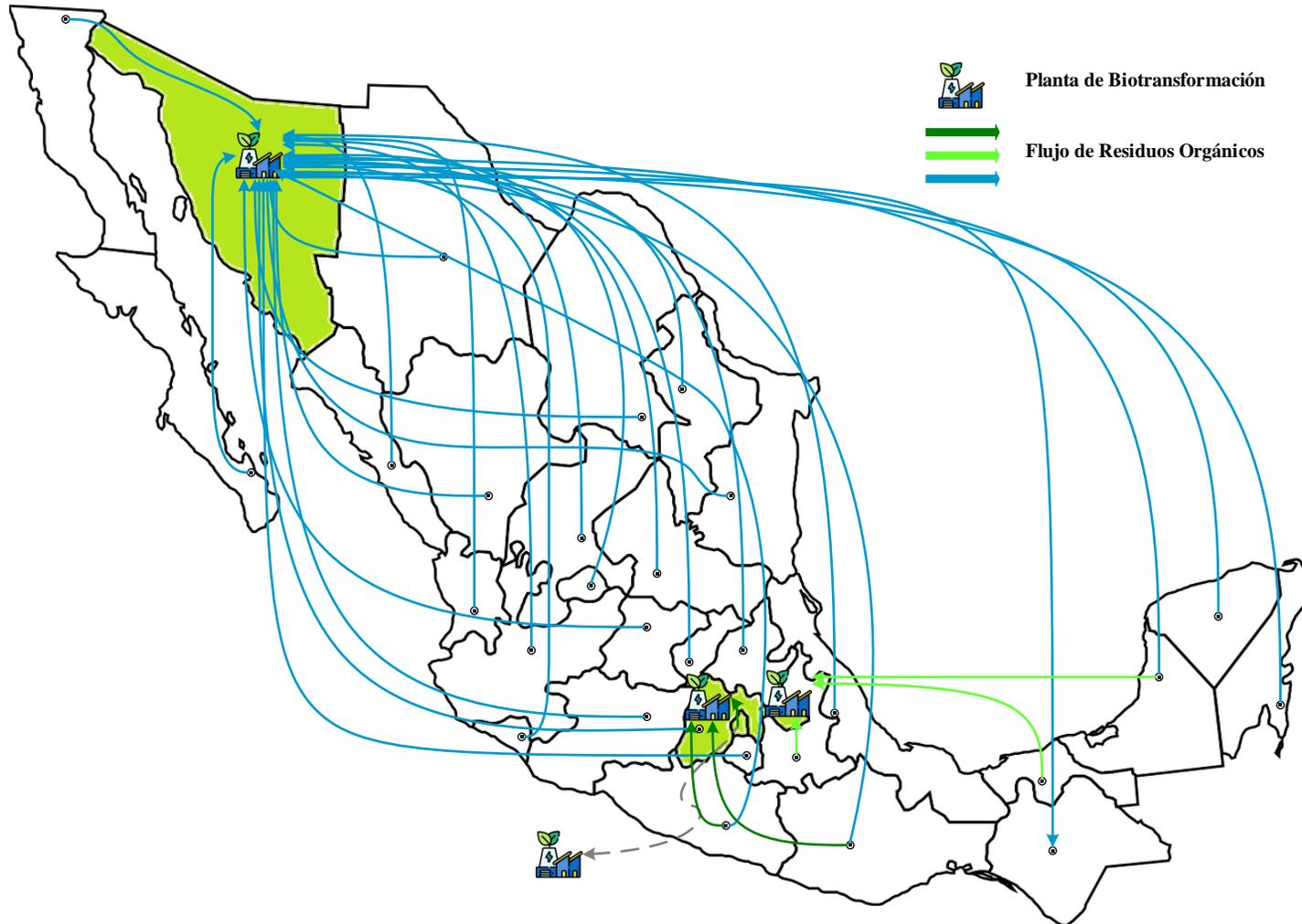
\*Nota: Las flechas de diferentes colores de azules indican el flujo de aceite enviado de las plantas de biotransformación a las plantas de producción de biodiésel.

**Escenario B:** En esta solución se generan aproximadamente 15,397,449 toneladas/año de CO<sub>2</sub> y un rendimiento económico de \$3,272,605,738/año. En este punto sólo en 4 estados instala una planta de biotransformación, siendo estos la CDMX (9), Estado de México (11), Sonora (26) y Tlaxcala (29). Estas plantas de biotransformación reciben los residuos orgánicos producidos por los demás estados como se muestra en la **Figura 14**. Por otro lado, en tanto la instalación de la planta de producción de biodiésel sólo son instaladas en los estados de CDMX (9), Estado de México (11) y Sonora (26) (véase **Figura 16**), por lo que los demás estados tienen que cubrir la demanda del combustible (diésel) a partir del diésel convencional. De acuerdo a las ganancias generadas por las ventas, el estado con mayor retribución económica es CDMX, seguido de Estado de México y Sonora, siendo el mismo orden en tanto el número de empleos generados.



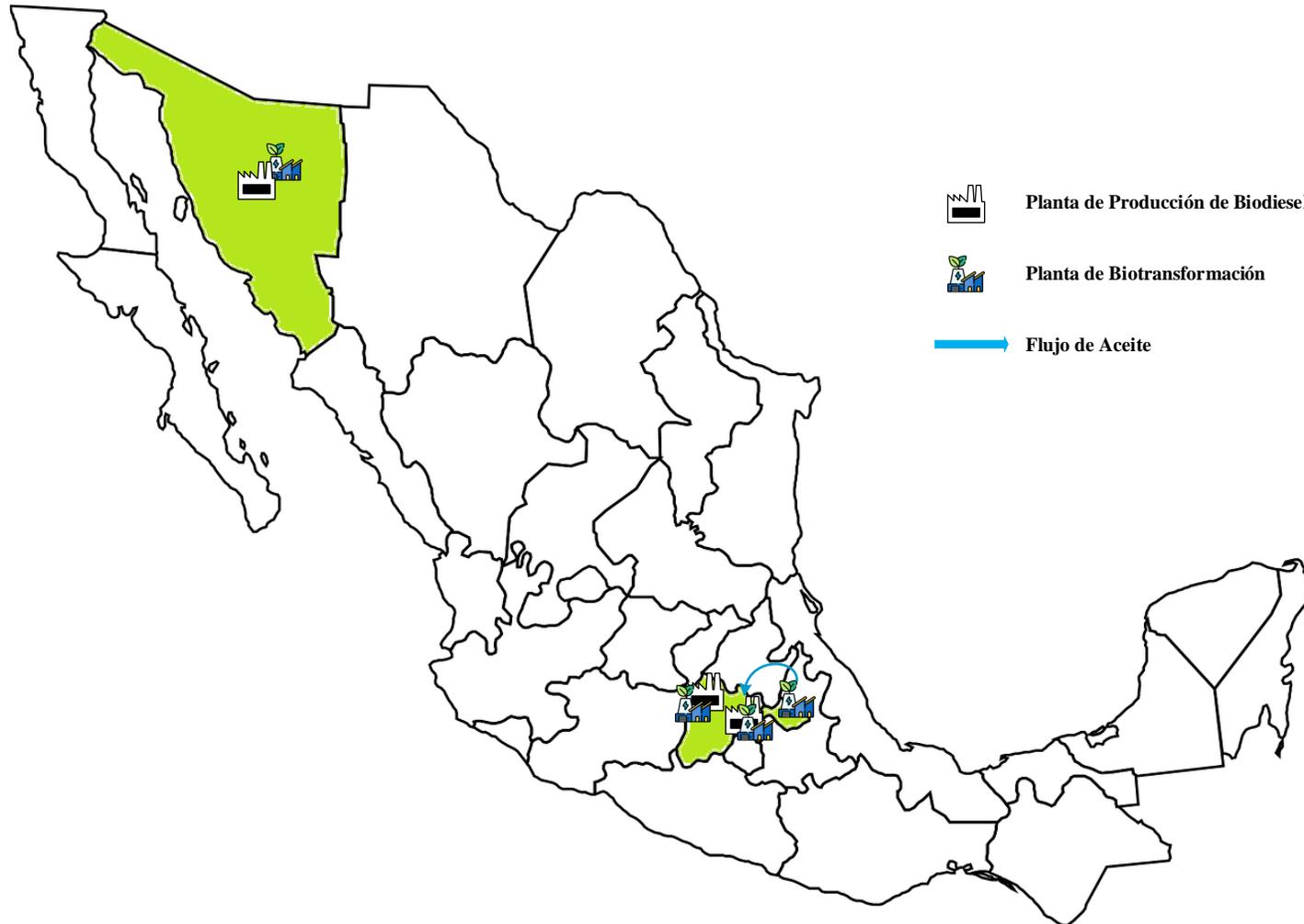
**Figura 14.** Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario B.

\*Nota: Los estados coloreados de verde representan las plantas de biotransformación, mientras que las figuras de fábrica representan las plantas de producción de biodiésel.



**Figura 15.** Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario B, así como la circulación de los flujos de residuos orgánicos hacia alguno de los estados que instalaron plantas de biotransformación.

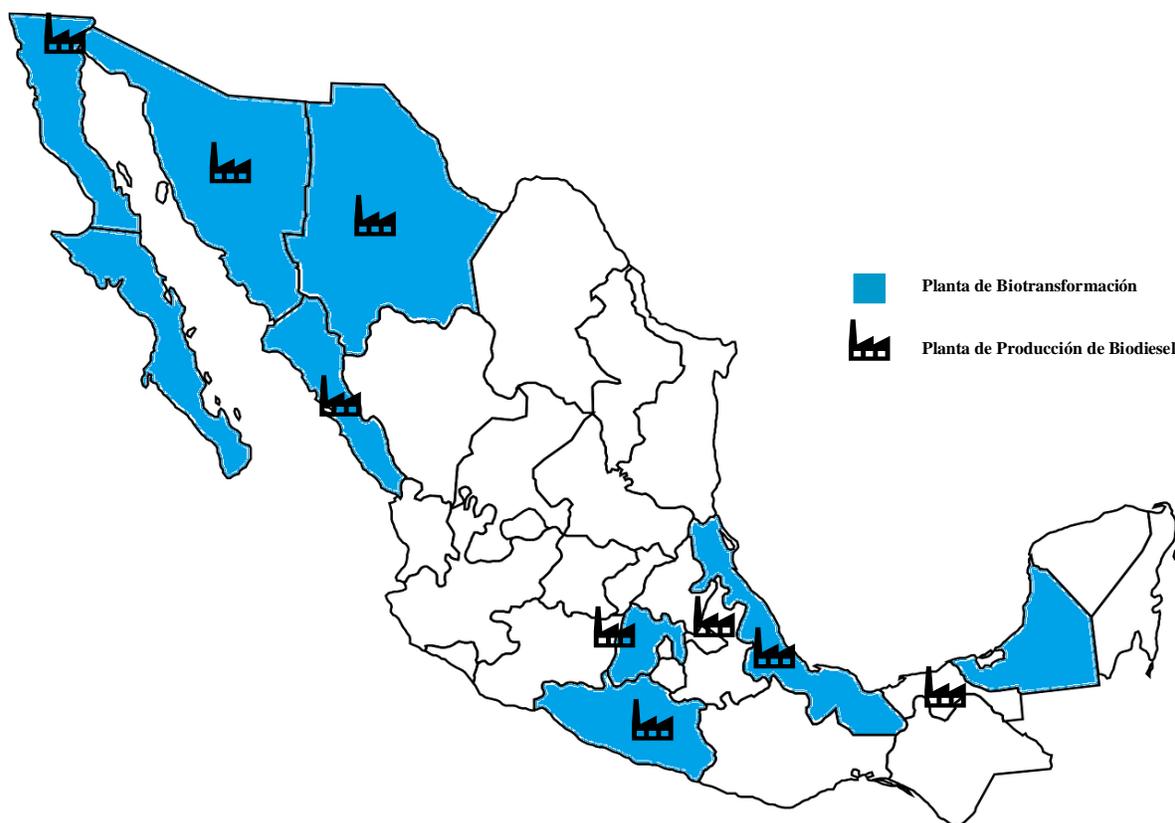
\*Nota: La figura de fábrica representan las plantas de biotransformación y las flechas de diferentes colores indican el flujo de los residuos orgánicos de un estado a otro donde se presenta la planta de biotransformación.



**Figura 16.** Representación de plantas de biotransformación, plantas de producción de biodiésel y la dirección del flujo de aceite desde las plantas donde se produjo hasta alguna de las plantas de producción de biodiésel instaladas del escenario B.

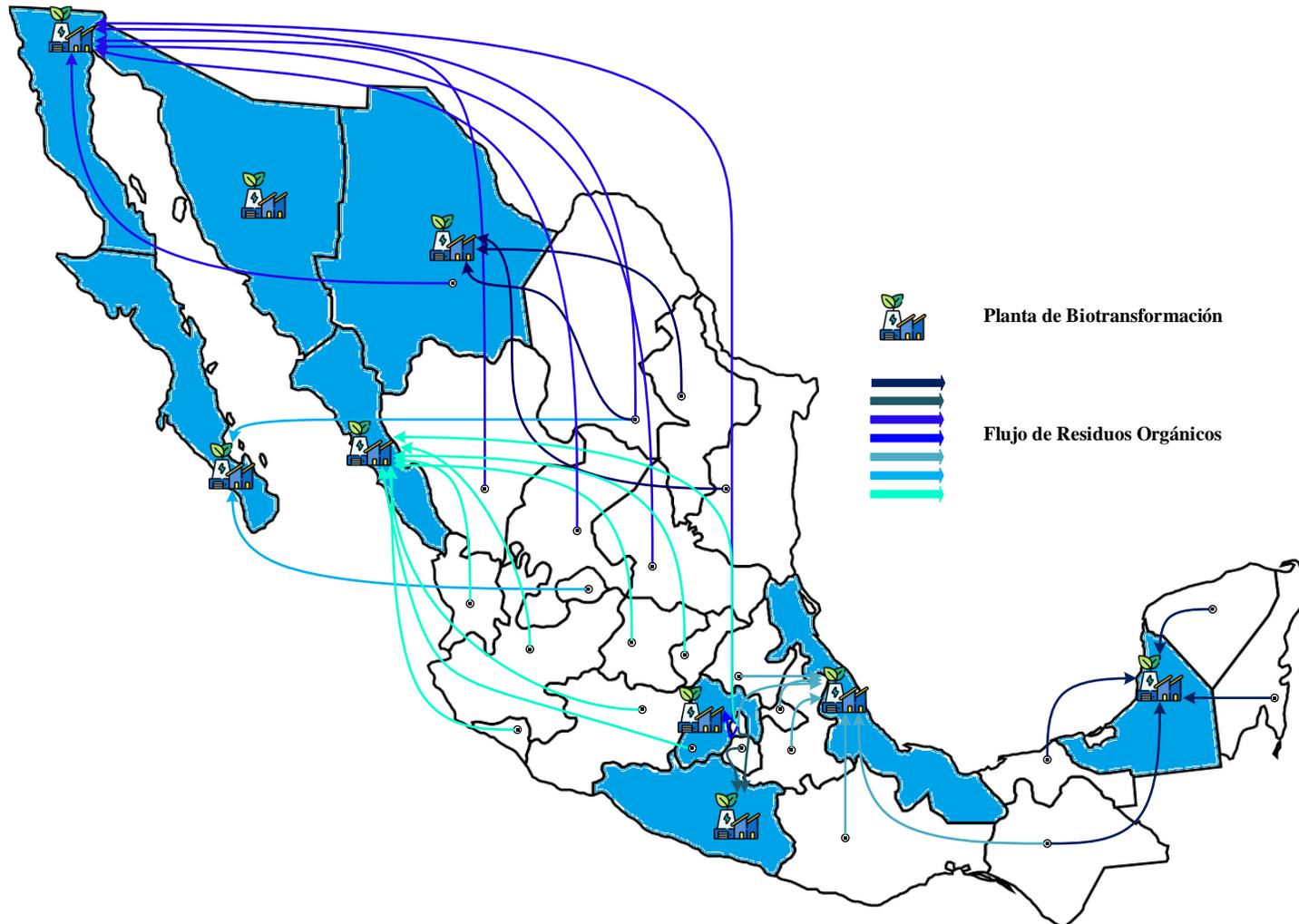
\*Nota: Las figuras de fábrica representan las plantas de biotransformación o bien, las plantas de producción de biodiésel y las flechas de diferentes colores indican el flujo de aceite enviado de las plantas de biotransformación a las plantas de producción de biodiésel.

**Escenario C:** El rendimiento económico obtenido en esta solución compromiso alcanza los \$3,175,480,793/año, así mismo se generan aproximadamente 15,395,686 toneladas/año de CO<sub>2</sub>. En el punto C, son instaladas 9 plantas de biotransformación (véase **Figura 17**) en los estados de: Baja California (2), Baja California Sur (3), Campeche (4), Chihuahua (6), Estado de México (11), Guerrero (13), Sinaloa (25), Sonora (26) y Veracruz (30). Estas plantas son alimentadas por todos los residuos orgánicos producidos por los 32 estados (véase **Figura 18**). No obstante, para la instalación de plantas para la producción de biodiésel sólo fueron seleccionados 8 estados: Baja California (2), Chihuahua (6), Estado de México (11), Guerrero (13), Sinaloa (25), Sonora (26), Tabasco (27), Tlaxcala (29) y Veracruz (30) (véase **Figura 19**); por lo que el resto de los estados cubren su demanda de diésel a partir de combustible convencional. En tanto las ganancias generadas por ventas y generación de trabajo, el estado con mayor índice de estas es el Estado de México.



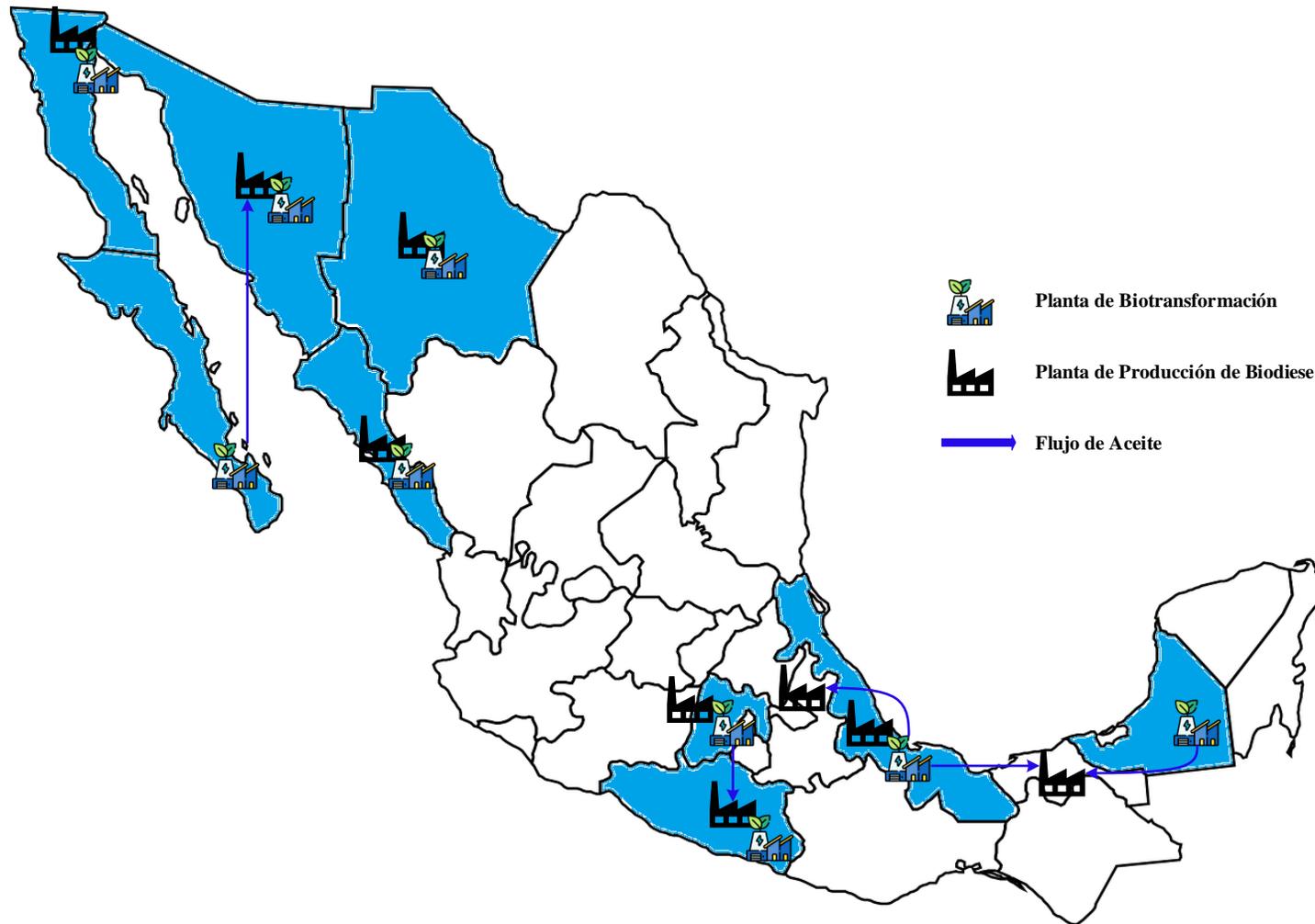
**Figura 17.** Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario C.

\*Nota: Los estados coloreados de azul representan las plantas de biotransformación y las figuras de fabrica indicando donde se localizan las plantas de producción de biodiésel.



**Figura 18.** Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario C, así como la circulación de los flujos de residuos orgánicos hacia alguno de los estados que instalaron plantas de biotransformación.

\*Nota: Las figuras de fabrica representan las plantas de biotransformación y las flechas de diferentes colores indican el flujo de los residuos orgánicos de un estado a otro donde se presenta la planta de biotransformación.



**Figura 19.** Representación de plantas de biotransformación, plantas de producción de biodiésel y la dirección del flujo de aceite desde las plantas donde se produjo hasta alguna de las plantas de producción de biodiésel instaladas del escenario C.

\*Nota: Las figuras de fabrica representan las plantas de biotransformación o bien, las plantas de producción de biodiésel y las flechas de diferentes colores indican el flujo aceite enviado de las plantas de biotransformación a las plantas de producción de biodiésel.

**Escenario D.** (Minimización de Emisiones de CO<sub>2</sub>): En esta solución fue calculado un rendimiento económico de \$ 3,078,355,849/año; así como 15,394,217 toneladas/año de CO<sub>2</sub> de. Con base a los resultados obtenidos, todos los estados realizan un manejo de los residuos orgánicos transformándolos en las plantas de biotransformación las cuales fueron instaladas en los estados de Baja California (2), Baja California Sur (3), Chihuahua (6), Colima (8), Durango (10), Guerrero (13), Nayarit (18), Quintana Roo (23), Sinaloa (25), Sonora (26), Veracruz (30) y Yucatán (31) (véase **Figura 20**). En esta solución los mismos estados fueron seleccionados como puntos para la instalación de plantas de producción de biodiésel, esto principalmente dado que la minimización de emisiones busca reducir el transporte como alternativa ambiental. La demanda de diésel es totalmente satisfecha con la mezcla B20 producida en cada uno de los estados donde fueron instaladas las plantas de producción de biodiésel, mientras que el resto de los estados se satisface a partir del diésel convencional. Pese a que todos los residuos orgánicos son tratados como en el escenario A, la cantidad de emisiones es reducida principalmente porque se evita el transporte de mezcla de biodiésel hacia otros estados (véase **Figura 21**), promoviendo un consumo local. Así mismo los flujos de aceite generados en cada una de las plantas de procesamiento de residuos orgánicos es consumida en plantas locales para la producción de la mezcla B20, evitando intercambio de materia prima entre estados (véase **Figura 22**). En tanto a los trabajos generados, y ventas, el estado con mayor número en ambos casos es el estado de Veracruz (30), seguido de Baja California (2) y Chihuahua (6), mientras que en ganancias por manejo de residuos el estado con mayor número de estas es la CDMX (9), seguido del Nuevo León (19) y Sinaloa (25).



**Figura 20.** Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario D.

\*Nota: Los estados sombreados de verde representan la localización de las plantas de biotransformación y las figuras de fabrica representan las plantas de producción de biodiésel.



**Figura 21.** Representación de plantas de biotransformación y plantas de producción de biodiésel del escenario D, así como la circulación de los flujos de residuos orgánicos hacia alguno de los estados que instalaron plantas de biotransformación

\*Nota: Las figuras de fabrica representan las plantas de biotransformación y las flechas de diferentes colores indican el flujo de los residuos orgánicos de un estado a otro donde se presenta la planta de biotransformación.

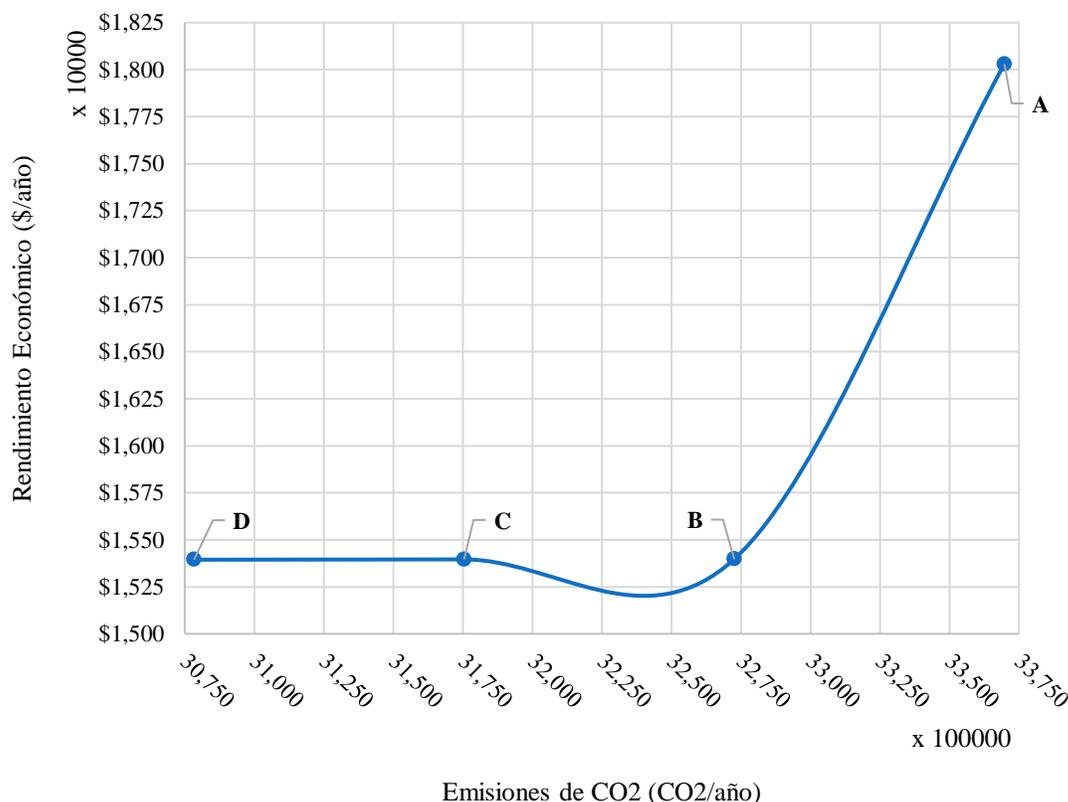


**Figura 22.** Representación de plantas de biotransformación, plantas de producción de biodiésel y la dirección del flujo de aceite desde las plantas donde se produjo hasta alguna de las plantas de producción de biodiésel instaladas del escenario D.

\*Nota: Las figuras de fabrica representan las plantas de biotransformación o bien, las plantas de producción de biodiésel y las flechas de diferentes colores indican el flujo de los residuos orgánicos enviado de las plantas de biotransformación a las plantas de producción de biodiésel.

## ANÁLISIS

La curva Pareto (**Figura 23**) fue generada en base al modelo de optimización aplicado al análisis de diferentes escenarios, los cuales fueron mencionados anteriormente.



**Figura 23.** Curva de Pareto ejemplificando las emisiones de  $CO_2$  y el rendimiento económico obtenido por año.

Se puede observar que las ganancias disminuyen desde el punto A, hasta el punto D en relación a un 9.47%, mientras que en el impacto ambiental se tiene un incremento del 17.12% con respecto al Punto D. Acciones como una mayor integración entre el manejo de los residuos orgánicos (revalorización de estos) reducción en la actividad de transporte, así como el propio uso de la mezcla B20 sobre el uso de diésel convencional son herramientas que permiten reducir el impacto ambiental en la solución D, en comparación con la solución A.

Particularmente, pese a que no es posible satisfacer el 100% de la demanda nacional de diésel convencional con la mezcla propuesta, es posible observar una disminución de generación de CO<sub>2</sub>. Cabe mencionar que los puntos B y C, no incrementan en gran medida la cantidad de emisiones producidas en el escenario D, sin embargo, sí se adquiere un mayor beneficio económico debido al incremento de plantas de biotransformación lo que contribuye a las ganancias.

Con los resultados obtenidos, es posible comparar los diferentes escenarios tomando en el impacto ambiental y económico producido en un año de acuerdo al modelo de la cadena de suministro.

## IMPACTO AMBIENTAL

**Impacto ambiental.** Este análisis fue realizado considerando únicamente las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual está involucrado durante todo el proceso, desde la recolección de materia prima (residuos orgánicos) hasta el uso del producto final (biodiésel), para ello se empleó la herramienta computacional: “Modelo de gases de efecto invernadero, emisiones reguladas y uso de energía en tecnologías por el laboratorio nacional argonne” (GREET, por sus siglas en Ingles) versión 2020, donde se consultaron los datos con respecto a cada fase considerada en el modelo, además de base de datos proporcionadas por el estado.

De acuerdo con el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub>, realizado en GREET (2020); la producción de materia prima destinada a la producción de biodiesel representa el 39% para cultivos energéticos y el 8% para materiales residuales del total de emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen por toda la cadena de suministro de biodiesel. En este sentido, en el presente estudio la transformación de cada tonelada de desperdicio de alimento genera aproximadamente 0.88 kg de CO<sub>2</sub> (Pang *et al.*, 2019). En la **Tabla 12**, se muestra la comparativa entre las cantidades de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas para cada caso, particularmente se puede observar que por la generación de cada tonelada de aceite de larva de mosca soldado negra se generan 12 kg de CO<sub>2</sub>; siendo este valor 98.8% más bajo en comparación con la generación de emisiones a partir de cada tonelada de cultivo energético. Adicionalmente, al comparar las emisiones de

cada tonelada de aceite de larva este valor es 83.3% menor en comparativa con las emisiones generadas por cada tonelada de aceite o grasa residual de otro tipo.

**Tabla 12.** Comparación de emisiones de CO<sub>2</sub>

Tipo de residuos	Producción de materia prima	Emisiones totales	
	(CO <sub>2</sub> kg/tonelada de materia prima)	(CO <sub>2</sub> kg/tonelada de biodiesel)	
<b>Residuos</b>	Manteca de cerdo + grasa de pollo	72	956 <sup>θ</sup>
	Aceite de cocina.	72	956 <sup>θ</sup>
	Sebo	72	956 <sup>θ</sup>
	<b>Producción anual</b>	Aceite de ricino	1,031
<b>Producción mecanizada</b>	Aceite de soya	1,031	2,654 <sup>θ</sup>
<b>Cultivos perenes</b>	Aceite de palma	1,031	2,654 <sup>θ</sup>
<b>Uso de larva de mosca soldado</b>	Aceite de larva	12	562 <sup>ε</sup>

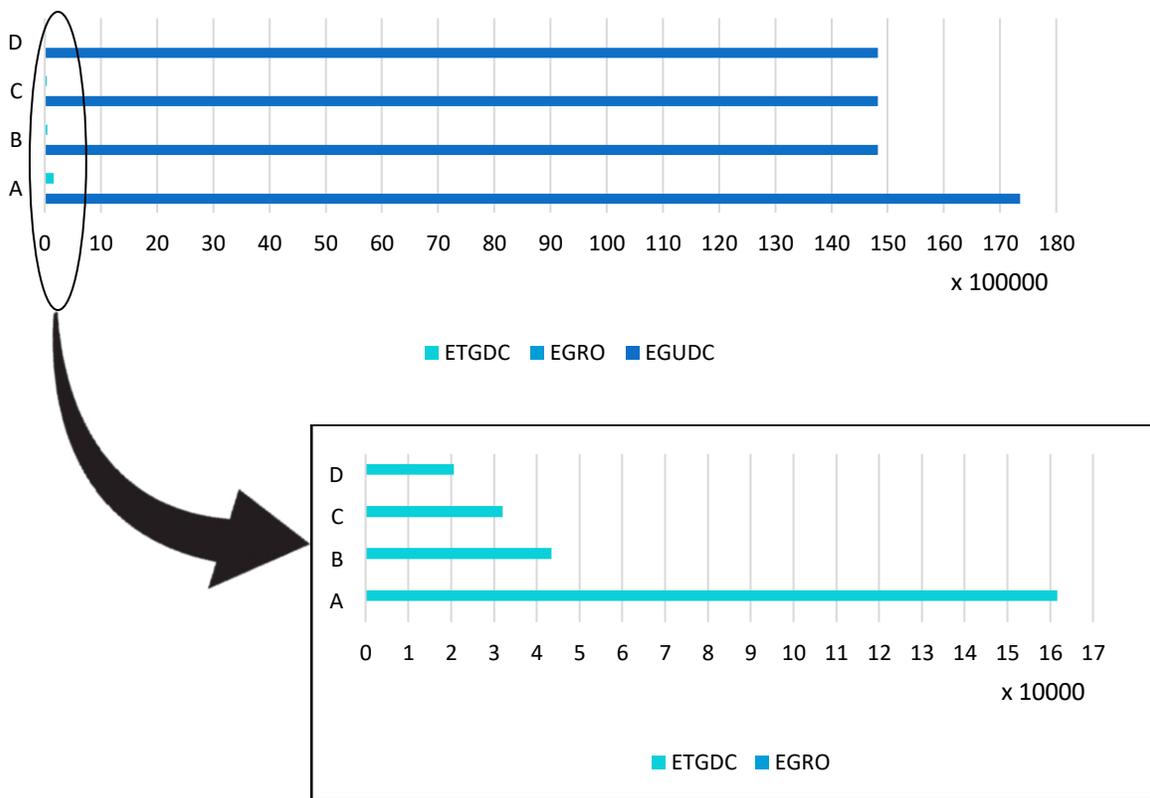
\*Nota: <sup>θ</sup> Valores reportados por Costa et al., 2013; <sup>ε</sup> Valores calculados usando GREET

El tratamiento de una parte de los residuos sólidos urbanos, específicamente hablando de los residuos orgánicos, que representan cerca del 33 % de los residuos totales en México, ayuda a disminuir una gran cantidad de emisiones provocada por el acumulamiento de estos, por otro lado, si todos los residuos de alimentos tuvieran como fin de ciclo de vida sitios de disposición final se generaría aproximadamente 11,497,200 toneladas de CO<sub>2</sub>/año, dato calculado a partir de los propuesto por Scukling et al. (2021). Sin embargo, si en lugar de que dichos desechos sean enviados a sitios de disposición final, estos son transformados en aceite de valor agregado mediante el uso de mosca soldado negra, las emisiones resultantes muestran que es posible reducir dichas emisiones en un 86% por año.

En la **Tabla 12** se muestra también la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan por cada tonelada de biodiesel puro producido, particularmente, se puede observar que cuando es usado aceite de larva como materia prima se emiten 41% menos emisiones en comparativa de cuando se usa aceite residual de cocina, y 78% menores que cuando se usa aceite de soya como materia prima para la producción de dicho biocombustible.

Por otro lado, en la **Figura 24** se muestra la contribución al impacto ambiental de cada una de las actividades necesarias en la cadena de suministro, separando en gráficos distintos las emisiones emitidas por un proceso convencional, donde se considera las emisiones de transporte generas por diésel convencional (ETGDC), emisiones generadas por residuos orgánicos al disponerse en un relleno sanitario (EGRO) y las emisiones generadas por uso de diésel convencional (EGUDC), mientras que en la **Figura 25** se ejemplifica las emisiones generadas por un proceso no convencional, que incluye las emisiones por la biotransformación de residuos orgánicos (ETGBR), emisiones por el biodiésel puro (EGBP), emisiones para producir el biodiésel en mezcla (EPBM), emisiones por su posterior uso (EGUBM) y emisiones generadas por el transporte que se implicó en todo el proceso (ET).

La contribución al impacto ambiental por la producción de aceite, biodiésel y la mezcla de biodiésel son diferentes para cada escenario debido a la cantidad de plantas que se instalan y al considerar si hay un intercambio de flujos entre los estados donde sí ocurre una instalación, ya sea de una planta de biotransformación o de una planta de producción de biodiésel.

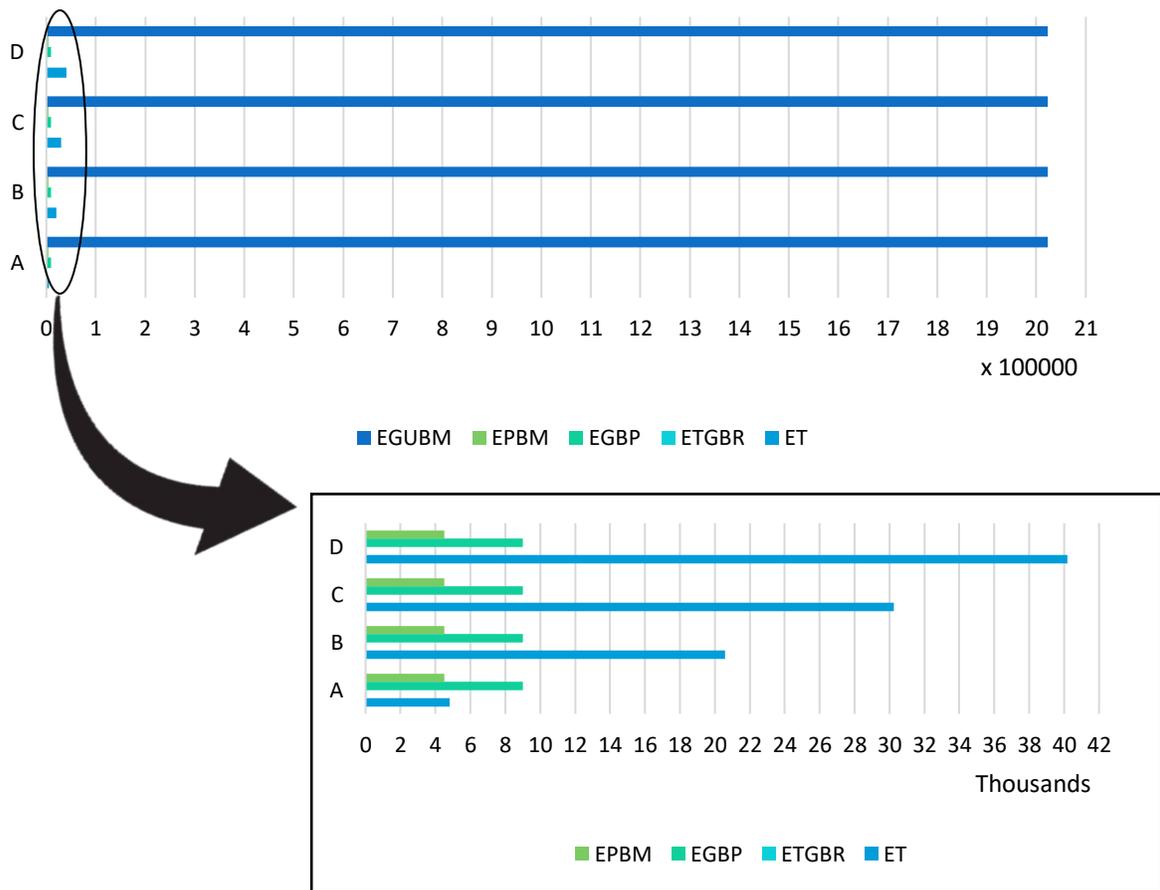


**Figura 24.** Emisiones de CO<sub>2</sub> de acuerdo a las emisiones por proceso convencional, donde se consideran las emisiones de un proceso normal

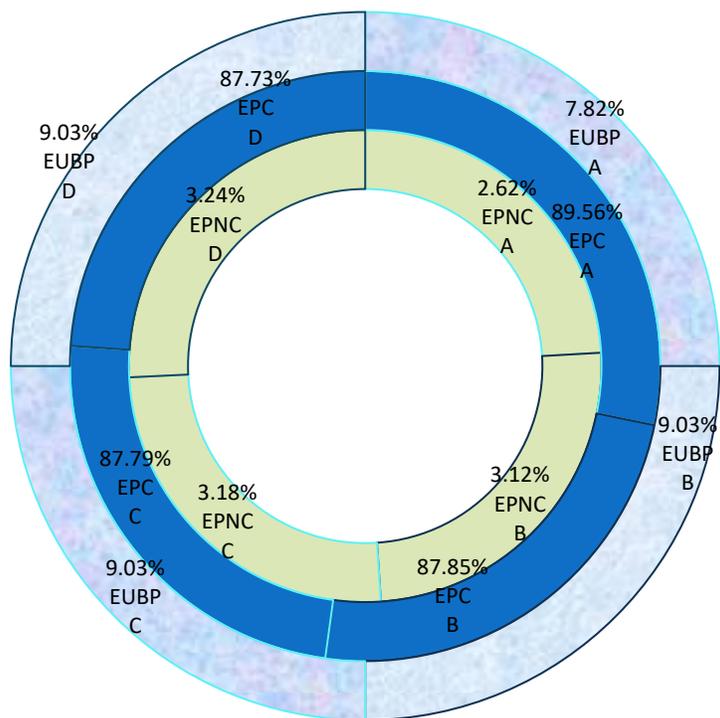
Como se puede observar en la **Figura 24**, el factor que sobresale es el EGUDC independientemente para cada escenario, donde este representa un 99-99.86% de las emisiones contempladas para las emisiones generadas por un proceso convencional. Por otro lado, de la **Figura 25** se puede observar que el valor que sobresale son las EGUBM, donde representan entre el 97-99% de las emisiones por un proceso no convencional.

En la **Figura 26** se ejemplifica en porcentaje las actividades que aportan emisiones al todo el proceso, catalogándose como emisiones por proceso convencional (EPC), emisiones por proceso no convencional (EPNC) y las emisiones que se reducen al emplear el biodiésel (EUBP), de estas tres, las EUBP representan un mismo valor independiente de cada escenario, debido a que en cada escenario se empleó todos los residuos orgánicos para la producción, en primera instancia, del aceite.

Las emisiones que genera un mayor impacto ambiental son las EPC seguidas de las EUBP, este impacto ambiental representa entre el 87-93% y del 7.82-9% del impacto ambiental de cada escenario, respectivamente.



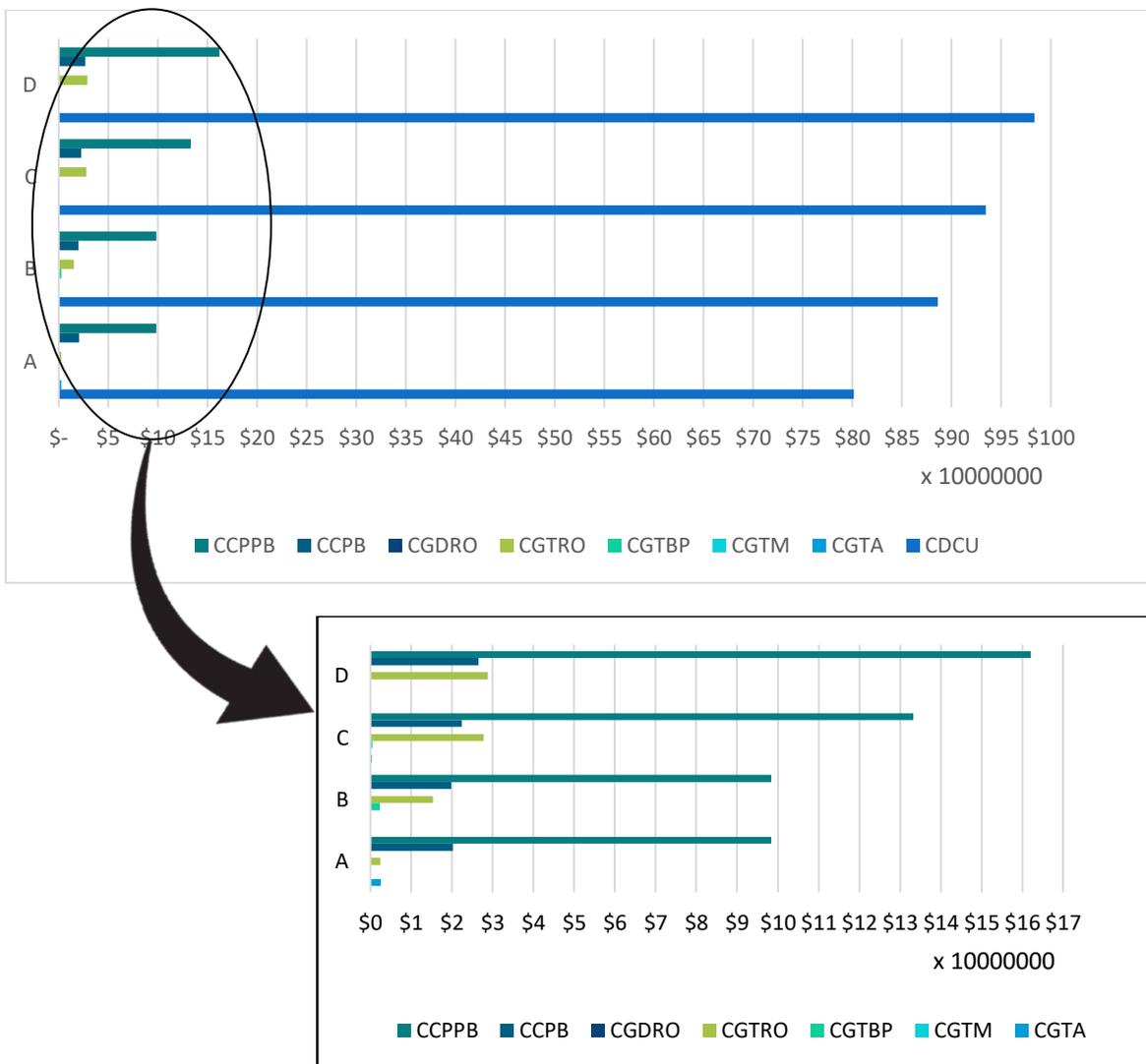
**Figura 25.** Emisiones de CO<sub>2</sub> de acuerdo a las emisiones por proceso no convencional, donde se consideran las emisiones que intervienen para la generación del biodiésel proveniente de la larva de mosca soldado.



**Figura 26.** Emisiones de CO<sub>2</sub> totales del proceso, ejemplificando las emisiones por proceso convencional y por proceso no convencional, así como las emisiones que se reducirían por uso del biodiésel.

### IMPACTO ECONÓMICO

La **Figura 27** muestra todos los costos que se tomaron a consideración en el modelo, como lo son el costo capital de cada planta de biotransformación (CCPB), el costo capital de cada planta de producción de biodiésel (CCPPB), el costo capital de diésel convencional usado (CDCU), el costo generado por el transporte de aceite (CGTA), el costo generado por el transporte de biodiésel en mezcla (CGTM), el costo generado por el transporte de biodiésel puro (CGTBP), el costo generado por el transporte de residuos orgánicos (CGTRO), el costo generado por la disposición de residuos orgánicos en relleno sanitario (CGDRO).



**Figura 27.** Costos considerados de todo el proceso.

El valor de los costos que predomina en este análisis está dado por los costos generados debido al diésel convencional usado (CDCU) cuyo valor ronda entre 81.8-86.69% de los costos totales en cada escenario. En tanto los demás costos que se consideraron en el análisis solo el costo capital por las plantas de biotransformación (CCPB) son los que siguen en magnitud a los CDCU, cabe destacar que conforme se busca disminuir la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> el CDCU aumenta, puesto que conforme se cambia de escenario, el número de plantas instaladas aumenta y esto repercute directamente en el valor ya que aunque en cada estado se emplea la misma cantidad de biodiésel y por ende se requiere magnitudes

iguales de diésel para generar la mezcla, este considera el transporte y por ello el valor varia, pues al incrementar los estados incrementa la tarifa recorrida.

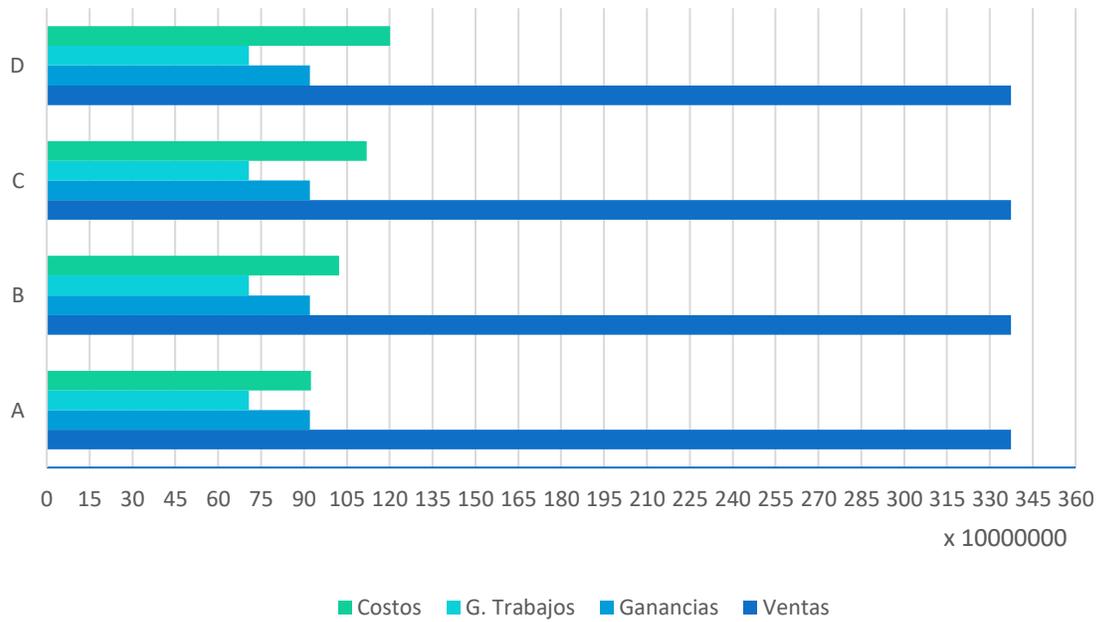
La **Figura 28** muestra la comparación entre el costo total, las ventas, trabajos y ganancias generadas de acuerdo a la cadena de suministro establecida. Comparando los costos totales de cada escenario se obtiene un incremento de 28.92% con respecto al escenario A, esto se explica de acuerdo a los costos que genera el aumento de instalaciones de plantas de biotransformación así como de plantas de producción de biodiésel, pues en el escenario A se tiene un total de 13 plantas, de las cuales 10 son plantas de biotransformación y las restantes de producción d biodiésel, mientras que en el escenario B se obtiene un total de 7 plantas de las cuales 4 son plantas de biotransformación y las restantes de producción de biodiésel, mientras que en el escenario C se cuenta con 9 plantas de biotransformación y 9 plantas de producción de biodiésel y finalmente, el escenario que mayor plantas instala es el D, donde se obtiene un total de 24 plantas, de las cuyas 12 son de biotransformación y 12 de producción de biodiésel.

Cabe destacar que en tanto las ventas, ganancias y generación de trabajos en cada uno de los escenarios se puede apreciar en el grafico que para todos se presenta el mismo valor, debido a que estas se calculan considerando en primera instancia los residuos orgánicos y ya que en cada uno de los escenarios se emplean todos los residuos, el resultado en estos aspectos es indiferente a cada escenario. Es así que la variación en cada escenario recae en los costos propios de cada uno, estos valores rondan entre 15-19% del total de cada uno de los escenarios.

Así mismo, en la **Figura 28** puede apreciarse que todos los escenarios tienen un gran valor en tanto las ventas y ganancias generadas, y es por ello que en ninguno de los escenarios se presentan perdida, por caso contrario se obtiene una gran retribución económica.

Comparando el escenario A con el resto (B, C y D), el costo total disminuye debido a que hay un menor flujo en el transporte de materia prima, aceite y biodiésel puro, aunado a los costos menores de las plantas instaladas. La mejor opción económicamente hablando corresponde al escenario A en el cual se enfoca en la maximización del rendimiento de económico, pero si por el contrario queremos enfocarnos en la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas el escenario D corresponde a la mejor opción, puesto que en comparación a

los demás escenarios es el que menos cantidades de emisiones por proceso convencional desencadena.



**Figura 28.** Representación en magnitud de los costos, generación de trabajos, ganancias y ventas de cada uno de los escenarios planteados.

## CONCLUSIONES

- En la presente tesis se genera un panorama general sobre la revalorización de residuos orgánicos mediante herramientas biológicas, revalorización que puede generar no sólo beneficios económicos sino también sociales y ambientales. Beneficios que son mostrados en cada una de las soluciones compromiso evaluadas y presentadas.
- Los biocombustibles, son una solución atractiva económica y ambientalmente para la transición a los problemas energéticos, económicos y ambientales, son uno de los medios que pueden ayudar a conseguir la transición energética que tanto se está buscando en la actualidad.
- Es posible observar que es necesario invertir para poder lograr por un lado la revalorización de residuos que hoy en día son tirados en vertederos generando un problema ambiental más grave. Estrategia que benéfica por partida doble ambientalmente, puesto que, aunado a evitar las emisiones por disposición en vertedero de dichos residuos, estos pueden generar productos que se integran a la generación de energéticos sustentables.
- Por otro lado, es posible identificar que las cadenas de suministro evaluadas de manera nacional, contribuyen al incremento de emisiones ambientales, por lo que proponer cadenas estatales, propicia a evitar el impacto ambiental.
- El modelo generado puede ser aplicado a diferentes casos de estudios, ya sean municipal, estatal o nacional, el cual puede ser una herramienta capaz de generar soluciones atractivas para los tomadores de decisiones.

## RECOMENDACIONES

- Debido a la capacidad del modelo se propone a manera de recomendación el considerar otro tipo de residuos los cuales puedan propiciar panoramas más promisorios ambientalmente, es decir revalorizar otro tipo de residuos incrementando la disponibilidad de mezcla de biodiésel generado.
- Integrar el modelo a otros que se enfoquen en la generación de mezclas de biodiésel a partir de otras materias primas y métodos, con lo que se puede satisfacer una mayor demanda de diésel convencional.
- Promover la divulgación de este tipo de información, con el objetivo de propiciar la generación de políticas públicas, las cuales incentiven la revalorización de los residuos, tal como lo es el caso de la ley de economía circular.
- Se localizó que la producción de biodiésel tiene un factor de emisiones alto, esto se debe a que en todo el proceso se hace uso de energías convencionales, por lo cual se sugiere la investigación de medios y/o procesos que integren energías más amigables con el medio ambiente.

## DEDICATORIA

Este trabajo realizado, quiero dedicárselo a mis papas, al señor José María Aguilar Echevarría y la señora Martha Murguía Garay, quienes han sido testigos de todo mi trabajo, esfuerzo y dedicación, pero que además ellos han sido para mí mi motor y motivación a seguir en la vida, hacerles frente a las adversidades y no darme por vencida. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello sin pedir nunca nada a cambio. gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades. Es por ello que como recordatorio de esto, les dedico el trabajo que he realizado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Internacional de Energía “EIA”. (2021). Global energy review 2021. Recuperado 14 de mayo de 2021, de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0031107-401d-4a2f-a48b-9eed19457335/GlobalEnergyReview2021.pdf>
- Agencia Internacional de Energía “EIA”. (2021). Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector. Recuperado 14 de mayo de 2021, de <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) Energy Working Group, (2010, December), Biofuel Costs, *Technologies and Economics in APEC Economies*. Canadá.
- Asociación Española para la Calidad. (2021, 29 julio). *AEC - Gestión de los residuos*. AEC. Recuperado 14 de febrero de 2022, de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/gestion-de-los-residuos>.
- Beamon, B. M. & Chen, V. C. P. (2001). Performance analysis of conjoined supply chains. *International Journal of Production Research*, 39 (14), 3195-3218.
- Bicho, A. (2017, 2 agosto). *El aliado de las lombrices: Moscas Soldado*. La Huertina De Toni. Recuperado 5 de enero de 2022, de <https://www.lahuertinadetoni.es/el-aliado-de-las-lombrices-moscas-soldado/>
- Buján Pérez, A. (2017, 1 marzo). *Programación lineal*. Enciclopedia Financiera. Recuperado 5 de enero de 2022, de <http://www.encyclopediainanciera.com/definicion-programacion-lineal.html>
- Cabrera-Gutiérrez, D. & López Gutiérrez, A. L. (2021). *Evaluación de la larva de mosca soldado negra (hermetia illucens) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos*. Bogotá. Recuperado el 28 de diciembre de 2021, de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8329/1/6152687-2021-1-IQ.pdf>
- Calvante, A. M. (2007, junio). *El concepto moderno de sustentabilidad*. Universidad Abierta Interamericana. Recuperado 4 de junio de 2021, de

<http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/sde/uais-sds-100-002%20-%20sustentabilidad.pdf>

- Chávez Mieles, G. M., Gallegos Cruz, R. O. & Tapia Cárdenas, M. I. (2010, 22 octubre). DSpace en ESPOL: Proyecto de implementación de una planta procesadora de palma africana para la producción de biodiesel como una alternativa de energía renovable para el parque automotor de la ciudad de Quito. Guayaquil-Ecuador. Recuperado 15 de diciembre de 2021, de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/13396>
- Coelho, F. (2019, 27 mayo). *Significado de Sustentabilidad*. Significados. Recuperado el 4 de junio del 2021, de <https://www.significados.com/sustentabilidad/>
- CyD. (2015, 16 diciembre). Ciencia y Desarrollo. Recuperado 14 de febrero de 2022, de <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=31>
- El-Halwagi, M. M. (2006). *Process Integration*. [en línea] Texas: Elsevier. Google Books. Recuperado 7 de junio de 2021, de <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=DCrHBFWVHfEC&oi=fnd&pg=PR1&dq=el+halwagi+process+integration&ots=hBWYZd1bXY&sig=kNEbsBMJchIZptnTdFDnuR6hw3g#v=onepage&q&f=false>
- Elsayed, M., Ran, Y., Ai, P., Azab, M., Mansour, A., Jin, K., Zhang, Y., & Abomohra, A. E. F. (2020). Innovative integrated approach of biofuel production from agricultural wastes by anaerobic digestion and black soldier fly larvae. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121495. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121495>
- Fábrica Ecológica*. (s. f.). [PNG]. flaticon. <a href="https://www.flaticon.com/free-icons/factory" title="factory icons">Factory icons created by Freepik - Flaticon</a>
- Feng, W., Qian, L., Wang, W., Wang, T., Deng, Z., Yang, F., Xiong, J., Wang, C. (2018). Exploring the potential of lipids from black soldier fly: New paradigm for biodiesel production (II) Extraction kinetics and thermodynamic. *Renewable Energy*. 119, 12-18. 10.1016/j.renene.2017.11.076
- Gómez-Castro, F. I., Gutiérrez-Antonio, C., Hernández, S., Conde-Mejía, C., López-Molina, A. & Morales-Rodríguez, R. (julio-diciembre, 2019). Producción de biocombustibles

- en México. Parte 2. Procesos de Producción y Áreas de Oportunidad. *Digital Ciencia*. 12 (2), 51- 60. ISSN: 2395-8847.
- González Cortés, M., Castellanos Gallo, L., Albernas Carvajal, Y., González Suárez, E. (2014). La integración de procesos en el esquema de una biorrefinería. *Afinidad*, [en línea], 71 (568), 274-278. Recuperado 7 de febrero de 2021, de <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/287619/375767>.
- Grande Tovar, C. D. (2014). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales. Biocombustibles* [en línea]. (1.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). Cali: Editorial Bonaventuriana. Recuperado el 07 de junio del 2021, de <http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4441/1/Biocombustibles.pdf>
- Gupta, A. & Maranas, C. D. (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers & Chemical Engineering*, 27 (89), 1219-1227.
- Haupt, J., Bockey, D., & Wilham, T. (2010). Recommendations for a Mexican biodiesel standard and the infrastructure required for its handling. Recuperado el 04 de mayo de 2021, de [http://www.agqm-biodiesel.de/files/7013/2999/2311/20101223\\_Endbericht\\_GTZ\\_AGQM\\_Projekt\\_Recommendation\\_for\\_a\\_Mexican\\_Biodiesel\\_Standard.pdf](http://www.agqm-biodiesel.de/files/7013/2999/2311/20101223_Endbericht_GTZ_AGQM_Projekt_Recommendation_for_a_Mexican_Biodiesel_Standard.pdf)
- Hernández-Pérez, L. G., Sánchez-Tuirán, E., Ojeda, K. A., El-Halwagi, M. M., & Ponce-Ortega, J. M. (2019). Optimization of Microalgae-to-Biodiesel Production Process Using a Metaheuristic Technique. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(9), 8490–8498. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b00274>. Recuperado 1 de junio de 2021, de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acssuschemeng.9b00274>
- Herrera Murillo, J., Rojas Marín, J. F., & Anchía Leitón, D. (2018, enero-junio). Emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes criterio derivados de diferentes medidas de mitigación en la gestión de residuos sólidos urbanos del cantón de San José, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(1), 94–109. <https://doi.org/10.15359/rca.52-1.5>

- Herrera, E. (2020, 18 de febrero). Transportar gasolina en México es más caro. *Milenio*. [en línea]. Recuperado 4 de agosto de 2021, de <https://www.milenio.com/negocios/transportar-gasolina-en-mexico-es-mas-caro>
- Im-orb, K., Arpornwichanop, A., & Simasatitkul, L. (2021). Process intensification approach for design and optimization of biodiesel production from palm fatty acid distillate. *Biotechnology Reports*, 30, e00622. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00622>. Recuperado 1 de junio de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X21000382>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018, 18 mayo). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero*. Gobierno de MÉXICO. Recuperado 31 de mayo de 2021, de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021, 25 enero). *Población*. INEGI. Recuperado 19 de mayo de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020, 27 febrero). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2019*. INEGI. Recuperado 24 de junio de 2021, de [https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2019/#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2019/#Datos_abiertos)
- Islas-Sampeiro J. & Martínez-Jiménez A. (Abril-Junio, 2010). Bioenergía. *Ciencia*, 30–39. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61\\_2/PDF/Bioenergia.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/Bioenergia.pdf)
- Jamil, F., Al-Muhtaseb, A., Zar-Myint, M.T., Al-Hinai, M., Al-Haj, L., Baawain, M., Al-Abri, M., Kumar, G., Atabani, A.E. (2018). Biodiesel production by valorizing waste Phoenix dactylifera L. Kernel oil in the presence of synthesized heterogeneous metallic oxide catalyst (Mn@MgO-ZrO<sub>2</sub>). *Energy Conversion and Management*. 155, 128-137. 10.1016/j.enconman.2017.10.064
- Jung, S., Jung, J.M., Tsang, Y.F., Bhatnagar, A., Chen, W.H., Lin, K.Y. A., Kwon, E.E. (2022). Biodiesel production from black soldier fly larvae derived from food waste

- by non-catalytic transesterification. *Energy*. 238, 121700. 10.1016/j.energy.2021.121700
- Leong, S. Y., Mohamed-Kutty, S. R., Malakahmad, A., & Tan, C. K. (2015). Feasibility study of biodiesel production using lipids of *Hermetia illucens* larva fed with organic waste. *Waste Management*, 47, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.030>
- Mansir, N., Teo, S.H., Rashid, U., Saiman, M.I., Tan, Y.P., Abdulkareem, A., Taufiq-Yap, Y.H. (2018). Modified waste egg shell derived bifunctional catalyst for biodiesel production from high FFA waste cooking oil. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82(3), 3645-3655. 10.1016/j.rser.2017.10.098
- Marchini-Fonseca, J., Teleken, J.G., de-Cinque-Almeida, V., da-Silva, C. (2019). Biodiesel from waste frying oils: Methods of production and purification. *Energy Conversion and Management*. 184, 205-218. 10.1016/j.enconman.2019.01.061
- Martínez-Guido, S.I., García-Trejo, J.F., Gutiérrez-Antonio, C., Domínguez-González, A., Gómez-Castro, F.I., Ponce-Ortega, J.M. (2021). The integration of pelletized agricultural residues into electricity grid: Perspectives from the human, environmental and economic aspects. *Journal of Cleaner Production*. 321, 128932. 10.1016/j.jclepro.2021.128932
- Matos Ríos, D. M., Ponce Ortega, J. M. & Gutiérrez Antonio, C. (2021, abril-junio), Cadena de suministro para la producción de biocombustibles, *Ciencia*, 72 (2), 10-17.
- Meza Contreras J. A, Nápoles Rivera F. & Ponce Ortega, J. M. (2016, octubre). *Optimización de redes de agua aplicadas a la agricultura*. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán. Repositorio UMSNH. Recuperado 10 de junio de 2021, de [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/4875](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4875)Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J. M., Barquín, J & Linares, P., (2010). *Modelos matemáticos de optimización*. Universidad Pontificia ICAE. Madrid. Academia. Recuperado 22 de junio de 2021, de

[https://www.academia.edu/7866196/MODELOS\\_MATEM%C3%81TICOS\\_DE\\_OPTIMIZACI%C3%93N](https://www.academia.edu/7866196/MODELOS_MATEM%C3%81TICOS_DE_OPTIMIZACI%C3%93N)

- Multion. (2021, 18 diciembre). *GAMS*. Multion Consulting. Recuperado 20 de diciembre de 2021, de <https://multion.com/producto/gams>
- Nguyen, H. C., Liang, S. H., Chen, S. S., Su, C. H., Lin, J. H., & Chien, C. C. (2018B). Enzymatic production of biodiesel from insect fat using methyl acetate as an acyl acceptor: Optimization by using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, *158*, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.068>
- Nguyen, H. C., Liang, S. H., Doan, T. T., Su, C. H., & Yang, P. C. (2017). Lipase-catalyzed synthesis of biodiesel from black soldier fly (*Hermetia illucens*): Optimization by using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, *145*, 335–342. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.05.010>
- Nguyen, H. C., Liang, S. H., Li, S. Y., Su, C. H., Chien, C. C., Chen, Y. J., & Huong, D. T. M. (2018A). Direct transesterification of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for biodiesel production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *85*, 165–169. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2018.01.035>
- Pang, W., Hou, D., Ke, J., Chen, J., Holtzapfle, M. T., Tomberlin, J. K., Chen, H., Zhang, J., & Li, Q. (2019). Production of biodiesel from CO<sub>2</sub> and organic wastes by fermentation and black soldier fly. *Renewable Energy*, *149*, 1174–1181. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.099>
- Parodi, A., de Boer, I. J., Gerrits, W. J., van Loon, J. J., Heetkamp, M. J., van Schelt, J., Bolhuis, J. E., & van Zanten, H. H. (2020). Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during black soldier fly rearing – A mass balance approach. *Journal of Cleaner Production*, *271*, 122488. (ISSN 0959-6526). Recuperado 2 de agosto de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262032535X?via%3Dihub>. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122488>

- Pasaye-Anaya, L., Vargas-Tah, A., Martínez-Cámara, C., Castro-Montoya, A. J., & Campos-García, J. (2019). Production of 2,3-butanediol by fermentation of enzymatic hydrolysed bagasse from agave mezcal-waste using the native *Klebsiella oxytoca* UM2-17 strain. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(12), 3915–3923. <https://doi.org/10.1002/jctb.6190>. Recuperado 1 de junio de 2021, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jctb.6190>
- PETROIntelligence. (2021). *Precios de la gasolina y diésel hoy PETROIntelligence*. Recuperado 4 de agosto de 2021, de <https://petrointelligence.com/precios-de-la-gasolina-y-diesel-hoy.php>
- Petróleos Mexicanos (PEMEX). (2021, abril). *Estadísticas Petroleras*. PEMEX. Recuperado 1 de mayo de 2021, de [https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Indicadores%20Petroleros/evolumenventas\\_esp.pdf](https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Indicadores%20Petroleros/evolumenventas_esp.pdf)
- PLATAFORMA DIGITAL GASGAS SAS DE CV. (2020, 18 febrero). *Resultados y tendencias del sector gasolinero*. GasGas. Recuperado 3 de agosto de 2021, de <https://gasgas.com.mx/analytics>
- Ramos, F. D., Diaz, M. S. & Villar, M. A. (2016, 1 enero). Biocombustibles. *Ciencia Hoy*, 147, 69–73. ISSN: 1666-517. Recuperado el 20 de julio de 2021, de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/25791>
- Rehman, K. U., Liu, X., Wang, H., Zheng, L., Rehman, R. U., Cheng, X., Li, Q., Li, W., Cai, M., Zhang, J., & Yu, Z. (2018). Effects of black soldier fly biodiesel blended with diesel fuel on combustion, performance and emission characteristics of diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 173, 489–498. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.102>
- Riegelhaupt, E., Odenthal, J. & Janeiro, L. Banco Interamericano de Desarrollo para SENER. (2016, 12 agosto). Diagnóstico de la situación actual del biodiésel en México y escenarios para su aprovechamiento (N.º BIENL16163). Ecofys. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/275444/Final\\_Report.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/275444/Final_Report.pdf)

- Riegelhaupt, E., Odenthal, J. & Janeiro, L. Banco Interamericano de Desarrollo para SENER. (2016, 12 agosto). Diagnóstico de la situación actual del biodiésel en México y escenarios para su aprovechamiento (N.º BIENL16163). Ecofys. Recuperado el 06 de agosto del 2021, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/275444/Final\\_Report.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/275444/Final_Report.pdf)
- Rojas-González, A., Chaparro-Anaya, O., & Andrés-Ospina, C. (2011). Evaluación de mezclas biodiésel-diésel en la generación de energía eléctrica. *Ingeniería y Universidad*, 15 (2),319-336. Recuperado 6 de junio de 2021, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47721739002>. ISSN: 0123-2126
- Roldán, P. N. (2019, 3 enero). *Modelo matemático*. Economipedia. Recuperado 14 de febrero de 2022, de <https://economipedia.com/definiciones/modelo-matematico.html>
- Roncero, A. (2013, 25 febrero). *Emisiones de CO2: ¿qué contamina más, un gasolina o un diesel?* Auto10.com | Expertos en coches. Recuperado 11 de agosto de 2021, de <https://www.auto10.com/reportajes/emisiones-de-co2-que-contamina-mas-un-gasolina-o-un-diesel/588>
- Rosenthal, R. E. (2007). *GAMS —A User's Guide*. GAMS. Recuperado 20 de diciembre de 2021, de [https://www.un.org/en/development/desa/policy/mdg\\_workshops/training\\_material/gams\\_users\\_guide.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/policy/mdg_workshops/training_material/gams_users_guide.pdf)
- Rosillo-Pantoja, I., Garcia-Rangel, S. (2019, febrero), *Perspectivas, retos y propuestas para mejorar y armonización legal del aprovechamiento energético de residuos urbanos en México-Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México*. Recuperado 20 de diciembre de 2021, de [https://www.giz.de/de/downloads/EnRes\\_Perspectivas\\_propuestas\\_legales\\_residuos\\_urbanos.pdf](https://www.giz.de/de/downloads/EnRes_Perspectivas_propuestas_legales_residuos_urbanos.pdf)
- Ruszczynski, A. (2006). *Nonlinear Optimization*. [en línea], Estados Unidos: Princeton University Press. Google Books. Recuperado 13 de junio de 2021, de <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=41dhYmzMSm4C&oi=fnd&pg>

=PP1&dq=optimization&ots=jWDStx1UXo&sig=Yt\_\_1f6jsm27KaJzUSZRxl2YvLs&redir\_esc=y#v=onepage&q=optimization&f=false

Sabev Varbanov, P. (2013, 1 enero). *Basic Process Integration Terminology*. ScienceDirect. Recuperado 7 de junio de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857095930500022>

Salinas Callejas, E. & Gasca Quezada, V. (septiembre-octubre, 2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, ISSN: 0186-1840, (157), 75-82 Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco Distrito Federal, México. Recuperado el 6 de junio de 2021 de <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>

Salinas Callejas, E. & Gasca Quezada, V. (septiembre-octubre, 2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, ISSN: 0186-1840, (157), 75-82 Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco Distrito Federal, México. Recuperado el 6 de junio de 2021 de <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>

Sánchez Galán, J. (2016, 29 junio). *Economía circular*. Economipedia. Recuperado 21 de junio de 2021, de <https://economipedia.com/definiciones/economia-circular.html#:~:text=La%20econom%C3%ADa%20circular%20plantea%20un,un%20ciclo%20de%20vida%20circular.>

Santinelli Ramos, M. Á. (2020, 2 diciembre). *México busca establecer la economía circular como una estrategia del gobierno federal con la ley general de economía circular / Facultad de Responsabilidad Social*. Anáhuac. Recuperado 21 de junio de 2021, de <https://www.anahuac.mx/mexico/EscuelasyFacultades/responsabilidadsocial/noticias/mexico-busca-establecer-la-economia-circular-como-una-estrategia-del-gobierno-federal-con>

Secretaría de Energía (SENER). (2020). *Balance Nacional de Energía 2019*. Gobierno de México. Recuperado 20 de mayo de 2021, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/618408/20210218\\_BNE.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/618408/20210218_BNE.pdf)

- Secretaría de Energía (SENER). (2021). *Volumen de ventas por tipo de petrolíferos*. Gobierno de MÉXICO. Recuperado 1 de mayo de 2021, de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/volumen-de-ventas-por-tipo-de-petroliferos>
- SOFTWARE AND MANUAL FOR GREET.net (2020) (ANL-IN-12-005). Authors: Amgad Elgowainy, David Dieffenthaler, Vadim Sokolov, Raja Sabbisetti, Corey Cooney, Azeam Anjum, and Zifeng Lu. Email contact: [greet@anl.gov](mailto:greet@anl.gov)
- Soria-Ornelas, M. L., Gutiérrez Antonio, C. & Rodríguez, J. M. (2016, 9 febrero), Biocombustibles de cara al future: un panorama actual. *Digital Ciencia*. 1-16.
- Su, C.H., Nguyen, H.C., Bui, T.L., Huang, D.L. (2019). Enzyme-assisted extraction of insect fat for biodiesel production. *Journal of Cleaner Production*. 223, 436-44. 10.1016/j.jclepro.2019.03.150
- Surendra K, Olivier R, Tomberlin JK, Jha R, Khanal SK. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*. 98, 197-202. 10.1016/j.renene.2016.03.022.
- Syafiuddin, A., Chong, J.H., Yuniarto, A., Hadibarata, T. (2020). The current scenario and challenges of biodiesel production in Asian countries: A review. *Bioresources Technology Reports*. 12, 100608. 10.1016/j.biteb.2020.100608
- Thoppil, Y., & Zein, S. H. (2021a). Techno-economic analysis and feasibility of industrial-scale biodiesel production from spent coffee grounds. *Journal of Cleaner Production*, 307, 127113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127113>. Recuperado 1 de junio de 2021, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621013329>
- Vega Charpentier, O. (2010). *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II. Biodiésel*. [en línea]. San José, Costa Rica: IICA. Agriperfiles. Recuperado 30 de noviembre de 2021, de <https://agriperfiles.agri-d.net/display/n29521>
- Veolia. (2021). *Relleno Sanitario*. Veolia México | Termo CDMX. Recuperado 15 de julio de 2021, de <https://www.veolia.com.mx/termocdmx/search?keywords=relleno+sanitario>

- Wang, C., Qian, L., Wang, W., Wang, T., Deng, Z., Yang, F., Xiong, J., & Feng, W. (2017). Exploring the potential of lipids from black soldier fly: New paradigm for biodiesel production (I). *Renewable Energy*, *111*, 749–756. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.063>
- Westreicher, G. (2020, 7 agosto). *Integración*. Economipedia. Recuperado 14 de febrero de 2022, de <https://economipedia.com/definiciones/integracion.html#:~:text=La%20integraci%C3%B3n%20es%20el%20proceso,de%20un%20conjunto%20en%20com%20BAn>.
- Zhang, Q.; Shah, N.; Wassick, J.; Helling, R.; Van-Egerschot, P. (2014). Sustainable supply chain optimization: An industrial case study. *Computers & Industrial Engineering*. *74* (1), 68-83.
- Zobaa, A. F., & Bansal, R. C. (2011). *Handbook Of Renewable Energy Technology*. [en línea]. Estados Unidos: World Scientific. Google Books. Recuperado 21 de junio de 2021, de <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=j8vFCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=handbook+of+renewable+energy+technology&ots=cl9z0iod4v&sig=PmjrTEc2xSq8cuGJuEf2yDRXIWE#v=onepage&q=handbook%20of%20renewable%20energy%20technology&f=false>

# ANEXOS

ANEXO 1

Anexo 1. Costo de Transporte por Residuos Orgánicos (CT<sub>ij</sub><sup>ro</sup>)

Ed.	COSTOS POR TRANSPORTE DE RESIDUOS ORGÁNICOS															
	ESTADO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	\$ -	\$ 48.04	\$ 30.74	\$ 36.43	\$ 29.66	\$ 21.26	\$ 11.09	\$ 9.29	\$ 11.14	\$ 9.14	\$ 10.64	\$ 3.98	\$ 17.19	\$ 11.30	\$ 4.97	\$ 7.04
2	\$ 48.04	\$ -	\$ 30.51	\$ 83.79	\$ 77.02	\$ 26.55	\$ 42.95	\$ 49.86	\$ 58.19	\$ 40.66	\$ 56.75	\$ 52.25	\$ 64.06	\$ 58.66	\$ 46.24	\$ 52.63
3	\$ 30.74	\$ 30.51	\$ -	\$ 83.79	\$ 77.02	\$ 26.55	\$ 42.95	\$ 49.86	\$ 58.19	\$ 40.66	\$ 56.75	\$ 52.25	\$ 64.06	\$ 58.66	\$ 46.24	\$ 52.63
4	\$ 36.43	\$ 83.79	\$ 83.79	\$ -	\$ 14.18	\$ 57.58	\$ 44.10	\$ 41.74	\$ 25.52	\$ 45.43	\$ 26.84	\$ 33.17	\$ 29.09	\$ 25.56	\$ 37.49	\$ 32.13
5	\$ 29.66	\$ 77.02	\$ 77.02	\$ 14.18	\$ -	\$ 50.83	\$ 37.35	\$ 34.99	\$ 18.79	\$ 38.41	\$ 20.09	\$ 26.42	\$ 22.32	\$ 18.79	\$ 30.74	\$ 25.27
6	\$ 21.26	\$ 26.55	\$ 26.55	\$ 57.58	\$ 50.83	\$ -	\$ 16.22	\$ 30.53	\$ 32.24	\$ 14.15	\$ 31.88	\$ 25.22	\$ 38.16	\$ 31.95	\$ 26.21	\$ 28.28
7	\$ 11.09	\$ 42.95	\$ 42.95	\$ 44.10	\$ 37.35	\$ 16.22	\$ -	\$ 20.16	\$ 18.81	\$ 11.45	\$ 18.47	\$ 13.77	\$ 25.00	\$ 18.52	\$ 15.82	\$ 17.08
8	\$ 9.29	\$ 49.86	\$ 49.86	\$ 41.74	\$ 34.99	\$ 30.53	\$ 20.16	\$ -	\$ 16.34	\$ 18.36	\$ 14.90	\$ 10.49	\$ 22.21	\$ 16.22	\$ 4.39	\$ 10.76
9	\$ 11.14	\$ 58.19	\$ 58.19	\$ 25.52	\$ 18.79	\$ 32.24	\$ 18.81	\$ 16.34	\$ -	\$ 20.09	\$ 1.51	\$ 8.10	\$ 6.19	\$ 2.07	\$ 12.29	\$ 7.07
10	\$ 9.14	\$ 40.66	\$ 40.66	\$ 45.43	\$ 38.41	\$ 14.15	\$ 11.45	\$ 18.36	\$ 20.09	\$ -	\$ 19.76	\$ 13.07	\$ 26.30	\$ 19.80	\$ 14.06	\$ 16.16
11	\$ 10.64	\$ 56.75	\$ 56.75	\$ 26.84	\$ 20.09	\$ 31.88	\$ 18.47	\$ 14.90	\$ 1.51	\$ 19.76	\$ -	\$ 7.58	\$ 6.39	\$ 2.88	\$ 10.69	\$ 5.33
12	\$ 3.98	\$ 52.25	\$ 52.25	\$ 33.17	\$ 26.42	\$ 25.22	\$ 13.77	\$ 10.49	\$ 8.10	\$ 13.07	\$ 7.58	\$ -	\$ 14.13	\$ 7.63	\$ 6.17	\$ 3.98
13	\$ 17.19	\$ 64.06	\$ 64.06	\$ 29.09	\$ 22.32	\$ 38.16	\$ 25.00	\$ 22.21	\$ 6.19	\$ 26.30	\$ 6.39	\$ 14.13	\$ -	\$ 7.88	\$ 17.91	\$ 12.56
14	\$ 11.30	\$ 58.66	\$ 58.66	\$ 25.56	\$ 18.79	\$ 31.95	\$ 18.52	\$ 16.22	\$ 2.07	\$ 19.80	\$ 2.88	\$ 7.63	\$ 7.88	\$ -	\$ 11.95	\$ 6.59
15	\$ 4.97	\$ 46.24	\$ 46.24	\$ 37.49	\$ 30.74	\$ 26.21	\$ 15.82	\$ 4.39	\$ 12.29	\$ 14.06	\$ 10.69	\$ 6.17	\$ 17.91	\$ 11.95	\$ -	\$ 6.48
16	\$ 7.04	\$ 52.63	\$ 52.63	\$ 32.13	\$ 25.27	\$ 28.28	\$ 17.08	\$ 10.76	\$ 7.07	\$ 16.16	\$ 5.33	\$ 3.98	\$ 12.56	\$ 6.59	\$ 6.48	\$ -
17	\$ 12.96	\$ 58.66	\$ 58.66	\$ 26.30	\$ 19.55	\$ 34.20	\$ 20.77	\$ 17.98	\$ 1.95	\$ 22.07	\$ 3.06	\$ 9.90	\$ 4.19	\$ 3.62	\$ 13.70	\$ 8.30
18	\$ 9.52	\$ 41.56	\$ 41.56	\$ 42.05	\$ 35.30	\$ 24.89	\$ 20.39	\$ 6.03	\$ 16.85	\$ 10.98	\$ 15.23	\$ 10.73	\$ 22.48	\$ 16.52	\$ 4.64	\$ 11.05
19	\$ 12.89	\$ 48.42	\$ 48.42	\$ 41.04	\$ 34.34	\$ 18.07	\$ 1.95	\$ 22.16	\$ 20.57	\$ 13.07	\$ 20.09	\$ 15.39	\$ 26.60	\$ 20.09	\$ 17.80	\$ 18.68
20	\$ 21.13	\$ 68.49	\$ 68.49	\$ 26.57	\$ 12.20	\$ 42.37	\$ 28.94	\$ 26.64	\$ 10.40	\$ 29.95	\$ 11.72	\$ 18.05	\$ 14.00	\$ 10.44	\$ 22.37	\$ 17.03
21	\$ 13.75	\$ 61.11	\$ 61.11	\$ 22.66	\$ 15.98	\$ 34.99	\$ 21.58	\$ 19.28	\$ 2.95	\$ 22.86	\$ 4.37	\$ 10.69	\$ 5.81	\$ 3.08	\$ 15.01	\$ 9.68
22	\$ 6.41	\$ 54.07	\$ 54.07	\$ 29.99	\$ 23.24	\$ 27.32	\$ 14.33	\$ 12.92	\$ 4.93	\$ 15.35	\$ 4.48	\$ 3.33	\$ 10.96	\$ 4.46	\$ 7.83	\$ 4.39
23	\$ 40.75	\$ 88.11	\$ 88.11	\$ 9.41	\$ 18.52	\$ 61.99	\$ 48.56	\$ 46.26	\$ 30.02	\$ 49.86	\$ 31.34	\$ 37.67	\$ 33.62	\$ 30.08	\$ 41.99	\$ 36.65
24	\$ 3.71	\$ 49.55	\$ 49.55	\$ 34.49	\$ 27.74	\$ 22.93	\$ 10.04	\$ 12.02	\$ 9.43	\$ 10.69	\$ 8.96	\$ 4.25	\$ 15.39	\$ 8.96	\$ 7.67	\$ 7.54
25	\$ 20.34	\$ 31.25	\$ 31.25	\$ 52.88	\$ 46.22	\$ 24.80	\$ 22.21	\$ 19.10	\$ 27.81	\$ 10.89	\$ 26.06	\$ 21.56	\$ 33.30	\$ 27.34	\$ 15.46	\$ 21.87
26	\$ 35.35	\$ 15.64	\$ 15.64	\$ 67.88	\$ 61.11	\$ 20.03	\$ 36.59	\$ 34.11	\$ 42.66	\$ 25.88	\$ 41.06	\$ 36.54	\$ 48.29	\$ 42.32	\$ 30.47	\$ 36.86
27	\$ 27.81	\$ 75.20	\$ 75.20	\$ 8.69	\$ 5.58	\$ 49.07	\$ 35.64	\$ 33.35	\$ 17.10	\$ 36.92	\$ 18.43	\$ 24.75	\$ 20.70	\$ 17.15	\$ 29.07	\$ 23.74
28	\$ 11.23	\$ 58.39	\$ 58.39	\$ 34.94	\$ 28.19	\$ 24.35	\$ 8.24	\$ 19.53	\$ 16.31	\$ 18.02	\$ 15.98	\$ 11.27	\$ 22.07	\$ 15.98	\$ 15.19	\$ 14.56
29	\$ 13.23	\$ 60.59	\$ 60.59	\$ 23.47	\$ 16.70	\$ 34.47	\$ 21.04	\$ 18.77	\$ 2.68	\$ 22.34	\$ 4.03	\$ 10.17	\$ 6.98	\$ 2.57	\$ 14.49	\$ 9.14
30	\$ 16.67	\$ 64.04	\$ 64.04	\$ 21.35	\$ 14.58	\$ 37.62	\$ 24.48	\$ 22.19	\$ 6.55	\$ 25.76	\$ 7.99	\$ 13.59	\$ 10.26	\$ 6.01	\$ 17.91	\$ 12.58
31	\$ 40.39	\$ 87.77	\$ 87.77	\$ 4.14	\$ 18.16	\$ 61.65	\$ 48.22	\$ 45.92	\$ 29.68	\$ 49.50	\$ 31.01	\$ 37.33	\$ 33.28	\$ 29.72	\$ 41.65	\$ 36.32
32	\$ 2.66	\$ 45.38	\$ 45.38	\$ 38.70	\$ 31.95	\$ 18.68	\$ 8.39	\$ 11.90	\$ 13.48	\$ 6.55	\$ 13.16	\$ 6.73	\$ 19.67	\$ 13.16	\$ 7.56	\$ 9.77

COSTOS POR TRANSPORTE DE RESIDUOS ORGANICOS																
ESTADO																
Ed.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	\$ 12.96	\$ 9.52	\$ 12.89	\$ 21.13	\$ 13.75	\$ 6.41	\$ 40.75	\$ 3.71	\$ 20.34	\$ 35.35	\$ 27.81	\$ 11.23	\$ 13.23	\$ 16.67	\$ 40.39	\$ 2.66
2	\$ 58.66	\$ 41.56	\$ 48.42	\$ 68.49	\$ 61.11	\$ 54.07	\$ 88.11	\$ 49.55	\$ 31.25	\$ 15.64	\$ 75.20	\$ 58.39	\$ 60.59	\$ 64.04	\$ 87.77	\$ 45.38
3	\$ 58.66	\$ 41.56	\$ 48.42	\$ 68.49	\$ 61.11	\$ 54.07	\$ 88.11	\$ 49.55	\$ 31.25	\$ 15.64	\$ 75.20	\$ 58.39	\$ 60.59	\$ 64.04	\$ 87.77	\$ 45.38
4	\$ 26.30	\$ 42.05	\$ 41.04	\$ 26.57	\$ 22.66	\$ 29.99	\$ 9.41	\$ 34.49	\$ 52.88	\$ 67.88	\$ 8.69	\$ 34.94	\$ 23.47	\$ 21.35	\$ 4.14	\$ 38.70
5	\$ 19.55	\$ 35.30	\$ 34.34	\$ 12.20	\$ 15.98	\$ 23.24	\$ 18.52	\$ 27.74	\$ 46.22	\$ 61.11	\$ 5.58	\$ 28.19	\$ 16.70	\$ 14.58	\$ 18.16	\$ 31.95
6	\$ 34.20	\$ 24.89	\$ 18.07	\$ 42.37	\$ 34.99	\$ 27.32	\$ 61.99	\$ 22.93	\$ 24.80	\$ 20.03	\$ 49.07	\$ 24.35	\$ 34.47	\$ 37.62	\$ 61.65	\$ 18.68
7	\$ 20.77	\$ 20.39	\$ 1.95	\$ 28.94	\$ 21.58	\$ 14.33	\$ 48.56	\$ 10.04	\$ 22.21	\$ 36.59	\$ 35.64	\$ 8.24	\$ 21.04	\$ 24.48	\$ 48.22	\$ 8.39
8	\$ 17.98	\$ 6.03	\$ 22.16	\$ 26.64	\$ 19.28	\$ 12.92	\$ 46.26	\$ 12.02	\$ 19.10	\$ 34.11	\$ 33.35	\$ 19.53	\$ 18.77	\$ 22.19	\$ 45.92	\$ 11.90
9	\$ 1.95	\$ 16.85	\$ 20.57	\$ 10.40	\$ 2.95	\$ 4.93	\$ 30.02	\$ 9.43	\$ 27.81	\$ 42.66	\$ 17.10	\$ 16.31	\$ 2.68	\$ 6.55	\$ 29.68	\$ 13.48
10	\$ 22.07	\$ 10.98	\$ 13.07	\$ 29.95	\$ 22.86	\$ 15.35	\$ 49.86	\$ 10.69	\$ 10.89	\$ 25.88	\$ 36.92	\$ 18.02	\$ 22.34	\$ 25.76	\$ 49.50	\$ 6.55
11	\$ 3.06	\$ 15.23	\$ 20.09	\$ 11.72	\$ 4.37	\$ 4.48	\$ 31.34	\$ 8.96	\$ 26.06	\$ 41.06	\$ 18.43	\$ 15.98	\$ 4.03	\$ 7.99	\$ 31.01	\$ 13.16
12	\$ 9.90	\$ 10.73	\$ 15.39	\$ 18.05	\$ 10.69	\$ 3.33	\$ 37.67	\$ 4.25	\$ 21.56	\$ 36.54	\$ 24.75	\$ 11.27	\$ 10.17	\$ 13.59	\$ 37.33	\$ 6.73
13	\$ 4.19	\$ 22.48	\$ 26.60	\$ 14.00	\$ 5.81	\$ 10.96	\$ 33.62	\$ 15.39	\$ 33.30	\$ 48.29	\$ 20.70	\$ 22.07	\$ 6.98	\$ 10.26	\$ 33.28	\$ 19.67
14	\$ 3.62	\$ 16.52	\$ 20.09	\$ 10.44	\$ 3.08	\$ 4.46	\$ 30.08	\$ 8.96	\$ 27.34	\$ 42.32	\$ 17.15	\$ 15.98	\$ 2.57	\$ 6.01	\$ 29.72	\$ 13.16
15	\$ 13.70	\$ 4.64	\$ 17.80	\$ 22.37	\$ 15.01	\$ 7.83	\$ 41.99	\$ 7.67	\$ 15.46	\$ 30.47	\$ 29.07	\$ 15.19	\$ 14.49	\$ 17.91	\$ 41.65	\$ 7.56
16	\$ 8.30	\$ 11.05	\$ 18.68	\$ 17.03	\$ 9.68	\$ 4.39	\$ 36.65	\$ 7.54	\$ 21.87	\$ 36.86	\$ 23.74	\$ 14.56	\$ 9.14	\$ 12.58	\$ 36.32	\$ 9.77
17	\$ -	\$ 18.36	\$ 22.48	\$ 11.32	\$ 3.74	\$ 6.86	\$ 30.96	\$ 11.27	\$ 29.18	\$ 43.79	\$ 18.02	\$ 18.36	\$ 4.30	\$ 7.58	\$ 30.60	\$ 15.55
18	\$ 18.36	\$ -	\$ 22.37	\$ 26.93	\$ 19.58	\$ 12.40	\$ 46.55	\$ 12.24	\$ 10.85	\$ 25.85	\$ 33.64	\$ 19.76	\$ 19.04	\$ 22.48	\$ 46.22	\$ 11.45
19	\$ 22.48	\$ 22.37	\$ -	\$ 30.47	\$ 23.09	\$ 15.86	\$ 45.45	\$ 11.57	\$ 23.99	\$ 38.36	\$ 32.51	\$ 6.39	\$ 20.86	\$ 21.11	\$ 45.09	\$ 10.37
20	\$ 11.32	\$ 26.93	\$ 30.47	\$ -	\$ 7.56	\$ 14.90	\$ 31.10	\$ 19.33	\$ 37.78	\$ 52.76	\$ 15.53	\$ 23.27	\$ 8.37	\$ 9.56	\$ 30.76	\$ 23.60
21	\$ 3.74	\$ 19.58	\$ 23.09	\$ 7.56	\$ -	\$ 7.54	\$ 27.20	\$ 11.97	\$ 30.42	\$ 454.25	\$ 14.27	\$ 15.75	\$ 1.01	\$ 3.83	\$ 26.84	\$ 16.25
22	\$ 6.86	\$ 12.40	\$ 15.86	\$ 14.90	\$ 7.54	\$ -	\$ 34.52	\$ 4.68	\$ 23.56	\$ 38.57	\$ 21.58	\$ 11.77	\$ 7.00	\$ 10.44	\$ 34.16	\$ 8.96
23	\$ 30.96	\$ 46.55	\$ 45.45	\$ 31.10	\$ 27.20	\$ 34.52	\$ -	\$ 38.79	\$ 57.17	\$ 72.18	\$ 12.94	\$ 39.26	\$ 27.77	\$ 25.65	\$ 8.62	\$ 43.00
24	\$ 11.27	\$ 12.24	\$ 11.57	\$ 19.33	\$ 11.97	\$ 4.68	\$ 38.79	\$ -	\$ 22.79	\$ 37.80	\$ 26.06	\$ 7.47	\$ 11.48	\$ 14.92	\$ 38.63	\$ 4.28
25	\$ 29.18	\$ 10.85	\$ 23.99	\$ 37.78	\$ 30.42	\$ 23.56	\$ 57.17	\$ 22.79	\$ -	\$ 15.73	\$ 44.44	\$ 28.35	\$ 29.84	\$ 33.28	\$ 57.02	\$ 16.88
26	\$ 43.79	\$ 25.85	\$ 38.36	\$ 52.76	\$ 45.41	\$ 38.57	\$ 72.18	\$ 37.80	\$ 15.73	\$ -	\$ 59.45	\$ 43.38	\$ 44.87	\$ 48.31	\$ 72.02	\$ 31.91
27	\$ 18.02	\$ 33.64	\$ 32.51	\$ 15.53	\$ 14.27	\$ 21.58	\$ 12.94	\$ 26.06	\$ 44.44	\$ 59.45	\$ -	\$ 26.33	\$ 14.85	\$ 12.71	\$ 12.60	\$ 30.08
28	\$ 18.36	\$ 19.76	\$ 6.39	\$ 23.27	\$ 15.75	\$ 11.77	\$ 39.26	\$ 7.47	\$ 28.35	\$ 43.38	\$ 26.33	\$ -	\$ 14.78	\$ 15.03	\$ 39.02	\$ 11.66
29	\$ 4.30	\$ 19.04	\$ 20.86	\$ 8.37	\$ 1.01	\$ 7.00	\$ 27.77	\$ 11.48	\$ 29.84	\$ 44.87	\$ 14.85	\$ 14.78	\$ -	\$ 3.96	\$ 27.61	\$ 15.73
30	\$ 7.58	\$ 22.48	\$ 21.11	\$ 9.56	\$ 3.83	\$ 10.44	\$ 25.65	\$ 14.92	\$ 33.28	\$ 48.31	\$ 12.71	\$ 15.03	\$ 3.96	\$ -	\$ 25.49	\$ 19.17
31	\$ 30.60	\$ 46.22	\$ 45.09	\$ 30.76	\$ 26.84	\$ 34.16	\$ 8.62	\$ 38.63	\$ 57.02	\$ 72.02	\$ 12.60	\$ 39.02	\$ 27.61	\$ 25.49	\$ -	\$ 42.71
32	\$ 15.55	\$ 11.45	\$ 10.37	\$ 23.60	\$ 16.25	\$ 8.96	\$ 43.00	\$ 4.28	\$ 16.88	\$ 31.91	\$ 30.08	\$ 11.66	\$ 15.73	\$ 19.17	\$ 42.71	\$ -

## ANEXO 2

Anexo 2. Precio por Transporte de Aceite (PTAc<sub>j,k</sub>)

COSTOS POR TRANSPORTE DE ACEITE																
ESTADO																
Ea.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	\$ -	\$ 48.04	\$ 30.74	\$ 36.43	\$ 29.66	\$ 21.26	\$ 11.09	\$ 9.29	\$ 11.14	\$ 9.14	\$ 10.64	\$ 3.98	\$ 17.19	\$ 11.30	\$ 4.97	\$ 7.04
2	\$ 48.04	\$ -	\$ 30.51	\$ 83.79	\$ 77.02	\$ 26.55	\$ 42.95	\$ 49.86	\$ 58.19	\$ 40.66	\$ 56.75	\$ 52.25	\$ 64.06	\$ 58.66	\$ 46.24	\$ 52.63
3	\$ 30.74	\$ 30.51	\$ -	\$ 83.79	\$ 77.02	\$ 26.55	\$ 42.95	\$ 49.86	\$ 58.19	\$ 40.66	\$ 56.75	\$ 52.25	\$ 64.06	\$ 58.66	\$ 46.24	\$ 52.63
4	\$ 36.43	\$ 83.79	\$ 83.79	\$ -	\$ 14.18	\$ 57.58	\$ 44.10	\$ 41.74	\$ 25.52	\$ 45.43	\$ 26.84	\$ 33.17	\$ 29.09	\$ 25.56	\$ 37.49	\$ 32.13
5	\$ 29.66	\$ 77.02	\$ 77.02	\$ 14.18	\$ -	\$ 50.83	\$ 37.35	\$ 34.99	\$ 18.79	\$ 38.41	\$ 20.09	\$ 26.42	\$ 22.32	\$ 18.79	\$ 30.74	\$ 25.27
6	\$ 21.26	\$ 26.55	\$ 26.55	\$ 57.58	\$ 50.83	\$ -	\$ 16.22	\$ 30.53	\$ 32.24	\$ 14.15	\$ 31.88	\$ 25.22	\$ 38.16	\$ 31.95	\$ 26.21	\$ 28.28
7	\$ 11.09	\$ 42.95	\$ 42.95	\$ 44.10	\$ 37.35	\$ 16.22	\$ -	\$ 20.16	\$ 18.81	\$ 11.45	\$ 18.47	\$ 13.77	\$ 25.00	\$ 18.52	\$ 15.82	\$ 17.08
8	\$ 9.29	\$ 49.86	\$ 49.86	\$ 41.74	\$ 34.99	\$ 30.53	\$ 20.16	\$ -	\$ 16.34	\$ 18.36	\$ 14.90	\$ 10.49	\$ 22.21	\$ 16.22	\$ 4.39	\$ 10.76
9	\$ 11.14	\$ 58.19	\$ 58.19	\$ 25.52	\$ 18.79	\$ 32.24	\$ 18.81	\$ 16.34	\$ -	\$ 20.09	\$ 1.51	\$ 8.10	\$ 6.19	\$ 2.07	\$ 12.29	\$ 7.07
10	\$ 9.14	\$ 40.66	\$ 40.66	\$ 45.43	\$ 38.41	\$ 14.15	\$ 11.45	\$ 18.36	\$ 20.09	\$ -	\$ 19.76	\$ 13.07	\$ 26.30	\$ 19.80	\$ 14.06	\$ 16.16
11	\$ 10.64	\$ 56.75	\$ 56.75	\$ 26.84	\$ 20.09	\$ 31.88	\$ 18.47	\$ 14.90	\$ 1.51	\$ 19.76	\$ -	\$ 7.58	\$ 6.39	\$ 2.88	\$ 10.69	\$ 5.33
12	\$ 3.98	\$ 52.25	\$ 52.25	\$ 33.17	\$ 26.42	\$ 25.22	\$ 13.77	\$ 10.49	\$ 8.10	\$ 13.07	\$ 7.58	\$ -	\$ 14.13	\$ 7.63	\$ 6.17	\$ 3.98
13	\$ 17.19	\$ 64.06	\$ 64.06	\$ 29.09	\$ 22.32	\$ 38.16	\$ 25.00	\$ 22.21	\$ 6.19	\$ 26.30	\$ 6.39	\$ 14.13	\$ -	\$ 7.88	\$ 17.91	\$ 12.56
14	\$ 11.30	\$ 58.66	\$ 58.66	\$ 25.56	\$ 18.79	\$ 31.95	\$ 18.52	\$ 16.22	\$ 2.07	\$ 19.80	\$ 2.88	\$ 7.63	\$ 7.88	\$ -	\$ 11.95	\$ 6.59
15	\$ 4.97	\$ 46.24	\$ 46.24	\$ 37.49	\$ 30.74	\$ 26.21	\$ 15.82	\$ 4.39	\$ 12.29	\$ 14.06	\$ 10.69	\$ 6.17	\$ 17.91	\$ 11.95	\$ -	\$ 6.48
16	\$ 7.04	\$ 52.63	\$ 52.63	\$ 32.13	\$ 25.27	\$ 28.28	\$ 17.08	\$ 10.76	\$ 7.07	\$ 16.16	\$ 5.33	\$ 3.98	\$ 12.56	\$ 6.59	\$ 6.48	\$ -
17	\$ 12.96	\$ 58.66	\$ 58.66	\$ 26.30	\$ 19.55	\$ 34.20	\$ 20.77	\$ 17.98	\$ 1.95	\$ 22.07	\$ 3.06	\$ 9.90	\$ 4.19	\$ 3.62	\$ 13.70	\$ 8.30
18	\$ 9.52	\$ 41.56	\$ 41.56	\$ 42.05	\$ 35.30	\$ 24.89	\$ 20.39	\$ 6.03	\$ 16.85	\$ 10.98	\$ 15.23	\$ 10.73	\$ 22.48	\$ 16.52	\$ 4.64	\$ 11.05
19	\$ 12.89	\$ 48.42	\$ 48.42	\$ 41.04	\$ 34.34	\$ 18.07	\$ 1.95	\$ 22.16	\$ 20.57	\$ 13.07	\$ 20.09	\$ 15.39	\$ 26.60	\$ 20.09	\$ 17.80	\$ 18.68
20	\$ 21.13	\$ 68.49	\$ 68.49	\$ 26.57	\$ 12.20	\$ 42.37	\$ 28.94	\$ 26.64	\$ 10.40	\$ 29.95	\$ 11.72	\$ 18.05	\$ 14.00	\$ 10.44	\$ 22.37	\$ 17.03
21	\$ 13.75	\$ 61.11	\$ 61.11	\$ 22.66	\$ 15.98	\$ 34.99	\$ 21.58	\$ 19.28	\$ 2.95	\$ 22.86	\$ 4.37	\$ 10.69	\$ 5.81	\$ 3.08	\$ 15.01	\$ 9.68
22	\$ 6.41	\$ 54.07	\$ 54.07	\$ 29.99	\$ 23.24	\$ 27.32	\$ 14.33	\$ 12.92	\$ 4.93	\$ 15.35	\$ 4.48	\$ 3.33	\$ 10.96	\$ 4.46	\$ 7.83	\$ 4.39
23	\$ 40.75	\$ 88.11	\$ 88.11	\$ 9.41	\$ 18.52	\$ 61.99	\$ 48.56	\$ 46.26	\$ 30.02	\$ 49.86	\$ 31.34	\$ 37.67	\$ 33.62	\$ 30.08	\$ 41.99	\$ 36.65
24	\$ 3.71	\$ 49.55	\$ 49.55	\$ 34.49	\$ 27.74	\$ 22.93	\$ 10.04	\$ 12.02	\$ 9.43	\$ 10.69	\$ 8.96	\$ 4.25	\$ 15.39	\$ 8.96	\$ 7.67	\$ 7.54
25	\$ 20.34	\$ 31.25	\$ 31.25	\$ 52.88	\$ 46.22	\$ 24.80	\$ 22.21	\$ 19.10	\$ 27.81	\$ 10.89	\$ 26.06	\$ 21.56	\$ 33.30	\$ 27.34	\$ 15.46	\$ 21.87
26	\$ 35.35	\$ 15.64	\$ 15.64	\$ 67.88	\$ 61.11	\$ 20.03	\$ 36.59	\$ 34.11	\$ 42.66	\$ 25.88	\$ 41.06	\$ 36.54	\$ 48.29	\$ 42.32	\$ 30.47	\$ 36.86
27	\$ 27.81	\$ 75.20	\$ 75.20	\$ 8.69	\$ 5.58	\$ 49.07	\$ 35.64	\$ 33.35	\$ 17.10	\$ 36.92	\$ 18.43	\$ 24.75	\$ 20.70	\$ 17.15	\$ 29.07	\$ 23.74
28	\$ 11.23	\$ 58.39	\$ 58.39	\$ 34.94	\$ 28.19	\$ 24.35	\$ 8.24	\$ 19.53	\$ 16.31	\$ 18.02	\$ 15.98	\$ 11.27	\$ 22.07	\$ 15.98	\$ 15.19	\$ 14.56
29	\$ 13.23	\$ 60.59	\$ 60.59	\$ 23.47	\$ 16.70	\$ 34.47	\$ 21.04	\$ 18.77	\$ 2.68	\$ 22.34	\$ 4.03	\$ 10.17	\$ 6.98	\$ 2.57	\$ 14.49	\$ 9.14
30	\$ 16.67	\$ 64.04	\$ 64.04	\$ 21.35	\$ 14.58	\$ 37.62	\$ 24.48	\$ 22.19	\$ 6.55	\$ 25.76	\$ 7.99	\$ 13.59	\$ 10.26	\$ 6.01	\$ 17.91	\$ 12.58
31	\$ 40.39	\$ 87.77	\$ 87.77	\$ 4.14	\$ 18.16	\$ 61.65	\$ 48.22	\$ 45.92	\$ 29.68	\$ 49.50	\$ 31.01	\$ 37.33	\$ 33.28	\$ 29.72	\$ 41.65	\$ 36.32
32	\$ 2.66	\$ 45.38	\$ 45.38	\$ 38.70	\$ 31.95	\$ 18.68	\$ 8.39	\$ 11.90	\$ 13.48	\$ 6.55	\$ 13.16	\$ 6.73	\$ 19.67	\$ 13.16	\$ 7.56	\$ 9.77

COSTOS POR TRANSPORTE DE ACEITE																
ESTADO																
Ed.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	\$ 12.96	\$ 9.52	\$ 12.89	\$ 21.13	\$ 13.75	\$ 6.41	\$ 40.75	\$ 3.71	\$ 20.34	\$ 35.35	\$ 27.81	\$ 11.23	\$ 13.23	\$ 16.67	\$ 40.39	\$ 2.66
2	\$ 58.66	\$ 41.56	\$ 48.42	\$ 68.49	\$ 61.11	\$ 54.07	\$ 88.11	\$ 49.55	\$ 31.25	\$ 15.64	\$ 75.20	\$ 58.39	\$ 60.59	\$ 64.04	\$ 87.77	\$ 45.38
3	\$ 58.66	\$ 41.56	\$ 48.42	\$ 68.49	\$ 61.11	\$ 54.07	\$ 88.11	\$ 49.55	\$ 31.25	\$ 15.64	\$ 75.20	\$ 58.39	\$ 60.59	\$ 64.04	\$ 87.77	\$ 45.38
4	\$ 26.30	\$ 42.05	\$ 41.04	\$ 26.57	\$ 22.66	\$ 29.99	\$ 9.41	\$ 34.49	\$ 52.88	\$ 67.88	\$ 8.69	\$ 34.94	\$ 23.47	\$ 21.35	\$ 4.14	\$ 38.70
5	\$ 19.55	\$ 35.30	\$ 34.34	\$ 12.20	\$ 15.98	\$ 23.24	\$ 18.52	\$ 27.74	\$ 46.22	\$ 61.11	\$ 5.58	\$ 28.19	\$ 16.70	\$ 14.58	\$ 18.16	\$ 31.95
6	\$ 34.20	\$ 24.89	\$ 18.07	\$ 42.37	\$ 34.99	\$ 27.32	\$ 61.99	\$ 22.93	\$ 24.80	\$ 20.03	\$ 49.07	\$ 24.35	\$ 34.47	\$ 37.62	\$ 61.65	\$ 18.68
7	\$ 20.77	\$ 20.39	\$ 1.95	\$ 28.94	\$ 21.58	\$ 14.33	\$ 48.56	\$ 10.04	\$ 22.21	\$ 36.59	\$ 35.64	\$ 8.24	\$ 21.04	\$ 24.48	\$ 48.22	\$ 8.39
8	\$ 17.98	\$ 6.03	\$ 22.16	\$ 26.64	\$ 19.28	\$ 12.92	\$ 46.26	\$ 12.02	\$ 19.10	\$ 34.11	\$ 33.35	\$ 19.53	\$ 18.77	\$ 22.19	\$ 45.92	\$ 11.90
9	\$ 1.95	\$ 16.85	\$ 20.57	\$ 10.40	\$ 2.95	\$ 4.93	\$ 30.02	\$ 9.43	\$ 27.81	\$ 42.66	\$ 17.10	\$ 16.31	\$ 2.68	\$ 6.55	\$ 29.68	\$ 13.48
10	\$ 22.07	\$ 10.98	\$ 13.07	\$ 29.95	\$ 22.86	\$ 15.35	\$ 49.86	\$ 10.69	\$ 10.89	\$ 25.88	\$ 36.92	\$ 18.02	\$ 22.34	\$ 25.76	\$ 49.50	\$ 6.55
11	\$ 3.06	\$ 15.23	\$ 20.09	\$ 11.72	\$ 4.37	\$ 4.48	\$ 31.34	\$ 8.96	\$ 26.06	\$ 41.06	\$ 18.43	\$ 15.98	\$ 4.03	\$ 7.99	\$ 31.01	\$ 13.16
12	\$ 9.90	\$ 10.73	\$ 15.39	\$ 18.05	\$ 10.69	\$ 3.33	\$ 37.67	\$ 4.25	\$ 21.56	\$ 36.54	\$ 24.75	\$ 11.27	\$ 10.17	\$ 13.59	\$ 37.33	\$ 6.73
13	\$ 4.19	\$ 22.48	\$ 26.60	\$ 14.00	\$ 5.81	\$ 10.96	\$ 33.62	\$ 15.39	\$ 33.30	\$ 48.29	\$ 20.70	\$ 22.07	\$ 6.98	\$ 10.26	\$ 33.28	\$ 19.67
14	\$ 3.62	\$ 16.52	\$ 20.09	\$ 10.44	\$ 3.08	\$ 4.46	\$ 30.08	\$ 8.96	\$ 27.34	\$ 42.32	\$ 17.15	\$ 15.98	\$ 2.57	\$ 6.01	\$ 29.72	\$ 13.16
15	\$ 13.70	\$ 4.64	\$ 17.80	\$ 22.37	\$ 15.01	\$ 7.83	\$ 41.99	\$ 7.67	\$ 15.46	\$ 30.47	\$ 29.07	\$ 15.19	\$ 14.49	\$ 17.91	\$ 41.65	\$ 7.56
16	\$ 8.30	\$ 11.05	\$ 18.68	\$ 17.03	\$ 9.68	\$ 4.39	\$ 36.65	\$ 7.54	\$ 21.87	\$ 36.86	\$ 23.74	\$ 14.56	\$ 9.14	\$ 12.58	\$ 36.32	\$ 9.77
17	\$ -	\$ 18.36	\$ 22.48	\$ 11.32	\$ 3.74	\$ 6.86	\$ 30.96	\$ 11.27	\$ 29.18	\$ 43.79	\$ 18.02	\$ 18.36	\$ 4.30	\$ 7.58	\$ 30.60	\$ 15.55
18	\$ 18.36	\$ -	\$ 22.37	\$ 26.93	\$ 19.58	\$ 12.40	\$ 46.55	\$ 12.24	\$ 10.85	\$ 25.85	\$ 33.64	\$ 19.76	\$ 19.04	\$ 22.48	\$ 46.22	\$ 11.45
19	\$ 22.48	\$ 22.37	\$ -	\$ 30.47	\$ 23.09	\$ 15.86	\$ 45.45	\$ 11.57	\$ 23.99	\$ 38.36	\$ 32.51	\$ 6.39	\$ 20.86	\$ 21.11	\$ 45.09	\$ 10.37
20	\$ 11.32	\$ 26.93	\$ 30.47	\$ -	\$ 7.56	\$ 14.90	\$ 31.10	\$ 19.33	\$ 37.78	\$ 52.76	\$ 15.53	\$ 23.27	\$ 8.37	\$ 9.56	\$ 30.76	\$ 23.60
21	\$ 3.74	\$ 19.58	\$ 23.09	\$ 7.56	\$ -	\$ 7.54	\$ 27.20	\$ 11.97	\$ 30.42	\$ 454.25	\$ 14.27	\$ 15.75	\$ 1.01	\$ 3.83	\$ 26.84	\$ 16.25
22	\$ 6.86	\$ 12.40	\$ 15.86	\$ 14.90	\$ 7.54	\$ -	\$ 34.52	\$ 4.68	\$ 23.56	\$ 38.57	\$ 21.58	\$ 11.77	\$ 7.00	\$ 10.44	\$ 34.16	\$ 8.96
23	\$ 30.96	\$ 46.55	\$ 45.45	\$ 31.10	\$ 27.20	\$ 34.52	\$ -	\$ 38.79	\$ 57.17	\$ 72.18	\$ 12.94	\$ 39.26	\$ 27.77	\$ 25.65	\$ 8.62	\$ 43.00
24	\$ 11.27	\$ 12.24	\$ 11.57	\$ 19.33	\$ 11.97	\$ 4.68	\$ 38.79	\$ -	\$ 22.79	\$ 37.80	\$ 26.06	\$ 7.47	\$ 11.48	\$ 14.92	\$ 38.63	\$ 4.28
25	\$ 29.18	\$ 10.85	\$ 23.99	\$ 37.78	\$ 30.42	\$ 23.56	\$ 57.17	\$ 22.79	\$ -	\$ 15.73	\$ 44.44	\$ 28.35	\$ 29.84	\$ 33.28	\$ 57.02	\$ 16.88
26	\$ 43.79	\$ 25.85	\$ 38.36	\$ 52.76	\$ 45.41	\$ 38.57	\$ 72.18	\$ 37.80	\$ 15.73	\$ -	\$ 59.45	\$ 43.38	\$ 44.87	\$ 48.31	\$ 72.02	\$ 31.91
27	\$ 18.02	\$ 33.64	\$ 32.51	\$ 15.53	\$ 14.27	\$ 21.58	\$ 12.94	\$ 26.06	\$ 44.44	\$ 59.45	\$ -	\$ 26.33	\$ 14.85	\$ 12.71	\$ 12.60	\$ 30.08
28	\$ 18.36	\$ 19.76	\$ 6.39	\$ 23.27	\$ 15.75	\$ 11.77	\$ 39.26	\$ 7.47	\$ 28.35	\$ 43.38	\$ 26.33	\$ -	\$ 14.78	\$ 15.03	\$ 39.02	\$ 11.66
29	\$ 4.30	\$ 19.04	\$ 20.86	\$ 8.37	\$ 1.01	\$ 7.00	\$ 27.77	\$ 11.48	\$ 29.84	\$ 44.87	\$ 14.85	\$ 14.78	\$ -	\$ 3.96	\$ 27.61	\$ 15.73
30	\$ 7.58	\$ 22.48	\$ 21.11	\$ 9.56	\$ 3.83	\$ 10.44	\$ 25.65	\$ 14.92	\$ 33.28	\$ 48.31	\$ 12.71	\$ 15.03	\$ 3.96	\$ -	\$ 25.49	\$ 19.17
31	\$ 30.60	\$ 46.22	\$ 45.09	\$ 30.76	\$ 26.84	\$ 34.16	\$ 8.62	\$ 38.63	\$ 57.02	\$ 72.02	\$ 12.60	\$ 39.02	\$ 27.61	\$ 25.49	\$ -	\$ 42.71
32	\$ 15.55	\$ 11.45	\$ 10.37	\$ 23.60	\$ 16.25	\$ 8.96	\$ 43.00	\$ 4.28	\$ 16.88	\$ 31.91	\$ 30.08	\$ 11.66	\$ 15.73	\$ 19.17	\$ 42.71	\$ -

## ANEXO 3

Anexo 3. Precio por Transporte de Diésel (PTDC<sup>Bio-Plant</sup><sub>s,l</sub>)

Ref.	COSTOS POR TRANSPORTE DE DIÉSEL															
	ESTADO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	\$ 5.60	\$ 19.66	\$ 14.24	\$ 16.39	\$ 13.68	\$ 7.76	\$ 1.27	\$ 9.33	\$ 8.62	\$ 5.78	\$ 8.48	\$ 6.61	\$ 11.10	\$ 8.73	\$ 7.61	\$ 7.93
2	\$ 5.45	\$ 24.90	\$ 17.25	\$ 11.87	\$ 9.17	\$ 11.81	\$ 5.32	\$ 8.67	\$ 4.13	\$ 8.19	\$ 4.69	\$ 5.45	\$ 6.65	\$ 3.48	\$ 6.94	\$ 6.33
3	\$ 1.85	\$ 20.99	\$ 12.83	\$ 12.80	\$ 10.10	\$ 10.37	\$ 5.87	\$ 4.22	\$ 2.60	\$ 5.48	\$ 2.49	\$ 0.81	\$ 5.11	\$ 2.76	\$ 2.70	\$ 1.02
4	\$ 3.98	\$ 22.92	\$ 14.77	\$ 10.75	\$ 8.04	\$ 12.38	\$ 7.10	\$ 6.16	\$ 0.74	\$ 7.53	\$ 1.20	\$ 2.73	\$ 3.21	\$ 0.69	\$ 4.46	\$ 2.27
5	\$ 9.53	\$ 28.49	\$ 20.32	\$ 5.04	\$ 2.34	\$ 18.05	\$ 12.66	\$ 11.71	\$ 5.23	\$ 13.07	\$ 5.76	\$ 8.29	\$ 6.65	\$ 5.34	\$ 10.02	\$ 7.88
6	\$ 10.85	\$ 29.79	\$ 21.64	\$ 8.03	\$ 2.84	\$ 19.36	\$ 13.97	\$ 13.02	\$ 6.52	\$ 14.40	\$ 7.08	\$ 9.59	\$ 7.97	\$ 6.64	\$ 11.33	\$ 9.18

Ref.	COSTOS POR TRANSPORTE DE DIÉSEL															
	ESTADO															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	\$ 9.41	\$ 9.42	\$ 0.40	\$ 11.67	\$ 9.72	\$ 6.82	\$ 18.12	\$ 5.10	\$ 10.08	\$ 15.83	\$ 12.95	\$ 2.50	\$ 9.51	\$ 8.38	\$ 17.98	\$ 4.64
2	\$ 4.96	\$ 8.77	\$ 4.59	\$ 7.16	\$ 4.16	\$ 5.68	\$ 13.60	\$ 3.96	\$ 13.10	\$ 18.54	\$ 8.43	\$ 2.15	\$ 3.42	\$ 3.86	\$ 13.46	\$ 5.63
3	\$ 3.38	\$ 4.53	\$ 6.48	\$ 6.68	\$ 3.74	\$ 0.84	\$ 14.53	\$ 2.03	\$ 8.68	\$ 14.67	\$ 9.36	\$ 4.83	\$ 3.53	\$ 4.90	\$ 14.39	\$ 2.93
4	\$ 1.52	\$ 6.28	\$ 7.71	\$ 4.63	\$ 1.67	\$ 1.48	\$ 12.47	\$ 3.26	\$ 10.61	\$ 16.61	\$ 7.30	\$ 6.07	\$ 1.47	\$ 2.84	\$ 12.33	\$ 4.94
5	\$ 5.54	\$ 11.84	\$ 13.28	\$ 5.64	\$ 4.11	\$ 7.02	\$ 6.78	\$ 8.81	\$ 16.16	\$ 22.17	\$ 1.60	\$ 9.00	\$ 4.40	\$ 3.56	\$ 6.63	\$ 10.50
6	\$ 6.85	\$ 13.15	\$ 14.58	\$ 2.38	\$ 5.39	\$ 8.33	\$ 9.76	\$ 10.07	\$ 17.48	\$ 23.48	\$ 4.59	\$ 11.68	\$ 5.72	\$ 6.19	\$ 9.62	\$ 11.81

ANEXO 4

Anexo 4. Precio por Transporte de Biodiésel Puro (PTBio<sub>k,l</sub><sup>Puro</sup>)

COSTOS POR TRANSPORTE DE BIODIÉSEL PURO																
SEMANA																
Ed.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	\$ -	\$ 106.75	\$ 68.30	\$ 80.95	\$ 65.90	\$ 47.25	\$ 24.65	\$ 20.65	\$ 24.75	\$ 20.30	\$ 23.65	\$ 8.85	\$ 38.20	\$ 25.10	\$ 11.05	\$ 15.65
2	\$ 106.75	\$ -	\$ 67.80	\$ 186.20	\$ 171.15	\$ 59.00	\$ 95.45	\$ 110.80	\$ 129.30	\$ 90.35	\$ 126.10	\$ 116.10	\$ 142.35	\$ 130.35	\$ 102.75	\$ 116.95
3	\$ 68.30	\$ 67.80	\$ -	\$ 186.20	\$ 171.15	\$ 59.00	\$ 95.45	\$ 110.80	\$ 129.30	\$ 90.35	\$ 126.10	\$ 116.10	\$ 142.35	\$ 130.35	\$ 102.75	\$ 116.95
4	\$ 80.95	\$ 186.20	\$ 186.20	\$ -	\$ 31.50	\$ 127.95	\$ 98.00	\$ 92.75	\$ 56.70	\$ 100.95	\$ 59.65	\$ 73.70	\$ 64.65	\$ 56.80	\$ 83.30	\$ 71.40
5	\$ 65.90	\$ 171.15	\$ 171.15	\$ 31.50	\$ -	\$ 112.95	\$ 83.00	\$ 77.75	\$ 41.75	\$ 85.35	\$ 44.65	\$ 58.70	\$ 49.60	\$ 41.75	\$ 68.30	\$ 56.15
6	\$ 47.25	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 127.95	\$ 112.95	\$ -	\$ 36.05	\$ 67.85	\$ 71.65	\$ 31.45	\$ 70.85	\$ 56.05	\$ 84.80	\$ 71.00	\$ 58.25	\$ 62.85
7	\$ 24.65	\$ 95.45	\$ 95.45	\$ 98.00	\$ 83.00	\$ 36.05	\$ -	\$ 44.80	\$ 41.80	\$ 25.45	\$ 41.05	\$ 30.60	\$ 55.55	\$ 41.15	\$ 35.15	\$ 37.95
8	\$ 20.65	\$ 110.80	\$ 110.80	\$ 92.75	\$ 77.75	\$ 67.85	\$ 44.80	\$ -	\$ 36.30	\$ 40.80	\$ 33.10	\$ 23.30	\$ 49.35	\$ 36.05	\$ 9.75	\$ 23.90
9	\$ 24.75	\$ 129.30	\$ 129.30	\$ 56.70	\$ 41.75	\$ 71.65	\$ 41.80	\$ 36.30	\$ -	\$ 44.65	\$ 3.37	\$ 18.00	\$ 13.75	\$ 4.60	\$ 27.30	\$ 15.70
10	\$ 20.30	\$ 90.35	\$ 90.35	\$ 100.95	\$ 85.35	\$ 31.45	\$ 25.45	\$ 40.80	\$ 44.65	\$ -	\$ 43.90	\$ 29.05	\$ 58.45	\$ 44.00	\$ 31.25	\$ 35.90
11	\$ 23.65	\$ 126.10	\$ 126.10	\$ 59.65	\$ 44.65	\$ 70.85	\$ 41.05	\$ 33.10	\$ 3.37	\$ 43.90	\$ -	\$ 16.85	\$ 14.20	\$ 6.40	\$ 23.75	\$ 11.85
12	\$ 8.85	\$ 116.10	\$ 116.10	\$ 73.70	\$ 58.70	\$ 56.05	\$ 30.60	\$ 23.30	\$ 18.00	\$ 29.05	\$ 16.85	\$ -	\$ 31.40	\$ 16.95	\$ 13.70	\$ 8.85
13	\$ 38.20	\$ 142.35	\$ 142.35	\$ 64.65	\$ 49.60	\$ 84.80	\$ 55.55	\$ 49.35	\$ 13.75	\$ 58.45	\$ 14.20	\$ 31.40	\$ -	\$ 17.50	\$ 39.80	\$ 27.90
14	\$ 25.10	\$ 130.35	\$ 130.35	\$ 56.80	\$ 41.75	\$ 71.00	\$ 41.15	\$ 36.05	\$ 4.60	\$ 44.00	\$ 6.40	\$ 16.95	\$ 17.50	\$ -	\$ 26.55	\$ 14.65
15	\$ 11.05	\$ 102.75	\$ 102.75	\$ 83.30	\$ 68.30	\$ 58.25	\$ 35.15	\$ 9.75	\$ 27.30	\$ 31.25	\$ 23.75	\$ 13.70	\$ 39.80	\$ 26.55	\$ -	\$ 14.40
16	\$ 15.65	\$ 116.95	\$ 116.95	\$ 71.40	\$ 56.15	\$ 62.85	\$ 37.95	\$ 23.90	\$ 15.70	\$ 35.90	\$ 11.85	\$ 8.85	\$ 27.90	\$ 14.65	\$ 14.40	\$ -
17	\$ 28.80	\$ 130.35	\$ 130.35	\$ 58.45	\$ 43.45	\$ 76.00	\$ 46.15	\$ 39.95	\$ 4.33	\$ 49.05	\$ 6.80	\$ 22.00	\$ 9.30	\$ 8.05	\$ 30.45	\$ 18.45
18	\$ 21.15	\$ 92.35	\$ 92.35	\$ 93.45	\$ 78.45	\$ 55.30	\$ 45.30	\$ 13.40	\$ 37.45	\$ 24.40	\$ 33.85	\$ 23.85	\$ 49.95	\$ 36.70	\$ 10.30	\$ 24.55
19	\$ 28.65	\$ 107.60	\$ 107.60	\$ 91.20	\$ 76.30	\$ 40.15	\$ 4.33	\$ 49.25	\$ 45.70	\$ 29.05	\$ 44.65	\$ 34.20	\$ 59.10	\$ 44.65	\$ 39.55	\$ 41.50
20	\$ 46.95	\$ 152.20	\$ 152.20	\$ 59.05	\$ 27.10	\$ 94.15	\$ 64.30	\$ 59.20	\$ 23.10	\$ 66.55	\$ 26.05	\$ 40.10	\$ 31.10	\$ 23.20	\$ 49.70	\$ 37.85
21	\$ 30.55	\$ 135.80	\$ 135.80	\$ 50.35	\$ 35.50	\$ 77.75	\$ 47.95	\$ 42.85	\$ 6.55	\$ 50.80	\$ 9.70	\$ 23.75	\$ 12.90	\$ 6.85	\$ 33.35	\$ 21.50
22	\$ 14.25	\$ 120.15	\$ 120.15	\$ 66.65	\$ 51.65	\$ 60.70	\$ 31.85	\$ 28.70	\$ 10.95	\$ 34.10	\$ 9.95	\$ 7.40	\$ 24.35	\$ 9.90	\$ 17.40	\$ 9.75
23	\$ 90.55	\$ 195.80	\$ 195.80	\$ 20.90	\$ 41.15	\$ 137.75	\$ 107.90	\$ 102.80	\$ 66.70	\$ 110.80	\$ 69.65	\$ 83.70	\$ 74.70	\$ 66.85	\$ 93.30	\$ 81.45
24	\$ 8.25	\$ 110.10	\$ 110.10	\$ 76.65	\$ 61.65	\$ 50.95	\$ 22.30	\$ 26.70	\$ 20.95	\$ 23.75	\$ 19.90	\$ 9.45	\$ 34.20	\$ 19.90	\$ 17.05	\$ 16.75
25	\$ 45.20	\$ 69.45	\$ 69.45	\$ 117.50	\$ 102.70	\$ 55.10	\$ 49.35	\$ 42.45	\$ 61.80	\$ 24.20	\$ 57.90	\$ 47.90	\$ 74.00	\$ 60.75	\$ 34.35	\$ 48.60
26	\$ 78.55	\$ 34.75	\$ 34.75	\$ 150.85	\$ 135.80	\$ 44.50	\$ 81.30	\$ 75.80	\$ 94.80	\$ 57.50	\$ 91.25	\$ 81.20	\$ 107.30	\$ 94.05	\$ 67.70	\$ 81.90
27	\$ 61.80	\$ 167.10	\$ 167.10	\$ 19.30	\$ 12.40	\$ 109.05	\$ 79.20	\$ 74.10	\$ 38.00	\$ 82.05	\$ 40.95	\$ 55.00	\$ 46.00	\$ 38.10	\$ 64.60	\$ 52.75
28	\$ 24.95	\$ 129.75	\$ 129.75	\$ 77.65	\$ 62.65	\$ 54.10	\$ 18.30	\$ 43.40	\$ 36.25	\$ 40.05	\$ 35.50	\$ 25.05	\$ 49.05	\$ 35.50	\$ 33.75	\$ 32.35
29	\$ 29.40	\$ 134.65	\$ 134.65	\$ 52.15	\$ 37.10	\$ 76.60	\$ 46.75	\$ 41.70	\$ 5.95	\$ 49.65	\$ 8.95	\$ 22.60	\$ 15.50	\$ 5.70	\$ 32.20	\$ 20.30
30	\$ 37.05	\$ 142.30	\$ 142.30	\$ 47.45	\$ 32.40	\$ 83.60	\$ 54.40	\$ 49.30	\$ 14.55	\$ 57.25	\$ 17.75	\$ 30.20	\$ 22.80	\$ 13.35	\$ 39.80	\$ 27.95
31	\$ 89.75	\$ 195.05	\$ 195.05	\$ 9.20	\$ 40.35	\$ 137.00	\$ 107.15	\$ 102.05	\$ 65.95	\$ 110.00	\$ 68.90	\$ 82.95	\$ 73.95	\$ 66.05	\$ 92.55	\$ 80.70
32	\$ 5.90	\$ 100.85	\$ 100.85	\$ 86.00	\$ 71.00	\$ 41.50	\$ 18.65	\$ 26.45	\$ 29.95	\$ 14.55	\$ 29.25	\$ 14.95	\$ 43.70	\$ 29.25	\$ 16.80	\$ 21.70

COSTOS POR TRANSPORTE DE BIODIESEL PURO																
SEMANA																
Ed.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	\$ 28.80	\$ 21.15	\$ 28.65	\$ 46.95	\$ 30.55	\$ 14.25	\$ 90.55	\$ 8.25	\$ 45.20	\$ 78.55	\$ 61.80	\$ 24.95	\$ 29.40	\$ 37.05	\$ 89.75	\$ 5.90
2	\$ 130.35	\$ 92.35	\$ 107.60	\$ 152.20	\$ 135.80	\$ 120.15	\$ 195.80	\$ 110.10	\$ 69.45	\$ 34.75	\$ 167.10	\$ 129.75	\$ 134.65	\$ 142.30	\$ 195.05	\$ 100.85
3	\$ 130.35	\$ 92.35	\$ 107.60	\$ 152.20	\$ 135.80	\$ 120.15	\$ 195.80	\$ 110.10	\$ 69.45	\$ 34.75	\$ 167.10	\$ 129.75	\$ 134.65	\$ 142.30	\$ 195.05	\$ 100.85
4	\$ 58.45	\$ 93.45	\$ 91.20	\$ 59.05	\$ 50.35	\$ 66.65	\$ 20.90	\$ 76.65	\$ 117.50	\$ 150.85	\$ 19.30	\$ 77.65	\$ 52.15	\$ 47.45	\$ 9.20	\$ 86.00
5	\$ 43.45	\$ 78.45	\$ 76.30	\$ 27.10	\$ 35.50	\$ 51.65	\$ 41.15	\$ 61.65	\$ 102.70	\$ 135.80	\$ 12.40	\$ 62.65	\$ 37.10	\$ 32.40	\$ 40.35	\$ 71.00
6	\$ 76.00	\$ 55.30	\$ 40.15	\$ 94.15	\$ 77.75	\$ 60.70	\$ 137.75	\$ 50.95	\$ 55.10	\$ 44.50	\$ 109.05	\$ 54.10	\$ 76.60	\$ 83.60	\$ 137.00	\$ 41.50
7	\$ 46.15	\$ 45.30	\$ 4.33	\$ 64.30	\$ 47.95	\$ 31.85	\$ 107.90	\$ 22.30	\$ 49.35	\$ 81.30	\$ 79.20	\$ 18.30	\$ 46.75	\$ 54.40	\$ 107.15	\$ 18.65
8	\$ 39.95	\$ 13.40	\$ 49.25	\$ 59.20	\$ 42.85	\$ 28.70	\$ 102.80	\$ 26.70	\$ 42.45	\$ 75.80	\$ 74.10	\$ 43.40	\$ 41.70	\$ 49.30	\$ 102.05	\$ 26.45
9	\$ 4.33	\$ 37.45	\$ 45.70	\$ 23.10	\$ 6.55	\$ 10.95	\$ 66.70	\$ 20.95	\$ 61.80	\$ 94.80	\$ 38.00	\$ 36.25	\$ 5.95	\$ 14.55	\$ 65.95	\$ 29.95
10	\$ 49.05	\$ 24.40	\$ 29.05	\$ 66.55	\$ 50.80	\$ 34.10	\$ 110.80	\$ 23.75	\$ 24.20	\$ 57.50	\$ 82.05	\$ 40.05	\$ 49.65	\$ 57.25	\$ 110.00	\$ 14.55
11	\$ 6.80	\$ 33.85	\$ 44.65	\$ 26.05	\$ 9.70	\$ 9.95	\$ 69.65	\$ 19.90	\$ 57.90	\$ 91.25	\$ 40.95	\$ 35.50	\$ 8.95	\$ 17.75	\$ 68.90	\$ 29.25
12	\$ 22.00	\$ 23.85	\$ 34.20	\$ 40.10	\$ 23.75	\$ 7.40	\$ 83.70	\$ 9.45	\$ 47.90	\$ 81.20	\$ 55.00	\$ 25.05	\$ 22.60	\$ 30.20	\$ 82.95	\$ 14.95
13	\$ 9.30	\$ 49.95	\$ 59.10	\$ 31.10	\$ 12.90	\$ 24.35	\$ 74.70	\$ 34.20	\$ 74.00	\$ 107.30	\$ 46.00	\$ 49.05	\$ 15.50	\$ 22.80	\$ 73.95	\$ 43.70
14	\$ 8.05	\$ 36.70	\$ 44.65	\$ 23.20	\$ 6.85	\$ 9.90	\$ 66.85	\$ 19.90	\$ 60.75	\$ 94.05	\$ 38.10	\$ 35.50	\$ 5.70	\$ 13.35	\$ 66.05	\$ 29.25
15	\$ 30.45	\$ 10.30	\$ 39.55	\$ 49.70	\$ 33.35	\$ 17.40	\$ 93.30	\$ 17.05	\$ 34.35	\$ 67.70	\$ 64.60	\$ 33.75	\$ 32.20	\$ 39.80	\$ 92.55	\$ 16.80
16	\$ 18.45	\$ 24.55	\$ 41.50	\$ 37.85	\$ 21.50	\$ 9.75	\$ 81.45	\$ 16.75	\$ 48.60	\$ 81.90	\$ 52.75	\$ 32.35	\$ 20.30	\$ 27.95	\$ 80.70	\$ 21.70
17	\$ -	\$ 40.80	\$ 49.95	\$ 25.15	\$ 8.30	\$ 15.25	\$ 68.80	\$ 25.05	\$ 64.85	\$ 97.30	\$ 40.05	\$ 40.80	\$ 9.55	\$ 16.85	\$ 68.00	\$ 34.55
18	\$ 40.80	\$ -	\$ 49.70	\$ 59.85	\$ 43.50	\$ 27.55	\$ 103.45	\$ 27.20	\$ 24.10	\$ 57.45	\$ 74.75	\$ 43.90	\$ 42.30	\$ 49.95	\$ 102.70	\$ 25.45
19	\$ 49.95	\$ 49.70	\$ -	\$ 67.70	\$ 51.30	\$ 35.25	\$ 101.00	\$ 25.70	\$ 53.30	\$ 85.25	\$ 72.25	\$ 14.20	\$ 46.35	\$ 46.90	\$ 100.20	\$ 23.05
20	\$ 25.15	\$ 59.85	\$ 67.70	\$ -	\$ 16.80	\$ 33.10	\$ 69.10	\$ 42.95	\$ 83.95	\$ 117.25	\$ 34.50	\$ 51.70	\$ 18.60	\$ 21.25	\$ 68.35	\$ 52.45
21	\$ 8.30	\$ 43.50	\$ 51.30	\$ 16.80	\$ -	\$ 16.75	\$ 60.45	\$ 26.60	\$ 67.60	\$ 1,009.45	\$ 31.70	\$ 35.00	\$ 2.24	\$ 8.50	\$ 59.65	\$ 36.10
22	\$ 15.25	\$ 27.55	\$ 35.25	\$ 33.10	\$ 16.75	\$ -	\$ 76.70	\$ 10.40	\$ 52.35	\$ 85.70	\$ 47.95	\$ 26.15	\$ 15.55	\$ 23.20	\$ 75.90	\$ 19.90
23	\$ 68.80	\$ 103.45	\$ 101.00	\$ 69.10	\$ 60.45	\$ 76.70	\$ -	\$ 86.20	\$ 127.05	\$ 160.40	\$ 28.75	\$ 87.25	\$ 61.70	\$ 57.00	\$ 19.15	\$ 95.55
24	\$ 25.05	\$ 27.20	\$ 25.70	\$ 42.95	\$ 26.60	\$ 10.40	\$ 86.20	\$ -	\$ 50.65	\$ 84.00	\$ 57.90	\$ 16.60	\$ 25.50	\$ 33.15	\$ 85.85	\$ 9.50
25	\$ 64.85	\$ 24.10	\$ 53.30	\$ 83.95	\$ 67.60	\$ 52.35	\$ 127.05	\$ 50.65	\$ -	\$ 34.95	\$ 98.75	\$ 63.00	\$ 66.30	\$ 73.95	\$ 126.70	\$ 37.50
26	\$ 97.30	\$ 57.45	\$ 85.25	\$ 117.25	\$ 100.90	\$ 85.70	\$ 160.40	\$ 84.00	\$ 34.95	\$ -	\$ 132.10	\$ 96.40	\$ 99.70	\$ 107.35	\$ 160.05	\$ 70.90
27	\$ 40.05	\$ 74.75	\$ 72.25	\$ 34.50	\$ 31.70	\$ 47.95	\$ 28.75	\$ 57.90	\$ 98.75	\$ 132.10	\$ -	\$ 58.50	\$ 33.00	\$ 28.25	\$ 28.00	\$ 66.85
28	\$ 40.80	\$ 43.90	\$ 14.20	\$ 51.70	\$ 35.00	\$ 26.15	\$ 87.25	\$ 16.60	\$ 63.00	\$ 96.40	\$ 58.50	\$ -	\$ 32.85	\$ 33.40	\$ 86.70	\$ 25.90
29	\$ 9.55	\$ 42.30	\$ 46.35	\$ 18.60	\$ 2.24	\$ 15.55	\$ 61.70	\$ 25.50	\$ 66.30	\$ 99.70	\$ 33.00	\$ 32.85	\$ -	\$ 8.80	\$ 61.35	\$ 34.95
30	\$ 16.85	\$ 49.95	\$ 46.90	\$ 21.25	\$ 8.50	\$ 23.20	\$ 57.00	\$ 33.15	\$ 73.95	\$ 107.35	\$ 28.25	\$ 33.40	\$ 8.80	\$ -	\$ 56.65	\$ 42.60
31	\$ 68.00	\$ 102.70	\$ 100.20	\$ 68.35	\$ 59.65	\$ 75.90	\$ 19.15	\$ 85.85	\$ 126.70	\$ 160.05	\$ 28.00	\$ 86.70	\$ 61.35	\$ 56.65	\$ -	\$ 94.90
32	\$ 34.55	\$ 25.45	\$ 23.05	\$ 52.45	\$ 36.10	\$ 19.90	\$ 95.55	\$ 9.50	\$ 37.50	\$ 70.90	\$ 66.85	\$ 25.90	\$ 34.95	\$ 42.60	\$ 94.90	\$ -

Configuración Óptima de la Cadena de Suministro de Producción de Biodiésel a partir de BSLF

## ANEXO 5

Anexo 5. Precio por Transporte de Biodiésel en Mezcla (PTBio<sub>L,M</sub><sup>Mix</sup>)

Ed.	COSTOS POR TRANSPORTE DE BIODIÉSEL EN MEZCLA															
	ESTADO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	\$ -	\$ 48.04	\$ 30.74	\$ 36.43	\$ 29.66	\$ 21.26	\$ 11.09	\$ 9.29	\$ 11.14	\$ 9.14	\$ 10.64	\$ 3.98	\$ 17.19	\$ 11.30	\$ 4.97	\$ 7.04
2	\$ 48.04	\$ -	\$ 30.51	\$ 83.79	\$ 77.02	\$ 26.55	\$ 42.95	\$ 49.86	\$ 58.19	\$ 40.66	\$ 56.75	\$ 52.25	\$ 64.06	\$ 58.66	\$ 46.24	\$ 52.63
3	\$ 30.74	\$ 30.51	\$ -	\$ 83.79	\$ 77.02	\$ 26.55	\$ 42.95	\$ 49.86	\$ 58.19	\$ 40.66	\$ 56.75	\$ 52.25	\$ 64.06	\$ 58.66	\$ 46.24	\$ 52.63
4	\$ 36.43	\$ 83.79	\$ 83.79	\$ -	\$ 14.18	\$ 57.58	\$ 44.10	\$ 41.74	\$ 25.52	\$ 45.43	\$ 26.84	\$ 33.17	\$ 29.09	\$ 25.56	\$ 37.49	\$ 32.13
5	\$ 29.66	\$ 77.02	\$ 77.02	\$ 14.18	\$ -	\$ 50.83	\$ 37.35	\$ 34.99	\$ 18.79	\$ 38.41	\$ 20.09	\$ 26.42	\$ 22.32	\$ 18.79	\$ 30.74	\$ 25.27
6	\$ 21.26	\$ 26.55	\$ 26.55	\$ 57.58	\$ 50.83	\$ -	\$ 16.22	\$ 30.53	\$ 32.24	\$ 14.15	\$ 31.88	\$ 25.22	\$ 38.16	\$ 31.95	\$ 26.21	\$ 28.28
7	\$ 11.09	\$ 42.95	\$ 42.95	\$ 44.10	\$ 37.35	\$ 16.22	\$ -	\$ 20.16	\$ 18.81	\$ 11.45	\$ 18.47	\$ 13.77	\$ 25.00	\$ 18.52	\$ 15.82	\$ 17.08
8	\$ 9.29	\$ 49.86	\$ 49.86	\$ 41.74	\$ 34.99	\$ 30.53	\$ 20.16	\$ -	\$ 16.34	\$ 18.36	\$ 14.90	\$ 10.49	\$ 22.21	\$ 16.22	\$ 4.39	\$ 10.76
9	\$ 11.14	\$ 58.19	\$ 58.19	\$ 25.52	\$ 18.79	\$ 32.24	\$ 18.81	\$ 16.34	\$ -	\$ 20.09	\$ 1.51	\$ 8.10	\$ 6.19	\$ 2.07	\$ 12.29	\$ 7.07
10	\$ 9.14	\$ 40.66	\$ 40.66	\$ 45.43	\$ 38.41	\$ 14.15	\$ 11.45	\$ 18.36	\$ 20.09	\$ -	\$ 19.76	\$ 13.07	\$ 26.30	\$ 19.80	\$ 14.06	\$ 16.16
11	\$ 10.64	\$ 56.75	\$ 56.75	\$ 26.84	\$ 20.09	\$ 31.88	\$ 18.47	\$ 14.90	\$ 1.51	\$ 19.76	\$ -	\$ 7.58	\$ 6.39	\$ 2.88	\$ 10.69	\$ 5.33
12	\$ 3.98	\$ 52.25	\$ 52.25	\$ 33.17	\$ 26.42	\$ 25.22	\$ 13.77	\$ 10.49	\$ 8.10	\$ 13.07	\$ 7.58	\$ -	\$ 14.13	\$ 7.63	\$ 6.17	\$ 3.98
13	\$ 17.19	\$ 64.06	\$ 64.06	\$ 29.09	\$ 22.32	\$ 38.16	\$ 25.00	\$ 22.21	\$ 6.19	\$ 26.30	\$ 6.39	\$ 14.13	\$ -	\$ 7.88	\$ 17.91	\$ 12.56
14	\$ 11.30	\$ 58.66	\$ 58.66	\$ 25.56	\$ 18.79	\$ 31.95	\$ 18.52	\$ 16.22	\$ 2.07	\$ 19.80	\$ 2.88	\$ 7.63	\$ 7.88	\$ -	\$ 11.95	\$ 6.59
15	\$ 4.97	\$ 46.24	\$ 46.24	\$ 37.49	\$ 30.74	\$ 26.21	\$ 15.82	\$ 4.39	\$ 12.29	\$ 14.06	\$ 10.69	\$ 6.17	\$ 17.91	\$ 11.95	\$ -	\$ 6.48
16	\$ 7.04	\$ 52.63	\$ 52.63	\$ 32.13	\$ 25.27	\$ 28.28	\$ 17.08	\$ 10.76	\$ 7.07	\$ 16.16	\$ 5.33	\$ 3.98	\$ 12.56	\$ 6.59	\$ 6.48	\$ -
17	\$ 12.96	\$ 58.66	\$ 58.66	\$ 26.30	\$ 19.55	\$ 34.20	\$ 20.77	\$ 17.98	\$ 1.95	\$ 22.07	\$ 3.06	\$ 9.90	\$ 4.19	\$ 3.62	\$ 13.70	\$ 8.30
18	\$ 9.52	\$ 41.56	\$ 41.56	\$ 42.05	\$ 35.30	\$ 24.89	\$ 20.39	\$ 6.03	\$ 16.85	\$ 10.98	\$ 15.23	\$ 10.73	\$ 22.48	\$ 16.52	\$ 4.64	\$ 11.05
19	\$ 12.89	\$ 48.42	\$ 48.42	\$ 41.04	\$ 34.34	\$ 18.07	\$ 1.95	\$ 22.16	\$ 20.57	\$ 13.07	\$ 20.09	\$ 15.39	\$ 26.60	\$ 20.09	\$ 17.80	\$ 18.68
20	\$ 21.13	\$ 68.49	\$ 68.49	\$ 26.57	\$ 12.20	\$ 42.37	\$ 28.94	\$ 26.64	\$ 10.40	\$ 29.95	\$ 11.72	\$ 18.05	\$ 14.00	\$ 10.44	\$ 22.37	\$ 17.03
21	\$ 13.75	\$ 61.11	\$ 61.11	\$ 22.66	\$ 15.98	\$ 34.99	\$ 21.58	\$ 19.28	\$ 2.95	\$ 22.86	\$ 4.37	\$ 10.69	\$ 5.81	\$ 3.08	\$ 15.01	\$ 9.68
22	\$ 6.41	\$ 54.07	\$ 54.07	\$ 29.99	\$ 23.24	\$ 27.32	\$ 14.33	\$ 12.92	\$ 4.93	\$ 15.35	\$ 4.48	\$ 3.33	\$ 10.96	\$ 4.46	\$ 7.83	\$ 4.39
23	\$ 40.75	\$ 88.11	\$ 88.11	\$ 9.41	\$ 18.52	\$ 61.99	\$ 48.56	\$ 46.26	\$ 30.02	\$ 49.86	\$ 31.34	\$ 37.67	\$ 33.62	\$ 30.08	\$ 41.99	\$ 36.65
24	\$ 3.71	\$ 49.55	\$ 49.55	\$ 34.49	\$ 27.74	\$ 22.93	\$ 10.04	\$ 12.02	\$ 9.43	\$ 10.69	\$ 8.96	\$ 4.25	\$ 15.39	\$ 8.96	\$ 7.67	\$ 7.54
25	\$ 20.34	\$ 31.25	\$ 31.25	\$ 52.88	\$ 46.22	\$ 24.80	\$ 22.21	\$ 19.10	\$ 27.81	\$ 10.89	\$ 26.06	\$ 21.56	\$ 33.30	\$ 27.34	\$ 15.46	\$ 21.87
26	\$ 35.35	\$ 15.64	\$ 15.64	\$ 67.88	\$ 61.11	\$ 20.03	\$ 36.59	\$ 34.11	\$ 42.66	\$ 25.88	\$ 41.06	\$ 36.54	\$ 48.29	\$ 42.32	\$ 30.47	\$ 36.86
27	\$ 27.81	\$ 75.20	\$ 75.20	\$ 8.69	\$ 5.58	\$ 49.07	\$ 35.64	\$ 33.35	\$ 17.10	\$ 36.92	\$ 18.43	\$ 24.75	\$ 20.70	\$ 17.15	\$ 29.07	\$ 23.74
28	\$ 11.23	\$ 58.39	\$ 58.39	\$ 34.94	\$ 28.19	\$ 24.35	\$ 8.24	\$ 19.53	\$ 16.31	\$ 18.02	\$ 15.98	\$ 11.27	\$ 22.07	\$ 15.98	\$ 15.19	\$ 14.56
29	\$ 13.23	\$ 60.59	\$ 60.59	\$ 23.47	\$ 16.70	\$ 34.47	\$ 21.04	\$ 18.77	\$ 2.68	\$ 22.34	\$ 4.03	\$ 10.17	\$ 6.98	\$ 2.57	\$ 14.49	\$ 9.14
30	\$ 16.67	\$ 64.04	\$ 64.04	\$ 21.35	\$ 14.58	\$ 37.62	\$ 24.48	\$ 22.19	\$ 6.55	\$ 25.76	\$ 7.99	\$ 13.59	\$ 10.26	\$ 6.01	\$ 17.91	\$ 12.58
31	\$ 40.39	\$ 87.77	\$ 87.77	\$ 4.14	\$ 18.16	\$ 61.65	\$ 48.22	\$ 45.92	\$ 29.68	\$ 49.50	\$ 31.01	\$ 37.33	\$ 33.28	\$ 29.72	\$ 41.65	\$ 36.32
32	\$ 2.66	\$ 45.38	\$ 45.38	\$ 38.70	\$ 31.95	\$ 18.68	\$ 8.39	\$ 11.90	\$ 13.48	\$ 6.55	\$ 13.16	\$ 6.73	\$ 19.67	\$ 13.16	\$ 7.56	\$ 9.77

COSTOS POR TRANSPORTE DE BIODIESEL EN MEZCLA																
ESTADO																
E.d.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	\$ 12.96	\$ 9.52	\$ 12.89	\$ 21.13	\$ 13.75	\$ 6.41	\$ 40.75	\$ 3.71	\$ 20.34	\$ 35.35	\$ 27.81	\$ 11.23	\$ 13.23	\$ 16.67	\$ 40.39	\$ 2.66
2	\$ 58.66	\$ 41.56	\$ 48.42	\$ 68.49	\$ 61.11	\$ 54.07	\$ 88.11	\$ 49.55	\$ 31.25	\$ 15.64	\$ 75.20	\$ 58.39	\$ 60.59	\$ 64.04	\$ 87.77	\$ 45.38
3	\$ 58.66	\$ 41.56	\$ 48.42	\$ 68.49	\$ 61.11	\$ 54.07	\$ 88.11	\$ 49.55	\$ 31.25	\$ 15.64	\$ 75.20	\$ 58.39	\$ 60.59	\$ 64.04	\$ 87.77	\$ 45.38
4	\$ 26.30	\$ 42.05	\$ 41.04	\$ 26.57	\$ 22.66	\$ 29.99	\$ 9.41	\$ 34.49	\$ 52.88	\$ 67.88	\$ 8.69	\$ 34.94	\$ 23.47	\$ 21.35	\$ 4.14	\$ 38.70
5	\$ 19.55	\$ 35.30	\$ 34.34	\$ 12.20	\$ 15.98	\$ 23.24	\$ 18.52	\$ 27.74	\$ 46.22	\$ 61.11	\$ 5.58	\$ 28.19	\$ 16.70	\$ 14.58	\$ 18.16	\$ 31.95
6	\$ 34.20	\$ 24.89	\$ 18.07	\$ 42.37	\$ 34.99	\$ 27.32	\$ 61.99	\$ 22.93	\$ 24.80	\$ 20.03	\$ 49.07	\$ 24.35	\$ 34.47	\$ 37.62	\$ 61.65	\$ 18.68
7	\$ 20.77	\$ 20.39	\$ 1.95	\$ 28.94	\$ 21.58	\$ 14.33	\$ 48.56	\$ 10.04	\$ 22.21	\$ 36.59	\$ 35.64	\$ 8.24	\$ 21.04	\$ 24.48	\$ 48.22	\$ 8.39
8	\$ 17.98	\$ 6.03	\$ 22.16	\$ 26.64	\$ 19.28	\$ 12.92	\$ 46.26	\$ 12.02	\$ 19.10	\$ 34.11	\$ 33.35	\$ 19.53	\$ 18.77	\$ 22.19	\$ 45.92	\$ 11.90
9	\$ 1.95	\$ 16.85	\$ 20.57	\$ 10.40	\$ 2.95	\$ 4.93	\$ 30.02	\$ 9.43	\$ 27.81	\$ 42.66	\$ 17.10	\$ 16.31	\$ 2.68	\$ 6.55	\$ 29.68	\$ 13.48
10	\$ 22.07	\$ 10.98	\$ 13.07	\$ 29.95	\$ 22.86	\$ 15.35	\$ 49.86	\$ 10.69	\$ 10.89	\$ 25.88	\$ 36.92	\$ 18.02	\$ 22.34	\$ 25.76	\$ 49.50	\$ 6.55
11	\$ 3.06	\$ 15.23	\$ 20.09	\$ 11.72	\$ 4.37	\$ 4.48	\$ 31.34	\$ 8.96	\$ 26.06	\$ 41.06	\$ 18.43	\$ 15.98	\$ 4.03	\$ 7.99	\$ 31.01	\$ 13.16
12	\$ 9.90	\$ 10.73	\$ 15.39	\$ 18.05	\$ 10.69	\$ 3.33	\$ 37.67	\$ 4.25	\$ 21.56	\$ 36.54	\$ 24.75	\$ 11.27	\$ 10.17	\$ 13.59	\$ 37.33	\$ 6.73
13	\$ 4.19	\$ 22.48	\$ 26.60	\$ 14.00	\$ 5.81	\$ 10.96	\$ 33.62	\$ 15.39	\$ 33.30	\$ 48.29	\$ 20.70	\$ 22.07	\$ 6.98	\$ 10.26	\$ 33.28	\$ 19.67
14	\$ 3.62	\$ 16.52	\$ 20.09	\$ 10.44	\$ 3.08	\$ 4.46	\$ 30.08	\$ 8.96	\$ 27.34	\$ 42.32	\$ 17.15	\$ 15.98	\$ 2.57	\$ 6.01	\$ 29.72	\$ 13.16
15	\$ 15.70	\$ 4.64	\$ 17.80	\$ 22.37	\$ 15.01	\$ 7.83	\$ 41.99	\$ 7.67	\$ 15.46	\$ 30.47	\$ 29.07	\$ 15.19	\$ 14.49	\$ 17.91	\$ 41.65	\$ 7.56
16	\$ 8.30	\$ 11.05	\$ 18.68	\$ 17.03	\$ 9.68	\$ 4.39	\$ 36.65	\$ 7.54	\$ 21.87	\$ 36.86	\$ 23.74	\$ 14.56	\$ 9.14	\$ 12.58	\$ 36.32	\$ 9.77
17	\$ -	\$ 18.36	\$ 22.48	\$ 11.32	\$ 3.74	\$ 6.86	\$ 30.96	\$ 11.27	\$ 29.18	\$ 43.79	\$ 18.02	\$ 18.36	\$ 4.30	\$ 7.58	\$ 30.60	\$ 15.55
18	\$ 18.36	\$ -	\$ 22.37	\$ 26.93	\$ 19.58	\$ 12.40	\$ 46.55	\$ 12.24	\$ 10.85	\$ 25.85	\$ 33.64	\$ 19.76	\$ 19.04	\$ 22.48	\$ 46.22	\$ 11.45
19	\$ 22.48	\$ 22.37	\$ -	\$ 30.47	\$ 23.09	\$ 15.86	\$ 45.45	\$ 11.57	\$ 23.99	\$ 38.36	\$ 32.51	\$ 6.39	\$ 20.86	\$ 21.11	\$ 45.09	\$ 10.37
20	\$ 11.32	\$ 26.93	\$ 30.47	\$ -	\$ 7.56	\$ 14.90	\$ 31.10	\$ 19.33	\$ 37.78	\$ 52.76	\$ 15.53	\$ 23.27	\$ 8.37	\$ 9.56	\$ 30.76	\$ 23.60
21	\$ 3.74	\$ 19.58	\$ 23.09	\$ 7.56	\$ -	\$ 7.54	\$ 27.20	\$ 11.97	\$ 30.42	\$ 454.25	\$ 14.27	\$ 15.75	\$ 1.01	\$ 3.83	\$ 26.84	\$ 16.25
22	\$ 6.86	\$ 12.40	\$ 15.86	\$ 14.90	\$ 7.54	\$ -	\$ 34.52	\$ 4.68	\$ 23.56	\$ 38.57	\$ 21.58	\$ 11.77	\$ 7.00	\$ 10.44	\$ 34.16	\$ 8.96
23	\$ 30.96	\$ 46.55	\$ 45.45	\$ 31.10	\$ 27.20	\$ 34.52	\$ -	\$ 38.79	\$ 57.17	\$ 72.18	\$ 12.94	\$ 39.26	\$ 27.77	\$ 25.65	\$ 8.62	\$ 43.00
24	\$ 11.27	\$ 12.24	\$ 11.57	\$ 19.33	\$ 11.97	\$ 4.68	\$ 38.79	\$ -	\$ 22.79	\$ 37.80	\$ 26.06	\$ 7.47	\$ 11.48	\$ 14.92	\$ 38.63	\$ 4.28
25	\$ 29.18	\$ 10.85	\$ 23.99	\$ 37.78	\$ 30.42	\$ 23.56	\$ 57.17	\$ 22.79	\$ -	\$ 15.73	\$ 44.44	\$ 28.35	\$ 29.84	\$ 33.28	\$ 57.02	\$ 16.88
26	\$ 43.79	\$ 25.85	\$ 38.36	\$ 52.76	\$ 45.41	\$ 38.57	\$ 72.18	\$ 37.80	\$ 15.73	\$ -	\$ 59.45	\$ 43.38	\$ 44.87	\$ 48.31	\$ 72.02	\$ 31.91
27	\$ 18.02	\$ 33.64	\$ 32.51	\$ 15.53	\$ 14.27	\$ 21.58	\$ 12.94	\$ 26.06	\$ 44.44	\$ 59.45	\$ -	\$ 26.33	\$ 14.85	\$ 12.71	\$ 12.60	\$ 30.08
28	\$ 18.36	\$ 19.76	\$ 6.39	\$ 23.27	\$ 15.75	\$ 11.77	\$ 39.26	\$ 7.47	\$ 28.35	\$ 43.38	\$ 26.33	\$ -	\$ 14.78	\$ 15.03	\$ 39.02	\$ 11.66
29	\$ 4.30	\$ 19.04	\$ 20.86	\$ 8.37	\$ 1.01	\$ 7.00	\$ 27.77	\$ 11.48	\$ 29.84	\$ 44.87	\$ 14.85	\$ 14.78	\$ -	\$ 3.96	\$ 27.61	\$ 15.73
30	\$ 7.58	\$ 22.48	\$ 21.11	\$ 9.56	\$ 3.83	\$ 10.44	\$ 25.65	\$ 14.92	\$ 33.28	\$ 48.31	\$ 12.71	\$ 15.03	\$ 3.96	\$ -	\$ 25.49	\$ 19.17
31	\$ 30.60	\$ 46.22	\$ 45.09	\$ 30.76	\$ 26.84	\$ 34.16	\$ 8.62	\$ 38.63	\$ 57.02	\$ 72.02	\$ 12.60	\$ 39.02	\$ 27.61	\$ 25.49	\$ -	\$ 42.71
32	\$ 15.55	\$ 11.45	\$ 10.37	\$ 23.60	\$ 16.25	\$ 8.96	\$ 43.00	\$ 4.28	\$ 16.88	\$ 31.91	\$ 30.08	\$ 11.66	\$ 15.73	\$ 19.17	\$ 42.71	\$ -

## ANEXO 6

Anexo 6. Precio por Transporte de Diésel Convencional para Mezcla (PCDDCT<sub>s,l</sub>)

Ref.	COSTOS POR TRANSPORTE DE DIÉSEL															
	ESTADO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	\$ 55.98	\$ 196.56	\$ 142.38	\$ 163.89	\$ 136.80	\$ 77.58	\$ 12.69	\$ 93.33	\$ 86.22	\$ 57.78	\$ 84.78	\$ 66.06	\$ 110.97	\$ 87.30	\$ 76.05	\$ 79.29
2	\$ 54.54	\$ 249.03	\$ 172.53	\$ 118.71	\$ 91.71	\$ 118.08	\$ 53.19	\$ 86.67	\$ 41.31	\$ 81.90	\$ 46.89	\$ 54.54	\$ 66.51	\$ 34.83	\$ 69.39	\$ 63.27
3	\$ 18.45	\$ 209.88	\$ 128.34	\$ 127.98	\$ 100.98	\$ 103.68	\$ 58.68	\$ 42.21	\$ 26.01	\$ 54.81	\$ 24.93	\$ 8.14	\$ 51.12	\$ 27.63	\$ 27.00	\$ 10.17
4	\$ 39.78	\$ 229.23	\$ 147.69	\$ 107.46	\$ 80.37	\$ 123.84	\$ 71.01	\$ 61.56	\$ 7.43	\$ 75.33	\$ 11.97	\$ 27.27	\$ 32.13	\$ 6.90	\$ 44.64	\$ 22.68
5	\$ 95.31	\$ 284.85	\$ 203.22	\$ 50.40	\$ 23.40	\$ 180.54	\$ 126.63	\$ 117.09	\$ 52.29	\$ 130.68	\$ 57.60	\$ 82.89	\$ 66.51	\$ 53.37	\$ 100.17	\$ 78.75
6	\$ 108.45	\$ 297.90	\$ 216.36	\$ 80.28	\$ 28.44	\$ 193.59	\$ 139.68	\$ 130.23	\$ 65.16	\$ 144.00	\$ 70.83	\$ 95.94	\$ 79.65	\$ 66.42	\$ 113.31	\$ 91.80

Ref.	COSTOS POR TRANSPORTE DE DIÉSEL															
	ESTADO															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	\$ 94.05	\$ 94.23	\$ 4.00	\$ 116.73	\$ 97.20	\$ 68.22	\$ 181.17	\$ 51.03	\$ 100.80	\$ 158.31	\$ 129.51	\$ 25.02	\$ 95.13	\$ 83.79	\$ 179.82	\$ 46.35
2	\$ 49.59	\$ 87.66	\$ 45.90	\$ 71.55	\$ 41.58	\$ 56.79	\$ 135.99	\$ 39.60	\$ 130.95	\$ 185.40	\$ 84.33	\$ 21.51	\$ 34.20	\$ 38.61	\$ 134.64	\$ 56.25
3	\$ 33.84	\$ 45.27	\$ 64.80	\$ 66.78	\$ 37.35	\$ 8.36	\$ 145.26	\$ 20.25	\$ 86.76	\$ 146.70	\$ 93.60	\$ 48.33	\$ 35.28	\$ 48.96	\$ 143.91	\$ 29.25
4	\$ 15.21	\$ 62.82	\$ 77.13	\$ 46.26	\$ 16.74	\$ 14.76	\$ 124.74	\$ 32.58	\$ 106.11	\$ 166.14	\$ 72.99	\$ 60.66	\$ 14.67	\$ 28.35	\$ 123.30	\$ 49.41
5	\$ 55.44	\$ 118.44	\$ 132.75	\$ 56.43	\$ 41.13	\$ 70.20	\$ 67.77	\$ 88.11	\$ 161.64	\$ 221.67	\$ 16.02	\$ 90.00	\$ 44.01	\$ 35.55	\$ 66.33	\$ 105.03
6	\$ 68.49	\$ 131.49	\$ 145.80	\$ 23.76	\$ 53.91	\$ 83.34	\$ 97.56	\$ 100.71	\$ 174.78	\$ 234.81	\$ 45.90	\$ 116.82	\$ 57.15	\$ 61.92	\$ 96.21	\$ 118.08

ANEXO 7

Anexo 7. Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por transporte de aceite (FEAc<sup>trans</sup><sub>j,k</sub>)

FACTOR DE EMISIONES POR TRANSPORTE DE ACEITE																
Ed.	Estados															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.00000	0.03608	0.02309	0.02736	0.02227	0.01597	0.00833	0.00698	0.00837	0.00686	0.00799	0.00299	0.01291	0.00848	0.00373	0.00529
2	0.03608	0.00000	0.02292	0.06294	0.05785	0.01994	0.03226	0.03745	0.04370	0.03054	0.04262	0.03924	0.04811	0.04406	0.03473	0.03953
3	0.02309	0.02292	0.00000	0.06294	0.05785	0.01994	0.03226	0.03745	0.04370	0.03054	0.04262	0.03924	0.04811	0.04406	0.03473	0.03953
4	0.02736	0.06294	0.06294	0.00000	0.01065	0.04325	0.03312	0.03135	0.01916	0.03412	0.02016	0.02491	0.02185	0.01920	0.02816	0.02413
5	0.02227	0.05785	0.05785	0.01065	0.00000	0.03618	0.02805	0.02628	0.01411	0.02885	0.01509	0.01984	0.01676	0.01411	0.02309	0.01898
6	0.01597	0.01994	0.01994	0.04325	0.03818	0.00000	0.01218	0.02293	0.02422	0.01063	0.02395	0.01894	0.02866	0.02400	0.01969	0.02124
7	0.00833	0.03226	0.03226	0.03312	0.02805	0.01218	0.00000	0.01514	0.01413	0.00860	0.01387	0.01034	0.01878	0.01391	0.01188	0.01263
8	0.00698	0.03745	0.03745	0.03135	0.02628	0.02293	0.01514	0.00000	0.01227	0.01379	0.01119	0.00788	0.01668	0.01218	0.00330	0.00808
9	0.00837	0.04370	0.04370	0.01916	0.01411	0.02422	0.01413	0.01227	0.00000	0.01509	0.00114	0.00608	0.00465	0.00155	0.00923	0.00531
10	0.00686	0.03054	0.03054	0.03412	0.02885	0.01063	0.00860	0.01379	0.01509	0.00000	0.01484	0.00982	0.01976	0.01487	0.01056	0.01213
11	0.00799	0.04262	0.04262	0.02016	0.01509	0.02395	0.01387	0.01119	0.00114	0.01484	0.00000	0.00570	0.00480	0.00216	0.00803	0.00401
12	0.00299	0.03924	0.03924	0.02491	0.01984	0.01894	0.01034	0.00788	0.00608	0.00982	0.00570	0.00000	0.01061	0.00573	0.00463	0.00299
13	0.01291	0.04811	0.04811	0.02185	0.01676	0.02866	0.01878	0.01668	0.00465	0.01976	0.00480	0.01061	0.00000	0.00592	0.01345	0.00943
14	0.00848	0.04406	0.04406	0.01920	0.01411	0.02400	0.01391	0.01218	0.00155	0.01487	0.00216	0.00573	0.00592	0.00000	0.00897	0.00495
15	0.00373	0.03473	0.03473	0.02816	0.02309	0.01969	0.01188	0.00330	0.00923	0.01056	0.00803	0.00463	0.01345	0.00897	0.00000	0.00487
16	0.00529	0.03953	0.03953	0.02413	0.01898	0.02124	0.01283	0.00808	0.00531	0.01213	0.00401	0.00299	0.00943	0.00495	0.00487	0.00000
17	0.00973	0.04406	0.04406	0.01976	0.01469	0.02569	0.01560	0.01350	0.00146	0.01658	0.00230	0.00744	0.00314	0.00272	0.01029	0.00624
18	0.00715	0.03121	0.03121	0.03159	0.02652	0.01869	0.01531	0.00453	0.01266	0.00825	0.01144	0.00806	0.01688	0.01240	0.00348	0.00830
19	0.00968	0.03637	0.03637	0.03083	0.02579	0.01357	0.00146	0.01665	0.01545	0.00982	0.01509	0.01156	0.01998	0.01509	0.01337	0.01403
20	0.01587	0.05144	0.05144	0.01996	0.00916	0.03182	0.02173	0.02001	0.00781	0.02249	0.00880	0.01355	0.01051	0.00784	0.01680	0.01279
21	0.01033	0.04590	0.04590	0.01702	0.01200	0.02628	0.01621	0.01448	0.00221	0.01717	0.00328	0.00803	0.00436	0.00232	0.01127	0.00727
22	0.00482	0.04061	0.04061	0.02253	0.01746	0.02052	0.01077	0.00970	0.00370	0.01153	0.00336	0.00250	0.00823	0.00335	0.00588	0.00330
23	0.03061	0.06618	0.06618	0.00706	0.01391	0.04656	0.03647	0.03475	0.02254	0.03745	0.02354	0.02829	0.02525	0.02260	0.03154	0.02753
24	0.00279	0.03721	0.03721	0.02591	0.02084	0.01722	0.00754	0.00902	0.00708	0.00803	0.00673	0.00319	0.01156	0.00673	0.00576	0.00566
25	0.01528	0.02347	0.02347	0.03972	0.03471	0.01862	0.01668	0.01435	0.02089	0.00818	0.01957	0.01619	0.02501	0.02053	0.01161	0.01643
26	0.02655	0.01175	0.01175	0.05099	0.04590	0.01504	0.02748	0.02562	0.03204	0.01944	0.03084	0.02745	0.03627	0.03179	0.02288	0.02768
27	0.02089	0.05648	0.05648	0.00652	0.00419	0.03686	0.02677	0.02505	0.01284	0.02773	0.01384	0.01859	0.01555	0.01288	0.02183	0.01783
28	0.00843	0.04386	0.04386	0.02625	0.02118	0.01829	0.00619	0.01467	0.01225	0.01354	0.01200	0.00847	0.01658	0.01200	0.01141	0.01093
29	0.00994	0.04551	0.04551	0.01763	0.01254	0.02589	0.01580	0.01409	0.00201	0.01678	0.00303	0.00764	0.00524	0.00193	0.01088	0.00686
30	0.01252	0.04810	0.04810	0.01604	0.01095	0.02826	0.01839	0.01666	0.00492	0.01935	0.00600	0.01021	0.00771	0.00451	0.01345	0.00945
31	0.03034	0.06593	0.06593	0.00311	0.01364	0.04631	0.03622	0.03449	0.02229	0.03718	0.02329	0.02804	0.02500	0.02232	0.03128	0.02728
32	0.00199	0.03409	0.03409	0.02907	0.02400	0.01403	0.00630	0.00894	0.01012	0.00492	0.00989	0.00505	0.01477	0.00989	0.00568	0.00733

FACTOR DE EMISIONES POR TRANSPORTE DE ACEITE																
Ed.	Estados															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	0.00973	0.00715	0.00968	0.01587	0.01033	0.00482	0.03061	0.00279	0.01528	0.02655	0.02089	0.00843	0.00994	0.01252	0.03034	0.00199
2	0.04406	0.03121	0.03637	0.05144	0.04590	0.04061	0.06618	0.03721	0.02347	0.01175	0.05648	0.04386	0.04551	0.04810	0.06593	0.03409
3	0.04406	0.03121	0.03637	0.05144	0.04590	0.04061	0.06618	0.03721	0.02347	0.01175	0.05648	0.04386	0.04551	0.04810	0.06593	0.03409
4	0.01976	0.03159	0.03083	0.01996	0.01702	0.02253	0.00706	0.02591	0.03972	0.05099	0.00652	0.02625	0.01763	0.01604	0.00311	0.02907
5	0.01469	0.02652	0.02579	0.00916	0.01200	0.01746	0.01391	0.02084	0.03471	0.04590	0.00419	0.02118	0.01254	0.01095	0.01364	0.02400
6	0.02569	0.01869	0.01357	0.03182	0.02628	0.02052	0.04656	0.01722	0.01862	0.01504	0.03686	0.01829	0.02589	0.02826	0.04631	0.01403
7	0.01560	0.01531	0.00146	0.02173	0.01621	0.01077	0.03647	0.00754	0.01668	0.02748	0.02677	0.00619	0.01580	0.01839	0.03622	0.00630
8	0.01350	0.00453	0.01665	0.02001	0.01448	0.00970	0.03475	0.00902	0.01435	0.02562	0.02505	0.01467	0.01409	0.01666	0.03449	0.00894
9	0.00146	0.01266	0.01545	0.00781	0.00221	0.00370	0.02254	0.00708	0.02089	0.03204	0.01284	0.01225	0.00201	0.00492	0.02229	0.01012
10	0.01658	0.00825	0.00982	0.02249	0.01717	0.01153	0.03745	0.00803	0.00818	0.01944	0.02773	0.01354	0.01678	0.01935	0.03718	0.00492
11	0.00230	0.01144	0.01509	0.00880	0.00328	0.00336	0.02354	0.00673	0.01957	0.03084	0.01384	0.01200	0.00303	0.00600	0.02329	0.00989
12	0.00744	0.00806	0.01156	0.01355	0.00803	0.00250	0.02829	0.00319	0.01619	0.02745	0.01859	0.00847	0.00764	0.01021	0.02804	0.00505
13	0.00314	0.01688	0.01998	0.01051	0.00436	0.00823	0.02525	0.01156	0.02501	0.03627	0.01555	0.01658	0.00524	0.00771	0.02500	0.01477
14	0.00272	0.01240	0.01509	0.00784	0.00232	0.00335	0.02260	0.00673	0.02053	0.03179	0.01288	0.01200	0.00193	0.00451	0.02232	0.00989
15	0.01029	0.00348	0.01337	0.01680	0.01127	0.00588	0.03154	0.00576	0.01161	0.02288	0.02183	0.01141	0.01088	0.01345	0.03128	0.00568
16	0.00624	0.00830	0.01403	0.01279	0.00727	0.00330	0.02753	0.00566	0.01643	0.02768	0.01783	0.01093	0.00686	0.00945	0.02728	0.00733
17	0.00000	0.01379	0.01688	0.00850	0.00281	0.00515	0.02325	0.00847	0.02192	0.03289	0.01354	0.01379	0.00323	0.00570	0.02298	0.01168
18	0.01379	0.00000	0.01680	0.02023	0.01470	0.00931	0.03497	0.00919	0.00815	0.01942	0.02527	0.01484	0.01430	0.01688	0.03471	0.00860
19	0.01688	0.01680	0.00000	0.02288	0.01734	0.01191	0.03414	0.00869	0.01802	0.02881	0.02442	0.00480	0.01567	0.01585	0.03387	0.00779
20	0.00850	0.02023	0.02288	0.00000	0.00568	0.01119	0.02336	0.01452	0.02838	0.03963	0.01166	0.01747	0.00629	0.00718	0.02310	0.01773
21	0.00281	0.01470	0.01734	0.00568	0.00000	0.00566	0.02043	0.00899	0.02285	0.34119	0.01071	0.01183	0.00076	0.00287	0.02016	0.01220
22	0.00515	0.00931	0.01191	0.01119	0.00566	0.00000	0.02592	0.00352	0.01769	0.02897	0.01621	0.00894	0.00526	0.00784	0.02565	0.00673
23	0.02325	0.03497	0.03414	0.02336	0.02043	0.02592	0.00000	0.02914	0.04294	0.05422	0.00972	0.02949	0.02085	0.01927	0.00647	0.03230
24	0.00847	0.00919	0.00869	0.01452	0.00899	0.00352	0.02914	0.00000	0.01712	0.02839	0.01957	0.00561	0.00862	0.01120	0.02902	0.00321
25	0.02192	0.00815	0.01802	0.02838	0.02285	0.01769	0.04294	0.01712	0.00000	0.01181	0.03338	0.02129	0.02241	0.02500	0.04282	0.01268
26	0.03289	0.01942	0.02861	0.03963	0.03410	0.02897	0.05422	0.02839	0.01181	0.00000	0.04465	0.03258	0.03370	0.03628	0.05410	0.02396
27	0.01354	0.02527	0.02442	0.01166	0.01071	0.01621	0.00972	0.01957	0.03338	0.04465	0.00000	0.01977	0.01115	0.00955	0.00946	0.02260
28	0.01379	0.01484	0.00480	0.01747	0.01183	0.00884	0.02949	0.00561	0.02129	0.03258	0.01977	0.00000	0.01110	0.01129	0.02930	0.00875
29	0.00323	0.01430	0.01567	0.00629	0.00076	0.00526	0.02085	0.00862	0.02241	0.03370	0.01115	0.01110	0.00000	0.00297	0.02074	0.01181
30	0.00570	0.01688	0.01585	0.00718	0.00287	0.00784	0.01927	0.01120	0.02500	0.03628	0.00955	0.01129	0.00297	0.00000	0.01915	0.01440
31	0.02298	0.03471	0.03387	0.02310	0.02016	0.02565	0.00647	0.02902	0.04282	0.05410	0.00946	0.02930	0.02074	0.01915	0.00000	0.03208
32	0.01168	0.00860	0.00779	0.01773	0.01220	0.00673	0.03230	0.00321	0.01268	0.02396	0.02260	0.00875	0.01181	0.01440	0.03208	0.00000

ANEXO 8

Anexo 8. Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por transporte de biodiésel puro (FE<sub>Bio</sub><sup>Puro</sup><sub>k,l</sub>)

FACTOR DE EMISIONES POR TRANSPORTE DE BIODIESEL PURO																
Estados																
Ed.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.00000	0.03608	0.02309	0.02736	0.02227	0.01597	0.00833	0.00698	0.00837	0.00686	0.00799	0.00299	0.01291	0.00848	0.00373	0.00529
2	0.03608	0.00000	0.02292	0.06294	0.05785	0.01994	0.03226	0.03745	0.04370	0.03054	0.04262	0.03924	0.04811	0.04406	0.03473	0.03953
3	0.02309	0.02292	0.00000	0.06294	0.05785	0.01994	0.03226	0.03745	0.04370	0.03054	0.04262	0.03924	0.04811	0.04406	0.03473	0.03953
4	0.02736	0.06294	0.06294	0.00000	0.01065	0.04325	0.03312	0.03135	0.01916	0.03412	0.02016	0.02431	0.02185	0.01920	0.02816	0.02413
5	0.02227	0.05785	0.05785	0.01065	0.00000	0.03818	0.02805	0.02628	0.01411	0.02885	0.01509	0.01984	0.01676	0.01411	0.02309	0.01898
6	0.01597	0.01994	0.01994	0.04325	0.03818	0.00000	0.01218	0.02293	0.02422	0.01063	0.02395	0.01894	0.02866	0.02400	0.01969	0.02124
7	0.00833	0.03226	0.03226	0.03312	0.02805	0.01218	0.00000	0.01514	0.01413	0.00860	0.01387	0.01034	0.01878	0.01391	0.01188	0.01283
8	0.00698	0.03745	0.03745	0.03135	0.02628	0.02293	0.01514	0.00000	0.01227	0.01379	0.01119	0.00788	0.01668	0.01218	0.00330	0.00808
9	0.00837	0.04370	0.04370	0.01916	0.01411	0.02422	0.01413	0.01227	0.00000	0.01509	0.00114	0.00608	0.00465	0.00155	0.00923	0.00531
10	0.00686	0.03054	0.03054	0.03412	0.02885	0.01063	0.00860	0.01379	0.01509	0.00000	0.01484	0.00982	0.01976	0.01487	0.01056	0.01213
11	0.00799	0.04262	0.04262	0.02016	0.01509	0.02395	0.01387	0.01119	0.00114	0.01484	0.00000	0.00570	0.00480	0.00216	0.00803	0.00401
12	0.00299	0.03924	0.03924	0.02491	0.01984	0.01894	0.01034	0.00788	0.00608	0.00982	0.00570	0.00000	0.01061	0.00573	0.00463	0.00299
13	0.01291	0.04811	0.04811	0.02185	0.01676	0.02866	0.01878	0.01668	0.00465	0.01976	0.00480	0.01061	0.00000	0.00592	0.01345	0.00943
14	0.00848	0.04406	0.04406	0.01920	0.01411	0.02400	0.01391	0.01218	0.00155	0.01487	0.00216	0.00573	0.00592	0.00000	0.00897	0.00495
15	0.00373	0.03473	0.03473	0.02816	0.02309	0.01969	0.01188	0.00330	0.00923	0.01056	0.00803	0.00463	0.01345	0.00897	0.00000	0.00487
16	0.00529	0.03953	0.03953	0.02413	0.01898	0.02124	0.01283	0.00808	0.00531	0.01213	0.00401	0.00299	0.00343	0.00495	0.00487	0.00000
17	0.00973	0.04406	0.04406	0.01976	0.01469	0.02589	0.01560	0.01350	0.00146	0.01658	0.00230	0.00744	0.00314	0.00272	0.01029	0.00624
18	0.00715	0.03121	0.03121	0.03159	0.02652	0.01869	0.01531	0.00453	0.01266	0.00825	0.01144	0.00806	0.01688	0.01240	0.00348	0.00830
19	0.00968	0.03637	0.03637	0.03083	0.02579	0.01357	0.00146	0.01665	0.01545	0.00982	0.01509	0.01156	0.01998	0.01509	0.01337	0.01403
20	0.01587	0.05144	0.05144	0.01996	0.00316	0.03182	0.02173	0.02001	0.00781	0.02249	0.00880	0.01355	0.01051	0.00784	0.01680	0.01279
21	0.01033	0.04590	0.04590	0.01702	0.01200	0.02628	0.01621	0.01448	0.00221	0.01717	0.00328	0.00803	0.00436	0.00232	0.01127	0.00727
22	0.00482	0.04061	0.04061	0.02253	0.01746	0.02052	0.01077	0.00970	0.00370	0.01153	0.00336	0.00250	0.00823	0.00335	0.00588	0.00330
23	0.03061	0.06618	0.06618	0.00706	0.01391	0.04656	0.03647	0.03475	0.02254	0.03745	0.02354	0.02829	0.02525	0.02260	0.03154	0.02753
24	0.00279	0.03721	0.03721	0.02591	0.02084	0.01722	0.00754	0.00902	0.00708	0.00803	0.00673	0.00319	0.01156	0.00673	0.00576	0.00566
25	0.01528	0.02347	0.02347	0.03972	0.03471	0.01862	0.01668	0.01435	0.02089	0.00818	0.01957	0.01619	0.02501	0.02053	0.01161	0.01643
26	0.02655	0.01175	0.01175	0.05099	0.04590	0.01504	0.02748	0.02562	0.03204	0.01944	0.03084	0.02745	0.03627	0.03179	0.02288	0.02768
27	0.02089	0.05648	0.05648	0.00652	0.00419	0.03686	0.02677	0.02505	0.01284	0.02773	0.01384	0.01859	0.01555	0.01288	0.02183	0.01783
28	0.00843	0.04386	0.04386	0.02625	0.02118	0.01829	0.00619	0.01467	0.01225	0.01354	0.01200	0.00847	0.01658	0.01200	0.01141	0.01093
29	0.00994	0.04551	0.04551	0.01763	0.01254	0.02589	0.01580	0.01409	0.00201	0.01678	0.00303	0.00764	0.00524	0.00193	0.01088	0.00686
30	0.01252	0.04810	0.04810	0.01604	0.01095	0.02826	0.01839	0.01666	0.00492	0.01935	0.00600	0.01021	0.00771	0.00451	0.01345	0.00945
31	0.03034	0.06593	0.06593	0.00311	0.01364	0.04631	0.03622	0.03449	0.02229	0.03718	0.02329	0.02804	0.02500	0.02232	0.03128	0.02728
32	0.00199	0.03409	0.03409	0.02907	0.02400	0.01403	0.00630	0.00894	0.01012	0.00492	0.00389	0.00505	0.01477	0.00989	0.00568	0.00733

FACTOR DE EMISIONES POR TRANSPORTE DE BIODIESEL PURO																
Ed.	Estados															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	0.00973	0.00715	0.00968	0.01587	0.01033	0.00482	0.03061	0.00279	0.01528	0.02655	0.02089	0.00843	0.00994	0.01252	0.03034	0.00199
2	0.04406	0.03121	0.03637	0.05144	0.04590	0.04061	0.06618	0.03721	0.02347	0.01175	0.05648	0.04386	0.04551	0.04810	0.06593	0.03409
3	0.04406	0.03121	0.03637	0.05144	0.04590	0.04061	0.06618	0.03721	0.02347	0.01175	0.05648	0.04386	0.04551	0.04810	0.06593	0.03409
4	0.01976	0.03159	0.03083	0.01996	0.01702	0.02253	0.00706	0.02591	0.03972	0.05099	0.00652	0.02625	0.01763	0.01604	0.00311	0.02907
5	0.01469	0.02652	0.02579	0.00916	0.01200	0.01746	0.01391	0.02084	0.03471	0.04590	0.00419	0.02118	0.01254	0.01095	0.01364	0.02400
6	0.02569	0.01869	0.01357	0.03182	0.02628	0.02052	0.04656	0.01722	0.01862	0.01504	0.03686	0.01829	0.02589	0.02826	0.04631	0.01403
7	0.01560	0.01531	0.00146	0.02173	0.01621	0.01077	0.03647	0.00754	0.01668	0.02748	0.02677	0.00619	0.01580	0.01839	0.03622	0.00630
8	0.01350	0.00453	0.01665	0.02001	0.01448	0.00970	0.03475	0.00902	0.01435	0.02562	0.02505	0.01467	0.01409	0.01666	0.03449	0.00894
9	0.00146	0.01266	0.01545	0.00781	0.00221	0.00370	0.02254	0.00708	0.02089	0.03204	0.01284	0.01225	0.00201	0.00492	0.02229	0.01012
10	0.01658	0.00825	0.00982	0.02249	0.01717	0.01153	0.03745	0.00803	0.00818	0.01944	0.02773	0.01354	0.01678	0.01935	0.03718	0.00492
11	0.00230	0.01144	0.01509	0.00880	0.00328	0.00336	0.02354	0.00673	0.01957	0.03084	0.01384	0.01200	0.00303	0.00600	0.02329	0.00989
12	0.00744	0.00806	0.01156	0.01355	0.00803	0.00250	0.02829	0.00319	0.01619	0.02745	0.01859	0.00847	0.00764	0.01021	0.02804	0.00505
13	0.00314	0.01688	0.01998	0.01051	0.00436	0.00823	0.02525	0.01156	0.02501	0.03627	0.01555	0.01658	0.00524	0.00771	0.02500	0.01477
14	0.00272	0.01240	0.01509	0.00784	0.00232	0.00335	0.02260	0.00673	0.02053	0.03179	0.01288	0.01200	0.00193	0.00451	0.02232	0.00989
15	0.01029	0.00348	0.01337	0.01680	0.01127	0.00588	0.03154	0.00576	0.01161	0.02288	0.02183	0.01141	0.01088	0.01345	0.03128	0.00568
16	0.00624	0.00830	0.01403	0.01279	0.00727	0.00330	0.02753	0.00566	0.01643	0.02768	0.01783	0.01093	0.00686	0.00945	0.02728	0.00733
17	0.00000	0.01379	0.01688	0.00850	0.00281	0.00515	0.02325	0.00847	0.02192	0.03289	0.01354	0.01379	0.00323	0.00570	0.02298	0.01168
18	0.01379	0.00000	0.01680	0.02023	0.01470	0.00931	0.03497	0.00919	0.00815	0.01942	0.02527	0.01484	0.01430	0.01688	0.03471	0.00860
19	0.01688	0.01680	0.00000	0.02288	0.01734	0.01191	0.03414	0.00869	0.01802	0.02881	0.02442	0.00480	0.01567	0.01585	0.03387	0.00779
20	0.00850	0.02023	0.02288	0.00000	0.00568	0.01119	0.02336	0.01452	0.02838	0.03963	0.01166	0.01747	0.00629	0.00718	0.02310	0.01773
21	0.00281	0.01470	0.01734	0.00568	0.00000	0.00566	0.02043	0.00899	0.02285	0.34119	0.01071	0.01183	0.00076	0.00287	0.02016	0.01220
22	0.00515	0.00931	0.01191	0.01119	0.00566	0.00000	0.02592	0.00352	0.01769	0.02897	0.01621	0.00884	0.00526	0.00784	0.02565	0.00673
23	0.02325	0.03497	0.03414	0.02336	0.02043	0.02592	0.00000	0.02914	0.04294	0.05422	0.00972	0.02949	0.02085	0.01927	0.00647	0.03230
24	0.00847	0.00919	0.00869	0.01452	0.00899	0.00352	0.02914	0.00000	0.01712	0.02839	0.01957	0.00561	0.00862	0.01120	0.02902	0.00321
25	0.02192	0.00815	0.01802	0.02838	0.02285	0.01769	0.04294	0.01712	0.00000	0.01181	0.03338	0.02129	0.02241	0.02500	0.04282	0.01268
26	0.03289	0.01942	0.02881	0.03963	0.03410	0.02897	0.05422	0.02839	0.01181	0.00000	0.04465	0.03258	0.03370	0.03628	0.05410	0.02396
27	0.01354	0.02527	0.02442	0.01166	0.01071	0.01621	0.00972	0.01957	0.03338	0.04465	0.00000	0.01977	0.01115	0.00955	0.00346	0.02260
28	0.01379	0.01484	0.00480	0.01747	0.01183	0.00884	0.02949	0.00561	0.02129	0.03258	0.01977	0.00000	0.01110	0.01129	0.02930	0.00875
29	0.00323	0.01430	0.01567	0.00629	0.00076	0.00526	0.02085	0.00862	0.02241	0.03370	0.01115	0.01110	0.00000	0.00297	0.02074	0.01181
30	0.00570	0.01688	0.01585	0.00718	0.00287	0.00784	0.01927	0.01120	0.02500	0.03628	0.00955	0.01129	0.00297	0.00000	0.01915	0.01440
31	0.02298	0.03471	0.03387	0.02310	0.02016	0.02565	0.00647	0.02902	0.04282	0.05410	0.00946	0.02930	0.02074	0.01915	0.00000	0.03208
32	0.01168	0.00860	0.00779	0.01773	0.01220	0.00673	0.03230	0.00321	0.01268	0.02396	0.02260	0.00875	0.01181	0.01440	0.03208	0.00000

ANEXO 9

Anexo 9. Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por transporte de mezcla de biodiésel (FEBio<sub>L,M</sub><sup>Mix</sup>)

FACTOR DE EMISIONES POR TRANSPORTE DE BIODIESEL EN MEZCLA																
Estados																
Ed.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.00000	0.03608	0.02309	0.02736	0.02227	0.01597	0.00833	0.00698	0.00837	0.00686	0.00799	0.00299	0.01291	0.00848	0.00373	0.00529
2	0.03608	0.00000	0.02292	0.06294	0.05785	0.01994	0.03226	0.03745	0.04370	0.03054	0.04262	0.03924	0.04811	0.04406	0.03473	0.03953
3	0.02309	0.02292	0.00000	0.06294	0.05785	0.01994	0.03226	0.03745	0.04370	0.03054	0.04262	0.03924	0.04811	0.04406	0.03473	0.03953
4	0.02736	0.06294	0.06294	0.00000	0.01065	0.04325	0.03312	0.03135	0.01916	0.03412	0.02016	0.02491	0.02185	0.01920	0.02816	0.02413
5	0.02227	0.05785	0.05785	0.01065	0.00000	0.03818	0.02805	0.02628	0.01411	0.02885	0.01509	0.01984	0.01676	0.01411	0.02309	0.01898
6	0.01597	0.01994	0.01994	0.04325	0.03818	0.00000	0.01218	0.02293	0.02422	0.01063	0.02395	0.01894	0.02866	0.02400	0.01969	0.02124
7	0.00833	0.03226	0.03226	0.03312	0.02805	0.01218	0.00000	0.01514	0.01413	0.00860	0.01387	0.01034	0.01878	0.01391	0.01188	0.01283
8	0.00698	0.03745	0.03745	0.03135	0.02628	0.02293	0.01514	0.00000	0.01227	0.01379	0.01119	0.00788	0.01668	0.01218	0.00330	0.00808
9	0.00837	0.04370	0.04370	0.01916	0.01411	0.02422	0.01413	0.01227	0.00000	0.01509	0.00114	0.00608	0.00465	0.00155	0.00923	0.00531
10	0.00686	0.03054	0.03054	0.03412	0.02885	0.01063	0.00860	0.01379	0.01509	0.00000	0.01484	0.00982	0.01976	0.01487	0.01056	0.01213
11	0.00799	0.04262	0.04262	0.02016	0.01509	0.02395	0.01387	0.01119	0.00114	0.01484	0.00000	0.00570	0.00480	0.00216	0.00803	0.00401
12	0.00299	0.03924	0.03924	0.02491	0.01984	0.01894	0.01034	0.00788	0.00608	0.00982	0.00570	0.00000	0.01061	0.00573	0.00463	0.00299
13	0.01291	0.04811	0.04811	0.02185	0.01676	0.02866	0.01878	0.01668	0.00465	0.01976	0.00480	0.01061	0.00000	0.00592	0.01345	0.00943
14	0.00848	0.04406	0.04406	0.01920	0.01411	0.02400	0.01391	0.01218	0.00155	0.01487	0.00216	0.00573	0.00592	0.00000	0.00897	0.00495
15	0.00373	0.03473	0.03473	0.02816	0.02309	0.01969	0.01188	0.00330	0.00923	0.01056	0.00803	0.00463	0.01345	0.00897	0.00000	0.00487
16	0.00529	0.03953	0.03953	0.02413	0.01898	0.02124	0.01283	0.00808	0.00531	0.01213	0.00401	0.00299	0.00343	0.00495	0.00487	0.00000
17	0.00973	0.04406	0.04406	0.01976	0.01469	0.02569	0.01560	0.01350	0.00146	0.01658	0.00230	0.00744	0.00314	0.00272	0.01029	0.00624
18	0.00715	0.03121	0.03121	0.03159	0.02652	0.01869	0.01531	0.00453	0.01266	0.00825	0.01144	0.00806	0.01688	0.01240	0.00348	0.00830
19	0.00968	0.03637	0.03637	0.03083	0.02579	0.01357	0.00146	0.01665	0.01545	0.00982	0.01509	0.01156	0.01998	0.01509	0.01337	0.01403
20	0.01587	0.05144	0.05144	0.01996	0.00916	0.03182	0.02173	0.02001	0.00781	0.02249	0.00880	0.01355	0.01051	0.00784	0.01680	0.01279
21	0.01033	0.04590	0.04590	0.01702	0.01200	0.02628	0.01621	0.01448	0.00221	0.01717	0.00328	0.00803	0.00436	0.00232	0.01127	0.00727
22	0.00482	0.04061	0.04061	0.02253	0.01746	0.02052	0.01077	0.00970	0.00370	0.01153	0.00336	0.00250	0.00823	0.00335	0.00588	0.00330
23	0.03061	0.06618	0.06618	0.00706	0.01391	0.04656	0.03647	0.03475	0.02254	0.03745	0.02354	0.02829	0.02525	0.02260	0.03154	0.02753
24	0.00279	0.03721	0.03721	0.02591	0.02084	0.01722	0.00754	0.00902	0.00708	0.00803	0.00673	0.00319	0.01156	0.00673	0.00576	0.00566
25	0.01528	0.02347	0.02347	0.03972	0.03471	0.01862	0.01668	0.01435	0.02089	0.00818	0.01957	0.01619	0.02501	0.02053	0.01161	0.01643
26	0.02655	0.01175	0.01175	0.05099	0.04590	0.01504	0.02748	0.02562	0.03204	0.01944	0.03084	0.02745	0.03627	0.03179	0.02288	0.02768
27	0.02089	0.05648	0.05648	0.00652	0.00419	0.03686	0.02677	0.02505	0.01284	0.02773	0.01384	0.01859	0.01555	0.01288	0.02183	0.01783
28	0.00843	0.04386	0.04386	0.02625	0.02118	0.01829	0.00619	0.01467	0.01225	0.01354	0.01200	0.00847	0.01658	0.01200	0.01141	0.01033
29	0.00994	0.04551	0.04551	0.01763	0.01254	0.02589	0.01580	0.01409	0.00201	0.01678	0.00303	0.00764	0.00524	0.00193	0.01088	0.00686
30	0.01252	0.04810	0.04810	0.01604	0.01095	0.02826	0.01839	0.01666	0.00492	0.01935	0.00600	0.01021	0.00771	0.00451	0.01345	0.00945
31	0.03034	0.06593	0.06593	0.00311	0.01364	0.04631	0.03622	0.03449	0.02229	0.03718	0.02329	0.02804	0.02500	0.02232	0.03128	0.02728
32	0.00199	0.03409	0.03409	0.02907	0.02400	0.01403	0.00630	0.00894	0.01012	0.00492	0.00389	0.00505	0.01477	0.00989	0.00568	0.00733

FACTOR DE EMISIONES POR TRANSPORTE DE BIODIESEL EN MEZCLA																
Ed.	Estados															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	0.00973	0.00715	0.00968	0.01587	0.01033	0.00482	0.03061	0.00279	0.01528	0.02655	0.02089	0.00843	0.00994	0.01252	0.03034	0.00199
2	0.04406	0.03121	0.03637	0.05144	0.04590	0.04061	0.06618	0.03721	0.02347	0.01175	0.05648	0.04386	0.04551	0.04810	0.06593	0.03409
3	0.04406	0.03121	0.03637	0.05144	0.04590	0.04061	0.06618	0.03721	0.02347	0.01175	0.05648	0.04386	0.04551	0.04810	0.06593	0.03409
4	0.01976	0.03159	0.03083	0.01996	0.01702	0.02253	0.00706	0.02591	0.03972	0.05099	0.00652	0.02625	0.01763	0.01604	0.00311	0.02907
5	0.01469	0.02652	0.02579	0.00916	0.01200	0.01746	0.01391	0.02084	0.03471	0.04590	0.00419	0.02118	0.01254	0.01095	0.01364	0.02400
6	0.02569	0.01869	0.01357	0.03182	0.02628	0.02052	0.04656	0.01722	0.01862	0.01504	0.03686	0.01829	0.02589	0.02826	0.04631	0.01403
7	0.01560	0.01531	0.00146	0.02173	0.01621	0.01077	0.03647	0.00754	0.01668	0.02748	0.02677	0.00619	0.01580	0.01839	0.03622	0.00630
8	0.01350	0.00453	0.01665	0.02001	0.01448	0.00970	0.03475	0.00902	0.01435	0.02562	0.02505	0.01467	0.01409	0.01666	0.03449	0.00894
9	0.00146	0.01266	0.01545	0.00781	0.00221	0.00370	0.02254	0.00708	0.02089	0.03204	0.01284	0.01225	0.00201	0.00492	0.02229	0.01012
10	0.01658	0.00825	0.00982	0.02249	0.01717	0.01153	0.03745	0.00803	0.00818	0.01944	0.02773	0.01354	0.01678	0.01935	0.03718	0.00492
11	0.00230	0.01144	0.01509	0.00880	0.00328	0.00336	0.02354	0.00673	0.01957	0.03084	0.01384	0.01200	0.00303	0.00600	0.02329	0.00989
12	0.00744	0.00806	0.01156	0.01355	0.00803	0.00250	0.02829	0.00319	0.01619	0.02745	0.01859	0.00847	0.00764	0.01021	0.02804	0.00505
13	0.00314	0.01688	0.01998	0.01051	0.00436	0.00823	0.02525	0.01156	0.02501	0.03627	0.01555	0.01658	0.00524	0.00771	0.02500	0.01477
14	0.00272	0.01240	0.01509	0.00784	0.00232	0.00335	0.02260	0.00673	0.02053	0.03179	0.01288	0.01200	0.00193	0.00451	0.02232	0.00989
15	0.01029	0.00348	0.01337	0.01680	0.01127	0.00588	0.03154	0.00576	0.01161	0.02288	0.02183	0.01141	0.01088	0.01345	0.03128	0.00568
16	0.00624	0.00830	0.01403	0.01279	0.00727	0.00330	0.02753	0.00566	0.01643	0.02768	0.01783	0.01093	0.00686	0.00945	0.02728	0.00733
17	0.00000	0.01379	0.01688	0.00850	0.00281	0.00515	0.02325	0.00847	0.02192	0.03289	0.01354	0.01379	0.00323	0.00570	0.02298	0.01168
18	0.01379	0.00000	0.01680	0.02023	0.01470	0.00931	0.03497	0.00919	0.00815	0.01942	0.02527	0.01484	0.01430	0.01688	0.03471	0.00860
19	0.01688	0.01680	0.00000	0.02288	0.01734	0.01191	0.03414	0.00869	0.01802	0.02881	0.02442	0.00480	0.01567	0.01585	0.03387	0.00779
20	0.00850	0.02023	0.02288	0.00000	0.00568	0.01119	0.02336	0.01452	0.02838	0.03963	0.01166	0.01747	0.00629	0.00718	0.02310	0.01773
21	0.00281	0.01470	0.01734	0.00568	0.00000	0.00566	0.02043	0.00899	0.02285	0.34119	0.01071	0.01183	0.00076	0.00287	0.02016	0.01220
22	0.00515	0.00931	0.01191	0.01119	0.00566	0.00000	0.02592	0.00352	0.01769	0.02897	0.01621	0.00884	0.00526	0.00784	0.02565	0.00673
23	0.02325	0.03497	0.03414	0.02336	0.02043	0.02592	0.00000	0.02914	0.04294	0.05422	0.00972	0.02949	0.02085	0.01927	0.00647	0.03230
24	0.00847	0.00919	0.00869	0.01452	0.00899	0.00352	0.02914	0.00000	0.01712	0.02839	0.01957	0.00561	0.00862	0.01120	0.02902	0.00321
25	0.02192	0.00815	0.01802	0.02838	0.02285	0.01769	0.04294	0.01712	0.00000	0.01181	0.03338	0.02129	0.02241	0.02500	0.04282	0.01268
26	0.03289	0.01942	0.02881	0.03963	0.03410	0.02897	0.05422	0.02839	0.01181	0.00000	0.04465	0.03258	0.03370	0.03628	0.05410	0.02396
27	0.01354	0.02527	0.02442	0.01166	0.01071	0.01621	0.00972	0.01957	0.03338	0.04465	0.00000	0.01977	0.01115	0.00955	0.00946	0.02260
28	0.01379	0.01484	0.00480	0.01747	0.01183	0.00884	0.02949	0.00561	0.02129	0.03258	0.01977	0.00000	0.01110	0.01129	0.02930	0.00875
29	0.00323	0.01430	0.01567	0.00629	0.00076	0.00526	0.02085	0.00862	0.02241	0.03370	0.01115	0.01110	0.00000	0.00297	0.02074	0.01181
30	0.00570	0.01688	0.01585	0.00718	0.00287	0.00784	0.01927	0.01120	0.02500	0.03628	0.00955	0.01129	0.00297	0.00000	0.01915	0.01440
31	0.02298	0.03471	0.03387	0.02310	0.02016	0.02565	0.00647	0.02902	0.04282	0.05410	0.00946	0.02930	0.02074	0.01915	0.00000	0.03208
32	0.01168	0.00860	0.00779	0.01773	0.01220	0.00673	0.03230	0.00321	0.01268	0.02396	0.02260	0.00875	0.01181	0.01440	0.03208	0.00000

**ANEXO 10**

**Anexo 10. Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por transporte de diésel convencional (FECV<sub>s,l</sub>)**

EMISIONES DE CO2 GENERADAS POR TRANSPORTE DE DIÉSEL CONVENCIONAL																
Estados																
Ref.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.0105118	0.0369096	0.0267358	0.0307749	0.025688	0.0145678	0.0023829	0.0175253	0.0161902	0.0108498	0.0159198	0.0124046	0.0208377	0.016393	0.0142805	0.0148889
2	0.0102414	0.0467623	0.0323973	0.0222911	0.0172211	0.0221728	0.0099879	0.0162747	0.0077571	0.015379	0.0088049	0.0102414	0.0124891	0.0065403	0.0130299	0.0118807
3	0.0034645	0.0394108	0.0240994	0.0240318	0.0189618	0.0194688	0.0110188	0.0079261	0.0048841	0.0102921	0.0046813	0.0015278	0.0095992	0.0051883	0.00507	0.0019097
4	0.0074698	0.0430443	0.0277329	0.0201786	0.0150917	0.0232544	0.0133341	0.0115596	0.0013943	0.0141453	0.0022477	0.0051207	0.0060333	0.0012962	0.0083824	0.0042588
5	0.0178971	0.0534885	0.0381602	0.009464	0.004394	0.0339014	0.0237783	0.0219869	0.0098189	0.0245388	0.010816	0.0155649	0.0124891	0.0100217	0.0188097	0.0147875
6	0.0203645	0.055939	0.0406276	0.0150748	0.0053404	0.0363519	0.0262288	0.0244543	0.0122356	0.02704	0.0133003	0.0180154	0.0149565	0.0124722	0.0212771	0.017238
Estados																
Ref.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	0.0176605	0.0176943	0.0007504	0.0219193	0.018252	0.0128102	0.0340197	0.0095823	0.018928	0.0297271	0.0243191	0.0046982	0.0178633	0.0157339	0.0337662	0.0087035
2	0.0093119	0.0164606	0.008619	0.0134355	0.0078078	0.0106639	0.0255359	0.007436	0.0245895	0.034814	0.0158353	0.0040391	0.006422	0.0072501	0.0252824	0.0105625
3	0.0063544	0.0085007	0.012168	0.0125398	0.0070135	0.00157	0.0272766	0.0038025	0.0162916	0.027547	0.017576	0.0090753	0.0066248	0.0091936	0.0270231	0.0054925
4	0.0028561	0.0117962	0.0144833	0.0086866	0.0031434	0.0027716	0.0234234	0.0061178	0.0199251	0.0311974	0.0137059	0.0113906	0.0027547	0.0053235	0.023153	0.0092781
5	0.0104104	0.0222404	0.0249275	0.0105963	0.0077233	0.013182	0.0127257	0.0165451	0.0303524	0.0416247	0.0030082	0.0169	0.0082641	0.0066755	0.0124553	0.0197223
6	0.0128609	0.0246909	0.027378	0.0044616	0.0101231	0.0156494	0.0183196	0.0189111	0.0328198	0.0440921	0.008619	0.0219362	0.0107315	0.0116272	0.0180661	0.0221728

ANEXO 11

Anexo 11. Emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por transporte de residuos orgánicos (FEO<sub>ij</sub><sup>trans</sup>)

FACTOR DE EMISIONES POR TRANSPORTE DE RESIDUOS ORGANICOS																
Estados																
Ed.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.00000	0.00350	0.00224	0.00265	0.00216	0.00155	0.00081	0.00068	0.00081	0.00067	0.00078	0.00029	0.00125	0.00082	0.00036	0.00051
2	0.00350	0.00000	0.00222	0.00611	0.00561	0.00193	0.00313	0.00363	0.00424	0.00296	0.00414	0.00381	0.00467	0.00427	0.00337	0.00384
3	0.00224	0.00222	0.00000	0.00611	0.00561	0.00193	0.00313	0.00363	0.00424	0.00296	0.00414	0.00381	0.00467	0.00427	0.00337	0.00384
4	0.00265	0.00611	0.00611	0.00000	0.00103	0.00420	0.00321	0.00304	0.00186	0.00331	0.00196	0.00242	0.00212	0.00186	0.00273	0.00234
5	0.00216	0.00561	0.00561	0.00103	0.00000	0.00370	0.00272	0.00255	0.00137	0.00280	0.00146	0.00193	0.00163	0.00137	0.00224	0.00184
6	0.00155	0.00193	0.00193	0.00420	0.00370	0.00000	0.00118	0.00223	0.00235	0.00103	0.00232	0.00184	0.00278	0.00233	0.00191	0.00206
7	0.00081	0.00313	0.00313	0.00321	0.00272	0.00118	0.00000	0.00147	0.00137	0.00083	0.00135	0.00100	0.00182	0.00135	0.00115	0.00124
8	0.00068	0.00363	0.00363	0.00304	0.00255	0.00223	0.00147	0.00000	0.00119	0.00134	0.00109	0.00076	0.00162	0.00118	0.00032	0.00078
9	0.00081	0.00424	0.00424	0.00186	0.00137	0.00235	0.00137	0.00119	0.00000	0.00146	0.00011	0.00059	0.00045	0.00015	0.00090	0.00051
10	0.00067	0.00296	0.00296	0.00331	0.00280	0.00103	0.00083	0.00134	0.00146	0.00000	0.00144	0.00095	0.00192	0.00144	0.00102	0.00118
11	0.00078	0.00414	0.00414	0.00196	0.00146	0.00232	0.00135	0.00109	0.00011	0.00144	0.00000	0.00055	0.00047	0.00021	0.00078	0.00039
12	0.00029	0.00381	0.00381	0.00242	0.00193	0.00184	0.00100	0.00076	0.00059	0.00095	0.00055	0.00000	0.00103	0.00056	0.00045	0.00029
13	0.00125	0.00467	0.00467	0.00212	0.00163	0.00278	0.00182	0.00162	0.00045	0.00192	0.00047	0.00103	0.00000	0.00057	0.00131	0.00091
14	0.00082	0.00427	0.00427	0.00186	0.00137	0.00233	0.00135	0.00118	0.00015	0.00144	0.00021	0.00056	0.00057	0.00000	0.00087	0.00048
15	0.00036	0.00337	0.00337	0.00273	0.00224	0.00191	0.00115	0.00032	0.00090	0.00102	0.00078	0.00045	0.00131	0.00087	0.00000	0.00047
16	0.00051	0.00384	0.00384	0.00234	0.00184	0.00206	0.00124	0.00078	0.00051	0.00118	0.00039	0.00029	0.00091	0.00048	0.00047	0.00000
17	0.00094	0.00427	0.00427	0.00192	0.00142	0.00249	0.00151	0.00131	0.00014	0.00161	0.00022	0.00072	0.00030	0.00026	0.00100	0.00061
18	0.00069	0.00303	0.00303	0.00306	0.00257	0.00181	0.00149	0.00044	0.00123	0.00080	0.00111	0.00078	0.00164	0.00120	0.00034	0.00081
19	0.00094	0.00353	0.00353	0.00299	0.00250	0.00132	0.00014	0.00162	0.00150	0.00095	0.00146	0.00112	0.00194	0.00146	0.00130	0.00136
20	0.00154	0.00499	0.00499	0.00194	0.00089	0.00309	0.00211	0.00194	0.00076	0.00218	0.00085	0.00132	0.00102	0.00076	0.00163	0.00124
21	0.00100	0.00445	0.00445	0.00165	0.00116	0.00255	0.00157	0.00141	0.00021	0.00167	0.00032	0.00078	0.00042	0.00022	0.00109	0.00071
22	0.00047	0.00394	0.00394	0.00219	0.00169	0.00199	0.00104	0.00094	0.00036	0.00112	0.00033	0.00024	0.00080	0.00032	0.00057	0.00032
23	0.00297	0.00642	0.00642	0.00069	0.00135	0.00452	0.00354	0.00337	0.00219	0.00363	0.00228	0.00274	0.00245	0.00219	0.00306	0.00267
24	0.00027	0.00361	0.00361	0.00251	0.00202	0.00167	0.00073	0.00088	0.00069	0.00078	0.00065	0.00031	0.00112	0.00065	0.00056	0.00055
25	0.00148	0.00228	0.00228	0.00385	0.00337	0.00181	0.00162	0.00139	0.00203	0.00079	0.00190	0.00157	0.00243	0.00199	0.00113	0.00159
26	0.00258	0.00114	0.00114	0.00495	0.00445	0.00146	0.00267	0.00249	0.00311	0.00189	0.00299	0.00266	0.00352	0.00308	0.00222	0.00269
27	0.00203	0.00548	0.00548	0.00063	0.00041	0.00358	0.00260	0.00243	0.00125	0.00269	0.00134	0.00180	0.00151	0.00125	0.00212	0.00173
28	0.00082	0.00426	0.00426	0.00255	0.00205	0.00177	0.00060	0.00142	0.00119	0.00131	0.00116	0.00082	0.00161	0.00116	0.00111	0.00106
29	0.00096	0.00442	0.00442	0.00171	0.00122	0.00251	0.00153	0.00137	0.00020	0.00163	0.00029	0.00074	0.00051	0.00019	0.00106	0.00067
30	0.00122	0.00467	0.00467	0.00156	0.00106	0.00274	0.00178	0.00162	0.00048	0.00188	0.00058	0.00099	0.00075	0.00044	0.00131	0.00092
31	0.00294	0.00640	0.00640	0.00030	0.00132	0.00449	0.00351	0.00335	0.00216	0.00361	0.00226	0.00272	0.00243	0.00217	0.00304	0.00265
32	0.00019	0.00331	0.00331	0.00282	0.00233	0.00136	0.00061	0.00087	0.00098	0.00048	0.00096	0.00049	0.00143	0.00096	0.00055	0.00071

FACTOR DE EMISIONES POR TRANSPORTE DE RESIDUOS ORGANICOS																
Ed.	Estados															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	0.00094	0.00069	0.00094	0.00154	0.00100	0.00047	0.00297	0.00027	0.00148	0.00258	0.00203	0.00082	0.00096	0.00122	0.00294	0.00019
2	0.00427	0.00303	0.00353	0.00499	0.00445	0.00394	0.00642	0.00361	0.00228	0.00114	0.00548	0.00426	0.00442	0.00467	0.00640	0.00331
3	0.00427	0.00303	0.00353	0.00499	0.00445	0.00394	0.00642	0.00361	0.00228	0.00114	0.00548	0.00426	0.00442	0.00467	0.00640	0.00331
4	0.00192	0.00306	0.00299	0.00194	0.00165	0.00219	0.00069	0.00251	0.00385	0.00495	0.00063	0.00255	0.00171	0.00156	0.00030	0.00282
5	0.00142	0.00257	0.00250	0.00089	0.00116	0.00169	0.00135	0.00202	0.00337	0.00445	0.00041	0.00205	0.00122	0.00106	0.00132	0.00233
6	0.00249	0.00181	0.00132	0.00309	0.00255	0.00199	0.00452	0.00167	0.00181	0.00146	0.00358	0.00177	0.00251	0.00274	0.00449	0.00136
7	0.00151	0.00149	0.00014	0.00211	0.00157	0.00104	0.00354	0.00073	0.00162	0.00267	0.00260	0.00060	0.00153	0.00178	0.00351	0.00061
8	0.00131	0.00044	0.00162	0.00194	0.00141	0.00094	0.00337	0.00088	0.00139	0.00249	0.00243	0.00142	0.00137	0.00162	0.00335	0.00087
9	0.00014	0.00123	0.00150	0.00076	0.00021	0.00036	0.00219	0.00069	0.00203	0.00311	0.00125	0.00119	0.00020	0.00048	0.00216	0.00098
10	0.00161	0.00080	0.00095	0.00218	0.00167	0.00112	0.00363	0.00078	0.00079	0.00189	0.00269	0.00131	0.00163	0.00188	0.00361	0.00048
11	0.00022	0.00111	0.00146	0.00085	0.00032	0.00033	0.00228	0.00065	0.00190	0.00299	0.00134	0.00116	0.00029	0.00058	0.00226	0.00096
12	0.00072	0.00078	0.00112	0.00132	0.00078	0.00024	0.00274	0.00031	0.00157	0.00266	0.00180	0.00082	0.00074	0.00099	0.00272	0.00049
13	0.00030	0.00164	0.00194	0.00102	0.00042	0.00080	0.00245	0.00112	0.00243	0.00352	0.00151	0.00161	0.00051	0.00075	0.00243	0.00143
14	0.00026	0.00120	0.00146	0.00076	0.00022	0.00032	0.00219	0.00065	0.00199	0.00308	0.00125	0.00116	0.00019	0.00044	0.00217	0.00096
15	0.00100	0.00034	0.00130	0.00163	0.00109	0.00057	0.00306	0.00056	0.00113	0.00222	0.00212	0.00111	0.00106	0.00131	0.00304	0.00055
16	0.00061	0.00081	0.00136	0.00124	0.00071	0.00032	0.00267	0.00055	0.00159	0.00269	0.00173	0.00106	0.00067	0.00092	0.00265	0.00071
17	0.00000	0.00134	0.00164	0.00082	0.00027	0.00050	0.00226	0.00082	0.00213	0.00319	0.00131	0.00134	0.00031	0.00055	0.00223	0.00113
18	0.00134	0.00000	0.00163	0.00196	0.00143	0.00090	0.00339	0.00089	0.00079	0.00188	0.00245	0.00144	0.00139	0.00164	0.00337	0.00083
19	0.00164	0.00163	0.00000	0.00222	0.00168	0.00116	0.00331	0.00084	0.00175	0.00280	0.00237	0.00047	0.00152	0.00154	0.00329	0.00076
20	0.00082	0.00196	0.00222	0.00000	0.00055	0.00109	0.00227	0.00141	0.00275	0.00385	0.00113	0.00170	0.00061	0.00070	0.00224	0.00172
21	0.00027	0.00143	0.00168	0.00055	0.00000	0.00055	0.00198	0.00087	0.00222	0.00310	0.00104	0.00115	0.00007	0.00028	0.00196	0.00118
22	0.00050	0.00090	0.00116	0.00109	0.00055	0.00000	0.00252	0.00034	0.00172	0.00281	0.00157	0.00086	0.00051	0.00076	0.00249	0.00065
23	0.00226	0.00339	0.00331	0.00227	0.00198	0.00252	0.00000	0.00283	0.00417	0.00526	0.00094	0.00286	0.00202	0.00187	0.00063	0.00313
24	0.00082	0.00089	0.00084	0.00141	0.00087	0.00034	0.00283	0.00000	0.00166	0.00275	0.00190	0.00054	0.00084	0.00109	0.00282	0.00031
25	0.00213	0.00079	0.00175	0.00275	0.00222	0.00172	0.00417	0.00166	0.00000	0.00115	0.00324	0.00207	0.00217	0.00243	0.00416	0.00123
26	0.00319	0.00188	0.00280	0.00385	0.00331	0.00281	0.00526	0.00275	0.00115	0.00000	0.00433	0.00316	0.00327	0.00352	0.00525	0.00233
27	0.00131	0.00245	0.00237	0.00113	0.00104	0.00157	0.00094	0.00190	0.00324	0.00433	0.00000	0.00192	0.00108	0.00093	0.00092	0.00219
28	0.00134	0.00144	0.00047	0.00170	0.00115	0.00086	0.00286	0.00054	0.00207	0.00316	0.00192	0.00000	0.00108	0.00110	0.00284	0.00085
29	0.00031	0.00139	0.00152	0.00061	0.00007	0.00051	0.00202	0.00084	0.00217	0.00327	0.00108	0.00108	0.00000	0.00029	0.00201	0.00115
30	0.00055	0.00164	0.00154	0.00070	0.00028	0.00076	0.00187	0.00109	0.00243	0.00352	0.00093	0.00110	0.00029	0.00000	0.00186	0.00140
31	0.00223	0.00337	0.00329	0.00224	0.00196	0.00249	0.00063	0.00282	0.00416	0.00525	0.00092	0.00284	0.00201	0.00186	0.00000	0.00311
32	0.00113	0.00083	0.00076	0.00172	0.00118	0.00065	0.00313	0.00031	0.00123	0.00233	0.00219	0.00085	0.00115	0.00140	0.00311	0.00000

ANEXO 12

Anexo 12. Emisiones generadas de CO<sub>2</sub> por "transporte de diésel convencional (FTDC<sub>s,l</sub>)

EMISIONES DE CO <sub>2</sub> GENERADAS POR TRANSPORTE DE DIÉSEL CONVENCIONAL																
Estados																
Ref.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.0105118	0.0369096	0.0267358	0.0307749	0.025688	0.0145678	0.0023829	0.0175253	0.0161902	0.0108498	0.0159198	0.0124046	0.0208377	0.016393	0.0142805	0.0148889
2	0.0102414	0.0467623	0.0323973	0.0222911	0.0172211	0.0221728	0.0099879	0.0162747	0.0077571	0.015379	0.0088049	0.0102414	0.0124891	0.0065403	0.0130299	0.0118807
3	0.0034645	0.0394108	0.0240994	0.0240318	0.0189618	0.0194688	0.0110188	0.0079261	0.0048841	0.0102921	0.0046813	0.0015278	0.0095992	0.0051883	0.00507	0.0019097
4	0.0074698	0.0430443	0.0277329	0.0201786	0.0150917	0.0232544	0.0133341	0.0115596	0.0013943	0.0141453	0.0022477	0.0051207	0.0060333	0.0012962	0.0083824	0.0042588
5	0.0178971	0.0534885	0.0381602	0.009464	0.004394	0.0339014	0.0237783	0.0219869	0.0098189	0.0245388	0.010816	0.0155649	0.0124891	0.0100217	0.0188097	0.0147875
6	0.0203645	0.055939	0.0406276	0.0150748	0.0053404	0.0363519	0.0262288	0.0244543	0.0122356	0.02704	0.0133003	0.0180154	0.0149565	0.0124722	0.0212771	0.017238
Estados																
Ref.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	0.0176605	0.0176943	0.0007504	0.0219193	0.018252	0.0128102	0.0340197	0.0095823	0.018928	0.0297271	0.0243191	0.0046982	0.0178633	0.0157339	0.0337662	0.0087035
2	0.0093119	0.0164606	0.008619	0.0134355	0.0078078	0.0106639	0.0255359	0.007436	0.0245895	0.034814	0.0158353	0.0040391	0.006422	0.0072501	0.0252824	0.0105625
3	0.0063544	0.0085007	0.012168	0.0125398	0.0070135	0.00157	0.0272766	0.0038025	0.0162916	0.027547	0.017576	0.0090753	0.0066248	0.0091936	0.0270231	0.0054925
4	0.0028561	0.0117962	0.0144833	0.0086866	0.0031434	0.0027716	0.0234234	0.0061178	0.0199251	0.0311974	0.0137059	0.0113906	0.0027547	0.0053235	0.023153	0.0092781
5	0.0104104	0.0222404	0.0249275	0.0105963	0.0077233	0.013182	0.0127257	0.0165451	0.0303524	0.0416247	0.0030082	0.0169	0.0082641	0.0066755	0.0124553	0.0197223
6	0.0128609	0.0246909	0.027378	0.0044616	0.0101231	0.0156494	0.0183196	0.0189111	0.0328198	0.0440921	0.008619	0.0219362	0.0107315	0.0116272	0.0180661	0.0221728