



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“DISEÑO DE UN MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA  
RECOLECCIÓN DE ACEITE USADO DE COCINA (AUC) PARA LA  
GENERACIÓN DE BIODIESEL”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA ADMINISTRATIVA**

PRESENTA:

**LIC. BERNARDO MARIANO MATAMOROS OLVERA**

DIRECTOR:

**DR. MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ LOZADA**

CO-DIRECTOR

**M.A. MA. ELIZABETH MONTIEL HUERTA**

Apizaco, Tlaxcala a Septiembre de 2016

Apizaco, Tlax., 10 de Agosto de 2016

No. OFICIO: DEPI/256/16

**ASUNTO:** Se Autoriza Impresión de Tesis de Grado.

**LIC. BERNARDO MARIANO MATAMOROS OLVERA,**  
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO  
EN INGENIERIA ADMINISTRATIVA  
No. de Control: **M14370012**  
PRESENTE.

Por este medio me permito informar a usted, que por aprobación de la Comisión Revisora asignada para valorar el trabajo, mediante la Opción: **I Tesis de Grado por Proyecto de Investigación**, de la **Maestría en Ingeniería Administrativa**, que presenta con el tema: **"DISEÑO DE UN MODELO DE LOGISTICA INVERSA PARA LA RECOLECCION DE ACEITE USADO DE COCINA (AUC) PARA LA GENERACION DE BIODIESEL"** y conforme a lo establecido en el Procedimiento para la Obtención del Grado de Maestría en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo le emite la:

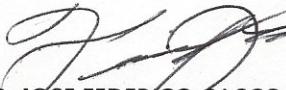
**AUTORIZACION DE IMPRESION**

Debiendo entregar un ejemplar del mismo debidamente encuadernado y seis copias en CD en formato PDF, para presentar su Acto de Recepción Profesional a la brevedad.

Sin otro particular por el momento, le envío un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

*PENSAR PARA SERVIR, SERVIR PARA TRIUNFAR*

  
**DR. JOSÉ FEDERICO CASCO VASQUEZ**  
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E INVESTIGACION.



Secretaría de Educación Pública  
Instituto Tecnológico de Apizaco  
División de Estudios de Posgrado  
e Investigación

JFCV/JLCG\*mebr

Consecutivo.



Apizaco, Tlax., 03 de Agosto de 2016

ASUNTO: Aprobación del trabajo de Tesis de Maestría.

DR. JOSE FEDERICO CASCO VASQUEZ  
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E INVESTIGACION,  
P R E S E N T E.

Por este medio se le informa a usted, que los integrantes de la **Comisión Revisora** para el trabajo de tesis de maestría que presenta el **LIC. BERNARDO MARIANO MATAMOROS OLVERA**, con número de control **M14370012** candidato al grado de **Maestro en Ingeniería Administrativa** y egresado del **Instituto Tecnológico de Apizaco**, cuyo tema es: **"DISEÑO DE UN MODELO DE LOGISTICA INVERSA PARA LA RECOLECCION DE ACEITE USADO DE COCINA (AUC) PARA LA GENERACION DE BIODIESEL"**, fue:

**A P R O B A D O**

Lo anterior, al valorar el trabajo profesional presentado por el candidato y constatar que las observaciones que con anterioridad se le marcaron así como correcciones sugeridas para su mejora ya han sido realizadas.

Por lo que se avala se continúe con los trámites pertinentes para su titulación.

Sin otro particular por el momento, le envié un cordial saludo.

LA COMISION REVISORA

  
DR. MIGUEL ANGEL RODRIGUEZ LOZADA

  
M.A. MA. ELIZABETH MONTIEL HUERTA

  
DR. JORGE LUIS CASTAÑEDA GUTIERREZ

  
DRA. ALEJANDRA TORRES LOPEZ

C. p.- Interesado

## Agradecimientos

Esta investigación no hubiera sido posible, en primer lugar, sin el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que impulsa el desarrollo de tecnología en México con el objetivo de hacer de nuestro país la nación que todos deseamos.

En segundo lugar, quiero agradecer al Dr. Miguel, la Mtra. Liz, el Dr. Jorge y la Dra. Alejandra, quienes creyeron en mí y me acompañaron en este tramo de la vida, gracias por su guía, observaciones y consejos.

También quiero agradecer a mi familia, a mis padres y hermanas, que me brindan su apoyo y amor incondicional y me motivan cada día a ser mejor persona, hijo, hermano, ciudadano. Gracias por compartir sus risas conmigo.

Finalmente, agradezco a mis compañeros y nuevos amigos, en especial a mis amigas Ale y Tania, por compartir sus conocimientos y experiencias que ampliaron mi visión del mundo, que nuestros caminos se crucen muchas veces más en esta aventura llamada vida.

# Índice

Capítulo 1: Elementos protocolarios	
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Planteamiento del problema	4
1.3.1 Justificación	4
1.3.2 Hipótesis	4
1.3.3 Objetivos de investigación	5
1.3.3.1 Objetivo general	5
1.3.3.2 Objetivos específicos	5
1.3.4 Alcances y limitaciones	5
Capítulo 2: Marco teórico	
2.1 Estado del arte	7
2.1.1 Impacto ambiental	7
2.1.2 Logística inversa	8
2.1.3 Producción de biodiesel a partir de AUC	9
2.2 Elementos teóricos	11
2.2.1 Biocombustibles	11
2.2.2 Biodiesel	13
2.2.3 Aceite Usado de Cocina (AUC)	14
2.2.4 Análisis de ciclo de vida	15
2.2.5 Logística inversa	17
2.2.6 Problemas de rutas	20
2.2.7 Proceso de análisis jerárquico (AHP)	22
2.2.8 Programación Lineal	22
2.2.9 Diagrama SIPOC	23
2.2.10 Producción de biodiesel	23
2.3 Marco contextual	26
Capítulo 3: Metodología	
3.1 Tipo de investigación	30
3.2 Metodología	30
3.2.1 Identificación de variables	30
3.2.2 Determinación de la población	31
3.2.3 Determinación de la muestra	33
3.2.4 Diseño del instrumento de medición	34
3.2.5 Aplicación de prueba piloto	36
3.2.6 Aplicación del instrumento de medición al total de la muestra	36
3.2.7 Procesamiento de la información obtenida	37
Capítulo 4: Resultados y discusión	
4.1 Diseño del modelo de logística inversa	43
4.1.1 Determinación del tipo de recolección del AUC	43

4.1.2	Diseño de rutas de recolección del AUC	46
4.1.3	Definición del proceso de transformación	54
4.1.4	Propuesta de modelo de logística inversa	56
4.2	Modelo de logística inversa	58
4.2.1	Descripción del modelo	59
4.2.2	Resultados esperados	62
Capítulo 5: Conclusiones		
5.1	Recomendaciones	65
5.2	Trabajos futuros	65
Fuentes de Información		66
Anexos		
Anexo A: Instrumento de medición		69
Anexo B: Estimación de costos de implementación		70

## Índice de tablas

Tabla 2.1 Clasificación de los orígenes del biocombustible	12
Tabla 2.2 Rendimiento de plantas oleaginosas	13
Tabla 2.3 Características de logística y logística inversa	17
Tabla 2.4 Fines de la logística inversa	18
Tabla 2.5 Métodos para resolver problemas de rutas	20
Tabla 2.6 Escala verbal-numérica del análisis jerárquico	22
Tabla 2.7 Producción de biodiesel de países europeos	27
Tabla 3.1 Comparativa de municipios con mayor cantidad de unidades económicas en el Estado de Tlaxcala	32
Tabla 3.2 Tamaño de la muestra	34
Tabla 4.1 Comparación de métodos de recolección	44
Tabla 4.2 Tiempos de incubación y crecimiento de la mosca	45
Tabla 4.3 Cantidad de AUC generado semanalmente por localidad	46
Tabla 4.4 Días y horarios de recolección por ciudad	46

## Índice de gráficas y diagramas

Gráfica 3.1 Cantidad total utilizada de litros de aceite de cocina semanalmente por ciudad	37
Gráfica 3.2 Cantidad promedio de litros de aceite de cocina utilizados semanalmente por tamaño de establecimiento	38
Gráfica 3.3 Cantidad total de litros de AUC desechados semanalmente por ciudad	38
Gráfica 3.4 Cantidad promedio de litros de AUC desechados semanalmente por tamaño de establecimiento	39
Gráfica 3.5 Método de desecho utilizado por ciudad	39
Gráfica 3.6 Método de desecho utilizado por tamaño de establecimiento	40
Gráfica 3.7 Establecimientos que conocen las trampas de grasa	40
Gráfica 3.8 Establecimientos que utilizan las trampas de grasa	41
Gráfica 3.9 Establecimientos que conocen los efectos causados por el desecho del AUC	41
Gráfica 3.10 Establecimientos dispuestos a participar en un programa de recolección de AUC	42
Gráfica 3.11 Método de recolección preferida por los establecimientos dispuestos a participar en un programa de recolección de AUC	42
Diagrama 2.1 Fases del análisis de ciclo de vida	15
Diagrama 2.2 Posibles cadenas de suministro en un proceso de Logística Inversa	21
Diagrama 2.3 Proceso de transformación del Biodiesel	25
Diagrama 3.1 Metodología de la Investigación	31
Diagrama 4.1 Proceso de transformación del biodiesel mediante SIPOC	55
Diagrama 4.2 Propuesta de modelo de logística inversa	57
Diagrama 4.3 Modelo de logística inversa para la recolección del AUC y generación de biocombustibles	60

## Índice de imágenes

Imagen 4.1 Ubicación de establecimientos en Apizaco	47
Imagen 4.2 Ubicación de establecimientos en Chiautempan	47
Imagen 4.3 Ubicación de establecimientos en Tlaxcala	48
Imagen 4.4 Ruta de recolección en Apizaco (Manual)	49
Imagen 4.5 Ruta de recolección en Chiautempan (Manual)	50
Imagen 4.6 Ruta de recolección en Tlaxcala (Manual)	50
Imagen 4.7 Ruta de recolección en Apizaco (Software)	51
Imagen 4.8 Ruta de recolección en Chiautempan (Software)	51
Imagen 4.9 Ruta de recolección en Tlaxcala (Software)	52
Imagen 4.10 Programación lineal para determinar la ubicación del centro de acopio del AUC	53
Imagen 4.11 Resultados de Lingo para determinar la ubicación del centro de acopio del AUC	54



## Capítulo 1: Elementos protocolarios

### 1.1 Introducción

El Aceite Usado de Cocina (AUC) ha sido utilizado como materia prima para la producción de biodiesel en los últimos años, popularizando éste alrededor del mundo gracias a que es considerado como una alternativa a los combustibles fósiles, por lo que diversos gobiernos que promueven su uso mediante incentivos en materia de impuestos y apoyos a la iniciativa privada, con el fin de reducir la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Sin embargo, a pesar de este panorama, esta industria no ha podido despuntar en México debido a falta de iniciativas de producción y a situaciones culturales, sin embargo es de vital importancia pues el petróleo, en el cual se basa gran parte de la economía del país, es un recurso natural no renovable.

Debido a esto, la presente investigación realiza un análisis de la industria del biodiesel en México y el mundo, mostrando comparativas sobre la producción y el consumo de éste, donde se puede observar que algunos países de Europa llevan la delantera al resto del mundo en materia de bioenergéticos, destacando la importancia de más generadoras de biocombustibles en nuestro país para lograr el crecimiento del sector y que se vuelva más competitivo internacionalmente.

Una vez que se conoce el panorama tanto internacional como nacional de la industria, es fundamental destacar los impactos ambientales del mal tratamiento del Aceite Usado de Cocina (AUC), que es la principal materia prima para la producción de biocombustibles y que, dependiendo la cantidad, puede recorrer dos caminos principales, el primero siendo tirado al desagüe, provoca problemas en tuberías y termina contaminando ríos y mares; y el segundo al ser desechado junto con los otros residuos de cocina, llegando finalmente al relleno sanitario.

Finalmente se presenta el desarrollo de un modelo logístico inverso, que permitirá la recolección del AUC desde los diversos puntos donde se genera su desecho, hasta la

generadora de biocombustibles. De igual forma se da a conocer una proyección en términos cuantitativos de los impactos de esta investigación.

## **1.2 Antecedentes**

De acuerdo con una publicación de la empresa Renewable Energy Group Inc., los biocombustibles se pueden generar a partir de diversas materias primas, como aceite de algas, sebo de carne de res, aceite de coco, aceite de café, aceite de maíz, aceite de pescado, aceite de jatrofa, aceite de jojoba, aceite de mostaza, aceite de soya, aceite de girasol y aceite comestible usado, entre otros. Cada uno de estos materiales tiene características diferentes que determinan la calidad de la producción de biocombustibles, algunas de ellas son la humedad, la cantidad de ácidos grasos libres, viscosidad, capacidad de saponificación y la presencia de Sulfuro, Fósforo, Calcio y Magnesio (Sanford, 2009).

De la misma forma, en 1983 se elaboró el primer artículo científico que reportaba éxito en las pruebas de motor con metil, etil y butilesteres producidos a partir de aceite reciclado, y desde entonces, la producción de biocombustibles como el biodiesel ha sido una alternativa viable en diversos países, gracias a que son renovables, no tóxicos, biodegradables y a que liberan 60% menos dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera (Buczek, 2014). Además, al recuperar el Aceite Usado de Cocina (AUC) antes de ser desechado, se evita que cause daños en tuberías, contamine el agua y suelo, y propicie enfermedades en seres humanos y animales (Alcaldía de Bogotá, 2012).

Con este propósito, la producción de biodiesel a partir de Aceite Usado de Cocina (AUC) comienza con la recolección de esta materia prima. En esta primera etapa se identifican dos estilos principales, el primero se denomina TPT, en donde una empresa se dedica a la recolección del AUC y lo lleva a la productora de biodiesel; y el segundo es conocido como BET, en donde la misma productora realiza la recolección. Cada uno de estos modelos tiene ventajas y desventajas, y la implementación exitosa de cada uno varía según las condiciones de cada país, por ejemplo, en Japón y Estados Unidos el modelo TPT es más adecuado debido a diversos subsidios y regulaciones en los restaurantes, mientras que en China el modelo BET es más utilizado (Zhang, 2014).

En otras palabras, ambos presentan un enfoque de logística inversa que, Genchev (2009) de la Universidad de Oklahoma describe como una serie de pasos que se deben realizar al encontrarse dentro de un proceso de logística inversa que incluyen el inicio del retorno, determinar el routeo, recepción de retornos y medición del desempeño de los materiales recibidos. Además, el investigador Somuyiwa (2014) de la Universidad de Ladoke Akintola en Nigeria menciona que la logística inversa requiere el proceso de planeación implementación y control, efectivo y eficiente, del flujo de materiales desde su destino final hasta el punto de origen de los mismos, debido a factores como defectos, errores en las órdenes y la minimización de las consecuencias que tienen para el medio ambiente. Sin embargo, el principal reto de estos modelos es presentado por Genchev, quien menciona que para lograr tener éxito en un modelo de logística inversa, es fundamental relacionar a los clientes en él, implementar reglas claras y explícitas para los procesos y asignar responsabilidades para las diversas actividades del proceso.

De este modo, una vez que se ha recolectado el aceite usado comestible, se debe decidir el proceso químico a seguir. Existen cuatro métodos principales para la obtención de biodiesel y son *el uso directo y mezcla, microemulsiones, pirólisis y transesterificación* (Ma, 1999). Éste último es el más utilizado y además genera glicerol como subproducto, que es posible recuperar mediante un proceso químico que lo separe del biodiesel (Chhetri, 2008). Consiste en lograr una reacción química entre el aceite o la grasa, un alcohol monohídrico y un catalizador, sin embargo se ve afectado por factores como el tipo de alcohol, el tipo y la cantidad del catalizador, el tiempo de reacción y la temperatura (Meher, 2004). Una variante de este proceso es la *transesterificación enzimática* que usa una enzima pancreática llamada lipasa, que facilita la recolección del glicerol que resulta como subproducto de la producción de biodiesel y al mismo tiempo simplifica la purificación de los metilestéres grasos. A pesar de estos beneficios, esta variación representa costos más elevados y por lo tanto, una limitante para la comercialización del biodiesel producido (Fukuda, 2001).

### **1.3 Planteamiento del problema**

En México existen 575 empresas dedicadas al Manejo de desechos no peligrosos registradas en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), de las cuales, 7 se encuentran en el Estado de Tlaxcala, sin embargo, se centran en materiales como cartón, polietileno, aluminio y esponjas, dejando sin atención al Aceite Usado de Cocina que generan empresas del giro de Preparación de Alimentos y cuyo destino es ser vertido a las tuberías, desechado en el campo, entre otras. (INEGI, 2015).

Por lo tanto, al no haber iniciativas para recuperar el AUC antes de que sea desechado incorrectamente se genera una problemática que representa un área de oportunidad para la generación de biocombustibles en el Estado que no sólo tenga un impacto positivo en la política ambiental sino en la generación de empleos y el desarrollo económico de la región, por lo que se pretende generar estrategias para gestionar este residuo y que culminen con la producción de biodiesel a partir de esta materia prima.

#### *1.3.1 Justificación*

El desecho indiscriminado del AUC en las diferentes comunidades del Estado ha contribuido a generar problemas de salud social y ambientales como la contaminación de ríos, erosión de los suelos y lixiviados en los rellenos sanitarios, entre otros. Por lo tanto, es necesario tomar acciones que mitiguen los daños a los recursos naturales con que se cuenta, con el propósito de preservarlos para beneficios de futuras generaciones.

Sin embargo, actualmente no existe un programa o campaña de recolección de AUC en el Estado de Tlaxcala que ayude a reducir el impacto negativo de este desecho, por lo que se considera un área de oportunidad el desarrollo de un sistema que recupere este residuo y que, además de aportar beneficios ambientales, permita la generación de biocombustibles a partir de este subproducto.

#### *1.3.2 Hipótesis*

Mediante la generación de un modelo con enfoque de Logística Inversa es posible gestionar el Aceite Usado de Cocina generado en establecimientos dedicados a la preparación de

alimentos en los municipios de Tlaxcala, Apizaco y Chiautempan para lograr su transformación en biodiesel.

### *1.3.3 Objetivos de investigación*

#### *1.3.3.1 Objetivo general*

Diseñar un modelo de recolección de Aceite Usado de Cocina para generar biocombustibles, a través de un enfoque de Logística Inversa que logre la reducción del impacto negativo del AUC en el ambiente y la salud.

#### *1.3.3.2 Objetivos específicos*

- Efectuar un diagnóstico actual del desecho de AUC en las localidades a estudiar, mediante la aplicación de un instrumento de medición con el propósito de contar con información actual de este fenómeno.
- Identificar el destino final que tiene el AUC una vez que es desechado, a través del instrumento de medición, con el fin de señalar los posibles efectos ambientales que causa.
- Determinar la cantidad de AUC potencial para ser recolectado en las localidades elegidas, mediante el instrumento de medición, que sirva de base para precisar el proceso de transformación.
- Diseñar el sistema de recolección de la materia prima mediante el enfoque de Logística Inversa, para dar un buen manejo a este residuo.
- Proponer el proceso y la maquinaria adecuados para la transformación del AUC en biodiesel, en base a la cantidad potencial de AUC a recolectar, a través de investigar los diversos procedimientos, maquinaria e insumos

### *1.3.4 Alcances y limitaciones*

#### Alcances:

La presente investigación definirá un modelo de logística inversa para la recolección del AUC, materia prima requerida para la generación de biodiesel; que tome en cuenta a los restaurantes ubicados en las ciudades de Apizaco, Tlaxcala, Santa Ana y Huamantla.

### Limitaciones:

La principal limitación en esta investigación es que no exista la cantidad suficiente de información sobre el uso de biocombustibles en México, por lo que se tendría que generar esa información a partir de estudios de mercado y revisar las investigaciones similares en el extranjero para adaptarlos a la situación del país.

La siguiente limitación es el tiempo, que exige una excelente organización y apego al diagrama de Gantt para obtener los resultados deseados. La tercera limitación es el recurso económico, ya que existen costos durante la investigación, como el costo artículos de investigación en diferentes bases de datos o el uso de libros especializados.

Finalmente, la falta de conocimiento técnico por parte del investigador en el tema de biocombustibles representa una limitante, que puede ser superada con la guía e información necesaria para ello.



## Capítulo 2: Marco teórico

### **2.1. Estado del arte**

En este apartado se mencionan investigaciones relacionadas con el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), la Logística Inversa y la producción de biodiesel en el mundo, con el propósito de tener un marco referencial de los trabajos realizados en otros países.

#### *2.1.1 Impacto ambiental*

En los Países Bajos, el investigador Blankendaal (2014), realizó una serie de mediciones de diferentes compuestos de concreto para determinar su desempeño utilizando como herramienta el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que consiste en medir la cantidad de CO<sub>2</sub> liberado así como la energía utilizada y comparar diferentes escenarios. Descubrió que el cemento es el compuesto crítico que afecta el impacto ambiental, logrando reducciones de hasta un 39% dependiendo de la temperatura a la que se mezcle este elemento.

Bhatia (2008), miembro del Departamento de Salud Pública de San Francisco, hizo hincapié en la relación que tiene el impacto ambiental con la salud humana, proponiendo una nueva evaluación integral, que incluya la valoración de los efectos que tienen los cambios en el medio ambiente sobre la salud de las personas. Dicha propuesta la realizó tras investigar las regulaciones sanitarias y ambientales de Estados Unidos, así como al documentar un caso que relaciona ambas variables en Alaska, donde la tribu de los inupiat reportaban afectaciones a su salud debido a problemas de contaminación, nutricionales e incluso patológicos, relacionados con la industria petrolera en la región.

Brito (2009), coordinadora de la Reserva Marina Islas de Palma, realizó una Evaluación de Impacto Ambiental en un área de las Islas Canarias, que presenta un fondo marino con numerosas cuevas, grietas y túneles, y una gran diversidad de flora y fauna, incluyendo varias especies protegidas como algas y la langosta canaria. Dicha investigación fue realizada con el fin de conocer el impacto de los residuos sólidos vertidos en la zona, para lo cual se establecieron diversos puntos de muestreo a lo largo de los 750km de la orilla, donde se recogieron muestras de agua para el análisis en laboratorio. Eventualmente, se desarrolló un

mapa donde se presentaba el tipo de residuos encontrado en cada zona, facilitando así el trabajo de limpieza de las autoridades.

Morais (2010) de la Universidade do Porto en Portugal, utilizó un ACV para comparar 3 métodos para la generación de biodiesel a partir de aceites vegetales de desecho, los cuales fueron: el proceso basado en alkali-catalizadores (AICP), el proceso ácido-catalizador (AcCP) y el proceso usando propano como catalizador (ScMP). Éste último resultó ser la alternativa más favorable ambientalmente hablando en comparación con los otros, mientras que el AcCP reveló generar la mayor cantidad de Impactos Ambientales Potenciales, PEIs por sus siglas en inglés.

Por otra parte, Talens (2010) de la Universidad de Barcelona, realizó un ACV del proceso productivo del biodiesel a partir del AUC, que incluye 4 etapas principales, la recolección de la materia prima, el pre-tratamiento para remover las partículas sólidas y agua para aumentar la calidad, la entrega a las instalaciones de la productora de biodiesel y la transesterificación. En esta investigación, el AUC es considerado un desecho por lo que su generación no requiere materiales ni energía adicionales, el impacto generado por la transportación no es relevante mientras que, las etapas de pre-tratamiento y transesterificación generan más PEIs, siendo la última la que mayor impacto genera.

### *2.1.2. Logística inversa*

El investigador Somuyiwa (2014) de la Universidad de Ladoke en Nigeria, realizó un estudio de los efectos que tiene la aplicación de este enfoque en el desempeño de la industria de alimentos y bebidas en Nigeria, donde reveló que el principal beneficio que obtuvieron a través de la implementación de LI es la mejora en la satisfacción del cliente, así como en el cumplimiento de las regulaciones ambientales; sin embargo, destaca la importancia del compromiso de la administración en este enfoque, pues de lo contrario no se obtendrían resultados positivos.

En este sentido, Genchev (2010) de la Universidad de Oklahoma realizó una investigación en 7 compañías diferentes que le ayudaron a describir una serie de pasos que se deben realizar

al encontrarse dentro de un proceso de logística inversa que incluyen el inicio del retorno, determinar el ruteo, recepción de retornos y medición del desempeño de los materiales recibidos, también menciona que para lograr tener éxito en un modelo de logística inversa, es fundamental relacionar a los clientes en él, implementar reglas claras y explícitas para los procesos y asignar responsabilidades para las diversas actividades del proceso.

En China, Wei (2015) realizó un análisis de los factores de riesgo que existen en la industria petrolera al implementar la LI en sus operaciones, investigando las necesidades de la industria respecto a la implementación de este enfoque y los factores internos y externos que la afectan, descubriendo que el transporte y las afectaciones ambientales son los principales elementos de riesgo que la rodean.

Por otra parte, Silva (2014) propone utilizar la LI para lograr la recolección de medicamentos no utilizados o caducados y mitigar el riesgo que su disposición supone para el medio ambiente en Brasil, a pesar que a la fecha de publicación no existen estudios que determinen los efectos de éstos en el ecosistema; presentando como opción para centros de recolección a las mismas farmacias, ya que existen cerca de 65,000 al cansando una proporción de 3.34 por cada 10,000 habitantes.

En México, Cruz-Rivera (2010) hizo una investigación para generar una propuesta de configuración de redes de recolección de autos al final de su vida útil, teniendo en cuenta variables como la cantidad de autos de desecho en las localidades y la distancia entre ellas, así como costos fijos y de transporte; todo ello utilizando *Sitation* un software especializado que, al procesar esta información, genera escenarios donde se muestra la posible ubicación de los centro de recuperación y el radio que cubre cada uno.

### *2.1.3. Producción de biodiesel a partir de AUC*

El paso siguiente tras el desarrollo del modelo logístico inverso es la transformación de la materia prima. Alemayu Gashaw (2014) de la Universidad Blue Hora en Etiopía, describe que en sus inicios, el biodiesel generó polémica ya que se principal materia prima es el aceite de cocina, por lo que se pensaba que la producción de éste se destinaría a la producción de

biocombustibles y dejaría de lado el fin alimenticio, por ello se desarrolló la producción a partir de Aceite Usado de Cocina. Con este fin, se realiza un proceso químico llamado Transesterificación, que convierte el aceite vegetal en biodiesel con ayuda de un alcohol como catalizador.

Sin embargo, Ali Deba (2014) de la Universidad Tecnológica de Malasia, menciona que existe una variante para la producción de biodiesel y consiste en utilizar un catalizador basado en lipasa. En su estudio, compara algunas características de ambos tipos de producción y concluye que la Transesterificación por lipasa genera 9% menos biodiesel que la transesterificación normal pero elimina la necesidad de purificar los productos finales y requiere temperaturas de 20-60°C mientras que el proceso normal requiere temperaturas de 60-80°C, sin embargo, el biocatalizador es más caro que el catalizador usado en el proceso normal. A pesar de esto, el proceso requiere menor cantidad de energía y procesos posteriores para la purificación del biodiesel, por lo que resulta una alternativa económicamente viable.

Phan (2008) logró transformar AUC recolectado en una ciudad vietnamita en biodiesel útil usando el método normal de producción, es decir, con un alcohol como catalizador. Obtuvo una producción potencial de 88-90% de biodiesel a partir de la materia prima y utilizó una relación metanol/ aceite de 7:1-8:1, con temperaturas de 30-50°C y concluye que, al mezclar biodiesel y diesel se obtienen ciertas propiedades consideradas standard en la norma EN14214 y que indican que pueden ser usados en motores diesel sin realizar modificación alguna, impulsando así su consumo y producción.

Por otra parte, en Malasia, Wong (2014) realizó un estudio comparativo entre el tiempo de la reacción y la temperatura a la que el proceso de transesterificación fue llevado a cabo y descubrió que el mayor rendimiento se obtuvo a los 60 minutos de la reacción química mientras que la temperatura con mayor rendimiento fue de 60°C, sin embargo todas las temperaturas y tiempos de reacción presentaron altos contenidos de glicerol, que requiere un proceso adicional para su separación y, el biodiesel obtenido de cada una fue comparado con el diesel de combustibles fósiles, resultando ser menos eficiente a pesar de las menores cantidades de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Mbohwa (2013) realizó un estudio comparativo del biodiesel producido en Sudáfrica con aquel producido en Europa, Estados Unidos y Brasil, encontrando que Sudáfrica produce 1,000 L al día mientras que Estados Unidos produce 95mil, Brasil 78mil y Alemania 80mil. También descubrió que el rendimiento de la producción en otros países es superior al 96% promedio mientras que en Sudáfrica es del 94% y que tiene características de calidad que merman el biodiesel producido como la cantidad de agua y sedimentos, el glicerol total y la cantidad de Fósforo que se encuentran en el producto final.

Un estudio realizado en Sao Paulo, Brasil, identificó que el 93% de los más de 30mil restaurantes de la ciudad, utilizan más de 120 L de AUC mensualmente, generando un total de alrededor de 550,000 L semanales que no son tratados de manera adecuada y, por lo tanto, generan un área de oportunidad para la producción de biodiesel en esa región del mundo, a pesar de tener un rendimiento de sólo 87%. Éste porcentaje se obtuvo al multiplicar el volumen de biodiesel por la densidad del mismo por la masa molecular del aceite, dividir ello entre el volumen de aceite multiplicado por la densidad del aceite y por la masa molecular de los esterres, todo complicado por 100 (Silva-Filho, 2014).

## **2.2. Elementos teóricos**

Para el desarrollo de esta investigación es necesario establecer conceptos que ayuden a la comprensión del mismo.

### *2.2.1. Biocombustibles*

La situación actual de las reservas de combustibles fósiles no es la óptima, debido al alto consumo que las sociedades de todo el mundo hacen de ellos ya sea para impulsar sus medios de transporte o generar productos a través de diversos derivados como telas, detergentes y plásticos, por lo que se han tenido que buscar alternativas renovables y menos contaminantes a estos insumos, que van desde la captura y almacenamiento de carbón, hasta celdas de hidrógeno (Mousdale, 2008). Como opción al caso de los combustibles, que son líquidos o gases capaces de arder y generar energía (Camps, 2008) para propulsar los medios de transportación, han surgido los biocombustibles, que Camps define como “aquel combustible de origen biológico que no se ha fosilizado”, y que Scragg (2005) especifica que presentan

beneficios como poca producción de dióxido de azufre en la combustión, son de fácil biodegradación y además son renovables. Por otro lado, Tilman (2009) refiere que los biocombustibles son aquellos sustitutos para la energía fósil, pueden basarse en residuos industriales y productos agrícolas, entre otros; y que aportan beneficios a la sociedad y medio ambiente.

Se pueden obtener diferentes tipos de biocombustibles como biodiesel, bio-etanol, bio-hidrógeno, bio-aceite y bio-gas (Li, 2008), que a su vez pueden ser clasificados ya sea por su origen, su aspecto físico, rendimiento, etc. A continuación se presenta la clasificación por origen:

Tabla 2.1. Clasificación de los orígenes del biocombustible

Origen del biocombustible		Especie o procedencia
Cultivos energéticos	Agrícolas	Cardo, sorgo, miscanto, girasol, soja, maíz, trigo, cebada...
	Forestales	Chopos, sauces, eucaliptos, robinias, acacias...
Restos de cultivos agrícolas	Cultivos herbáceos	Paja, restos de cereales y otras herbáceas
	Cultivos leñosos	Olivo, vid, frutales de hueso y de pepita...
Restos de tratamientos selviagrícolas	Podas, claras, clareos, restos de cortas finales	Especies forestales de los montes
Restos de industrias forestales	Industrias de primera transformación de la madera	Especies de madera nacional o importada
	Industrias de segunda transformación de la madera	Especies de madera nacional o importada
Restos de industrias agro-alimentarioas		Especies vegetales usadas en la industria de la alimentación
Restos de explotaciones ganaderas		Animales de granja, domésticos
Restos de actividades humanas		Todo tipo de biomásas sólidas urbanas

Modificada de Camps, *Los biocombustibles* (2008). pp. 48



### 2.2.2. Biodiesel

Dentro de los biocombustibles generados a partir de cultivos energéticos y restos de industrias agro-alimentarias se encuentra el biodiesel, que es un combustible líquido capaz de reemplazar a la gasolina que utilizan los vehículos de motor (Scragg, 2005). Yanqun Li (2008), del departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Ottawa en Canadá, define al biodiesel como el resultado de un proceso de transesterificación por un monoalcohol y que tiene propiedades combustibles similares al diesel. Éste puede generarse a partir de diversas especies oleaginosas, las cuales presentan rendimientos diferentes de acuerdo a la capacidad de extracción de aceite de cada una, combinando éste con un alcohol, como metanol o etanol. Además pueden ser producidos a partir de cultivos especializados para la producción de biocombustibles o bien de residuos de productos generados en base a ellos (Worldwath Institute, 2007).

Tabla 2.2. Rendimiento de plantas oleaginosas

Planta	Rendimiento aproximado (kg/ha/año)
<i>Perennes</i>	
Aceite de palma	3,000 - 5,000
Coco	800
Palma de babassu	1100
Eucalipto microcorys	300
Nuez medicinal	200
<i>Anuales</i>	
Girasol	600-750
Cacahuete	1350-1700
Soja	442
Colza	640-1388
Cuphea	288-720
Salicornia	600

Modificada de Scragg, *Bioteconología medioambiental* (2005). pp. 196

En la Tabla 2.2 se puede observar que el aceite de girasol tiene un rendimiento de 600 a 750 kg por hectárea al año, cuya producción se destina principalmente para aceite comestible y, en algunos casos, para la generación de biodiesel. Sin embargo, el biodiesel no sólo puede generarse a partir de los insumos directos del cultivo, sino que puede hacerse con base en los residuos del Aceite Usado de Cocina (AUC) que se genera a partir de la semilla de esta planta.

### *2.2.3. Aceite Usado de Cocina*

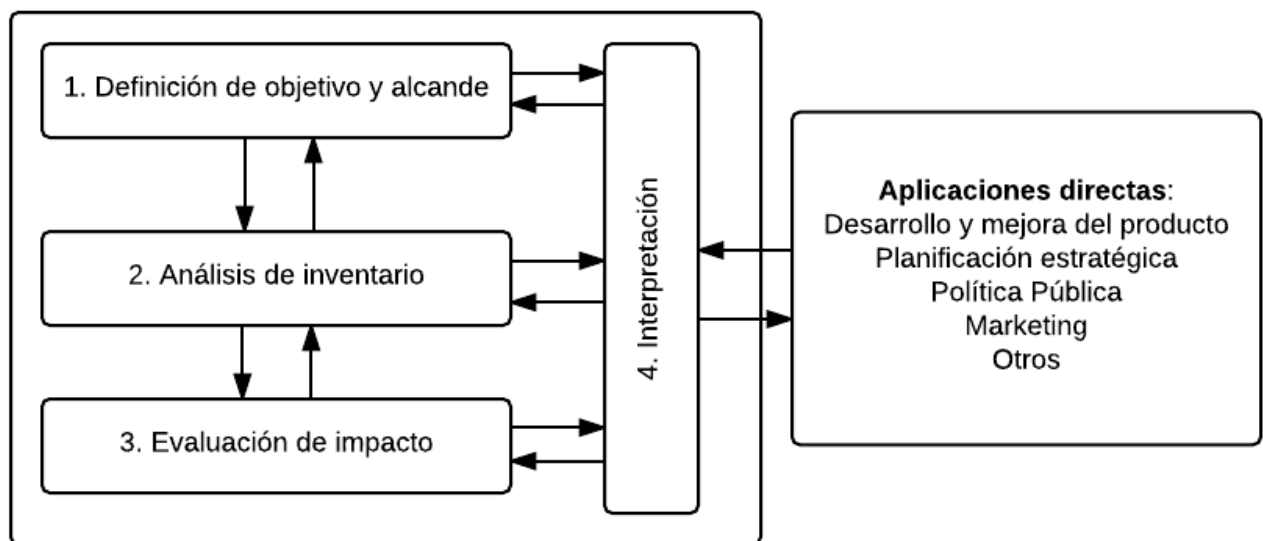
El Aceite Usado de Cocina (AUC) es considerado un desperdicio generado a partir de elevar la temperatura del aceite de cocina con propósitos de preparación de alimentos, cuya generación no es tomada en cuenta en estudios de Análisis de Ciclo de Vida, pues no requiere energía ni material adicional (Peiró, 2010). Sin embargo, presenta diversos efectos en el ambiente, que han sido identificados por la Alcaldía de Bogotá y en donde, desde 2012, fue promulgada una norma para mitigarlos. Éstos se pueden dividir en dos categorías, efectos en la salud de los humanos, en la de los animales y en el medio ambiente. Una vez que el aceite ha sido sometido a altas temperaturas genera dioxinas, un agente cancerígeno, además de que este residuo es considerado un alto contaminante orgánico. Por otra parte, en algunos países el AUC es usado para preparar alimentos de animales, llevando los mismos riesgos a éstos y, consecuentemente a los humanos, si tienen este fin. Finalmente, es sabido que un litro de AUC contamina hasta 1,000 L de agua, además de tapar los drenajes y aumentar el costo de las plantas de tratamiento; si es tirado directamente en los rellenos sanitarios, genera lixiviados que pueden afectar los suelos y aguas subterráneas (Alcaldía de Bogotá, 2012).

Al ser usado como insumo para la producción de biodiesel, no sólo se mitiga el impacto de estos efectos, sino que se generan otros beneficios, ya que cuando es recuperado y no vertido en el desagüe disminuye el costo del proceso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, que reducen el contenido orgánico tanto como sea posible para poder devolver el agua a los ríos; además reduce el riesgo de contenido patógeno que se encuentra en el agua (Scragg, 2005). Este proceso resulta en no sólo menores enfermedades y agua limpia más barata, sino en lograr la extensión de este recurso natural para las generaciones futuras, anticipándose así a crisis alimenticias y escasez de diversos bienes (Manahan, 1999).

#### 2.2.4. Análisis de ciclo de vida

Con el fin de medir el impacto ambiental de un producto, se lleva a cabo un estudio llamado Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que es utilizado por diferentes empresas, organizaciones no gubernamentales y grupos políticos con el propósito de identificar puntos débiles en diseño, establecer estándares de producto, desarrollar legislaciones, reducir la contaminación y, en general, apoyar la toma de decisiones. Este análisis tiene la siguiente metodología, basada en la Norma ISO 14040:

Diagrama 2.1. Fases del Análisis de ciclo de vida



Fuente: *ISO 14040: Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and framework*

1. Definición de objetivos y alcances: Determinar por qué y para qué hacer el estudio, así como la profundidad que se pretenda alcanzar. El objetivo debe reflejar quién es el destinatario del estudio y el uso que se hará de los resultados, por ejemplo, para realizar mejoras internas, como ventaja competitiva, para reforzar la imagen y compromiso medioambiental, entre otros. El alcance incorpora aspectos que limitan el objeto a estudiar, y debe contener por lo menos:
  - Funciones del objeto estudiado: identificar claramente cuáles van a considerarse ya que de éstas depende el impacto que generen, como el ruido o el consumo energético.

- Unidad funcional: Definir y cuantificar claramente la unidad de referencia. En un proceso productivo puede ser un lote o una unidad; en un proceso de servicios puede ser un servicio realizado, es decir, una actividad concreta que presenta todo un flujo de entradas y salidas de energía y materiales.
  - Sistema: Es el conjunto de procesos unitarios o subsistemas que permiten la llegada del producto o servicio al mercado. Generalmente se representa mediante un diagrama de procesos que incluye fabricación, transporte de materias primas y actividades de distribución.
  - Límites del sistema a estudiar: Dependiendo de la aplicación del ACV, el sistema se puede reducir a sólo ciertas etapas, para comparar entre dos tecnologías, por ejemplo.
  - Tipos de impacto analizados y metodología de evaluación: Describir los impactos ambientales y cómo se van a medir.
  - Necesidad de datos y calidad de los mismos: Se debe indicar la cobertura temporal, geográfica y tecnológica concerniente a la recolección de datos, así como su nivel de precisión y representatividad.
  - Tipo de revisión crítica: Asegurar que toda la metodología está dentro de la norma, que los métodos son científica y técnicamente válidos y que los datos usados son apropiados.
  - Limitaciones e hipótesis: Planteadas a lo largo del ACV.
2. Análisis de inventario: Consiste en identificar cualitativa y cuantitativamente todos y cada uno de los flujos de materia y energía involucrados en el ciclo de vida del producto. Sin embargo, La norma ISO 14040 menciona que un alto nivel de detalle resulta poco viable por lo que se excluyen del estudio aquellos poco representativos, estableciendo previamente los criterios que se adoptan para la exclusión o inclusión de entradas y salidas.
  3. Evaluación de impacto: Traducir los datos recogidos en niveles de impacto ambiental. Primero se eligen las categorías de impacto que se pretenden estudiar y los indicadores de referencias de los daños medioambientales. Después se realiza la asignación efectiva de las cargas del inventario a las categorías de impacto, según el método seleccionado y,

finalmente, se lleva a cabo la caracterización de las categorías de impacto y se ordenan de acuerdo al grado de importancia de los impactos observados.

4. Interpretación: Exponer una serie de conclusiones, explicando las limitaciones del estudio y ofreciendo recomendaciones de actuación para la reducción del impacto ambiental del producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida (Scragg, 2005).

#### 2.2.5. Logística inversa

Con el propósito de reducir el impacto ambiental del AUC, se considera necesario recolectarlo antes de que llegue a las tuberías, es decir, en los hogares, empresas y negocios que lo utilizan de manera cotidiana. Para ello es necesario implementar un programa de Logística Inversa, que Soto Zuluaga (2005) define como el proceso de planear, implementar y controlar el movimiento efectivo de materiales, productos en proceso, artículos terminados e información relacionada desde el punto de consumo al punto de origen con el propósito de obtener un valor económico o realizar el desecho pertinente. En la tabla 2.3 se presentan algunas características que diferencian a la logística y logística inversa:

Tabla 2.3 Características de logística y logística inversa

Logística	Logística inversa
Generalmente utiliza sistemas Pull	Combinación de sistemas Pull y Push, debido a que tiene clientes en ambos lados de la cadena, quien desecha y quien reutiliza
Sólo sirve para abastecer al mercado y todas la cadena de abastecimiento se debe ajustar a ello	La cantidad de desperdicio que viaja en la logística inversa no puede ser influenciada
Los productos son transformados en una unidad de producción	Los productos desechados son transformados en productos secundarios, componentes y materiales a lo largo de la red de distribución
Volúmenes y calidad conocidas para la entrega del producto al mercado	Alto grado de variabilidad en cantidad y calidad de los materiales retornados

Fuente: basado en información de Soto Zualaga, *Reverse Logistics: Models and Applications* (2005)

Por otro lado, Dowlatshahi la define como “una cadena de suministro que es rediseñada para gestionar eficientemente el flujo de productos destinados al reprocesamiento, la reutilización, el reciclaje o la destrucción, usando correctamente todos sus recursos” (Díaz, 2004) la cual puede surgir por tres iniciativas:

- Iniciativa del consumidor (artículos retornados voluntariamente)
- Iniciativa industrial (reciclaje)
- Iniciativa del gobierno (recogida de productos)

Cada una de estas iniciativas tiene propósitos distintos, como se puede ver en la Tabla 2.4. En el caso del AUC, está clasificado como reciclaje ya que, una vez recolectado, sufre una transformación química y se convierte en un biocombustible renovable y biodegradable.

Tabla 2.4. Fines de la logística inversa

Práctica	Características fundamentales
Reparación	Dar a los productos usados una calidad específica. Desensamblado + reemplazo por nueva tecnología + ensamblado
Renovación	Devolver al cliente productos fuera de funcionamiento. Desensamblado + ensamblado
Reciclaje	Recuperación de materiales contenidos en los productos retornados. Desensamblado + clasificación + transformación de materias primas
Reprocesamiento	desensamblado + clasificación + restauración + reensamblado
Canibalización	Una pequeña porción del producto retornado puede ser aprovechada.
Reutilización	El producto puede volver a ser usado una vez limpio o tras una reparación menor.
Vertedero	Depósito del material.

Modificado de Díaz, *Logística inversa y Medio Ambiente* (2004). pp. 57

Soto Zualaga (2005) identifica 4 modelos de producción con re-manufactura que son *Modelo de Planeación de Producción Colaborativa*, CPPR por sus siglas en inglés, en donde se tiene como supuestos que existen varios productos y componentes a lo largo de varios periodos de tiempo. Además toma en cuenta que los ciclos de vida de los productos se han reducido, las



condiciones de negocios cambian constantemente y que la competencia se fortalece cada día. También establece que existen 3 niveles diferentes de planeación y son el nivel estratégico (planeación a largo plazo), el nivel táctico (mediano plazo) y el operativo (corto plazo). El segundo es el *Modelo Colaborativo Multi-periodo sin retornos* (CPP), donde los retornos de producto no existen pues no hay opciones de re-manufactura. El tercero es el *Modelo de Planeación de la Producción Colaborativa con Retornos para una Fábrica* (CPPR1F), el cual es más sencillo que el CPPR pues se limita a una sola fábrica en vez de varias como el modelo anterior, sin embargo permite la utilización de outsourcing para la realización de diversas tareas. Y, finalmente, el *Modelo Colaborativo de un Período con Retornos* (CPPR1P) donde considera la planeación de producción para un sólo periodo, que puede ser 6 meses o 1 año, facilitando el modelo cuando no es necesaria una planeación detallada, por lo que es utilizado para la toma de decisiones de inversión y la realización de pronósticos.

Por otra parte, se han detectado 4 tipos principales de cadenas de abastecimiento posibles en un proceso de logística inversa, que son ilustradas en el diagrama 2.2. y se clasifican de acuerdo a la entidad que realiza la recuperación (la empresa origen o externa), el tipo de material (propio y/o ajeno) y el propósito con el que lo realiza. El primer tipo tiene como característica principal que solamente recupera productos de su propia fabricación, mientras que el segundo recupera tanto productos propios como de la competencia y el tercero es una empresa ajena la que realiza la recuperación, estos 3 primeros tipos recuperan el material con el propósito de devolverlo al mismo mercado del que fueron obtenidos, tras realizarle reparaciones y otros cambios, mientras que el cuarto tipo es una empresa externa que recupera los productos para transformarlos en otros y con ello cubrir un mercado diferente (Monroy, 2006).

Para lograr la recuperación del AUC se tiene la opción de plantear un Sistema con Retorno de Contenedores, que se basa en el hecho de que éstos tienen que ser transportados en un sentido inverso al habitual, donde transportan productos intermedios o finales hacia los clientes, hasta llegar a un punto de concentración, que puede ser la misma empresa de origen o no (Díaz, 2004). En este sentido, existen tres tipos de sistemas:

- *Switch pool system*: Cada participante tiene un número de contenedores y es responsable de su limpieza, control, mantenimiento y almacenamiento. El transportista sólo lleva los contenedores.
- *Sistemas con logística de retorno*: Los contenedores son propiedad de una compañía externa, que es responsable de su retorno una vez que son vaciados por el receptor, quien los almacena hasta tener una cantidad suficiente que amerita una recogida eficiente en costos
- *Sistema sin logística de retorno*: los contenedores son de una empresa externa a quien son alquilados por quien los necesita para enviar el material y una vez desocupados se regresan a la empresa externa, reduciendo los costos fijos.

### 2.2.6 Problemas de rutas

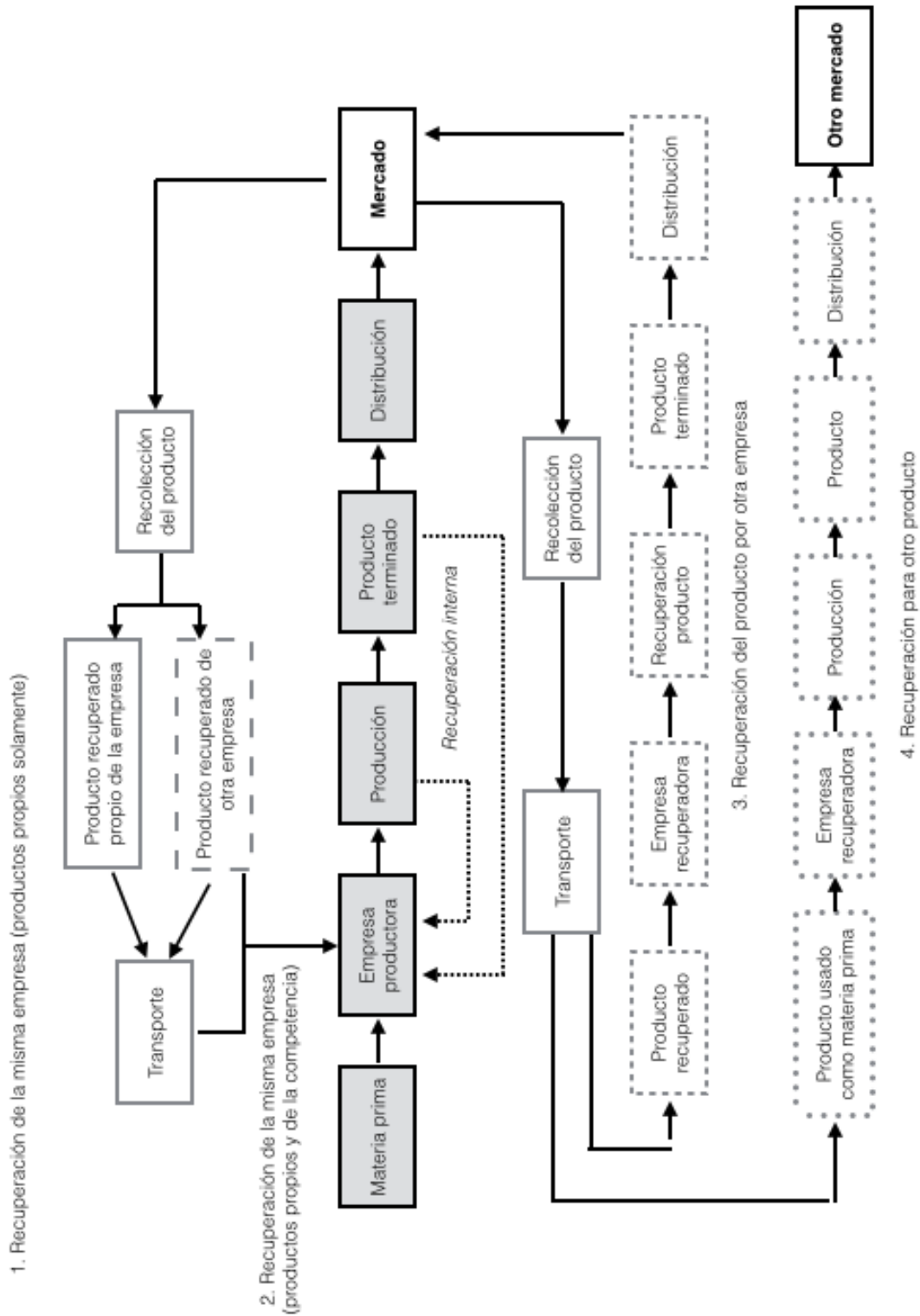
Pérez (2015) menciona que los problemas de rutas son Problemas de Optimización, que buscan encontrar la ruta óptima, atravesando los puntos designados y se suelen plantear como una serie de clientes que demandan cierto servicio y, por lo tanto, se debe satisfacer dicha demanda. Estos problemas se pueden aplicar a situaciones de transporte público, recolección de basura, etc. En este sentido, existen diversos métodos para su resolución, de acuerdo al tipo de problema presentado, como se observa en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Métodos para resolver problemas de rutas

Demanda	Restricciones de capacidad	Nombre del problema
Arcos	No	Problema del Cartero Chino (CPP)
		Problema del Cartero Rural (RPP)
	Si	Problema de los m-carteros (m-CPP)
Nodos	No	Viajante de comercio (TSP)
	Si	Problemas de Rutas de Vehículos (VRP)

*Fuente: Modificado de Pérez (2015)*

Diagrama 2.2 Posibles cadenas de suministro en un proceso de logística inversa



Fuente: Monroy, *Logística Reversa: "Retos para la Ingeniería Industrial"* (2006)

### 2.2.7 Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

Esta herramienta para la toma de decisiones parte de las asignaciones de prioridades que un individuo le da a un conjunto de elementos, buscando siempre la objetividad mediante escalas de razón; a pesar de que los juicios pueden variar de persona a persona ha adquirido gran popularidad debido a la flexibilidad que brinda, la posibilidad de adaptarse a diversas situaciones y la facilidad de utilización. Es, por otro lado, considerada una técnica que busca resolver problemas multicriterio, multientorno y multiactores incorporando aspectos tangibles e intangibles (Jiménez, 2015).

Para ello se utiliza la siguiente escala:

Tabla 2.6 Escala verbal-numérica del análisis jerárquico

Escala	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Ambos elementos contribuyen igualmente al criterio
3	Moderadamente más importante	Un elemento es ligeramente más favorecido que el otro
5	Fuertemente más importante	Un elemento se encuentra mayormente favorecido frente al otro
7	Mucho más fuerte la importancia	Un elemento domina fuertemente frente al otro
9	Importancia extrema	Un elemento domina al otro con el mayor grado de magnitud posible

*Fuente: Modificado de Jiménez (2015)*

### 2.2.8 Programación lineal

Esta técnica es utilizada en el proceso de toma de decisiones, pues ayuda identificar las variables que interfieren en el problema y optimizar el objetivo, teniendo en cuenta ciertas restricciones que existen debido a la naturaleza del problema, para finalmente calcular el costo-beneficio asociado con cada opción posible. Esto se logra a través de una función objetivo que en conjunto con los elementos anteriores define el problema de optimización (Castillo, 2002).

Por lo tanto, Castillo (2002) menciona que cualquier problema de Programación Lineal requiere identificar 4 componentes básicos:

- A. El conjunto de datos
- B. Las variables involucradas en el problema
- C. El conjunto de restricciones lineales
- D. La función lineal a optimizar, maximizada o minimizada

#### *2.2.9 Diagrama SIPOC*

Sus siglas quieren decir Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Costumers (Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas, Clientes) y se trata de una herramienta que ayuda a describir los actores y actividades presentes en un proceso de forma clara y concisa. Esta información permite tener una visión general de la Cadena de Valor de un producto ya que los elementos se encuentran bien identificados (Alonso, 2014).

Su utilización va desde complejos procesos productivos hasta el proceso de atención en restaurantes pues permite conocer el proceso en general, para después ser analizado en detalle mediante otras herramientas (Iglesias, 2012).

#### *2.2.10 Producción de biodiesel*

Una vez que el AUC es recolectado, procede a ser tratado químicamente para ser transformado en biodiesel, y para ello es necesario que atraviere un proceso químico. Anteriormente los aceites vegetales poco refinados podían mezclarse con Diesel convencional con el único inconveniente de generar 10% menos energía pero sin modificar los sistemas de inyección. Sin embargo, actualmente el biodiesel es generado a través de un proceso conocido como Transesterificación, en el cual, el aceite es adicionado con un alcohol, lo que altera su composición, pasando de ser triglicéridos a ácidos grasos de metil estéres, lo que producen una mezcla con mayor volatilidad y con propiedades fisicoquímicas mucho más similares al diesel convencional por lo que está adquiriendo gran interés A nivel mundial, en 2005 se estimó una producción de casi 3 millones de toneladas, de las cuales, el

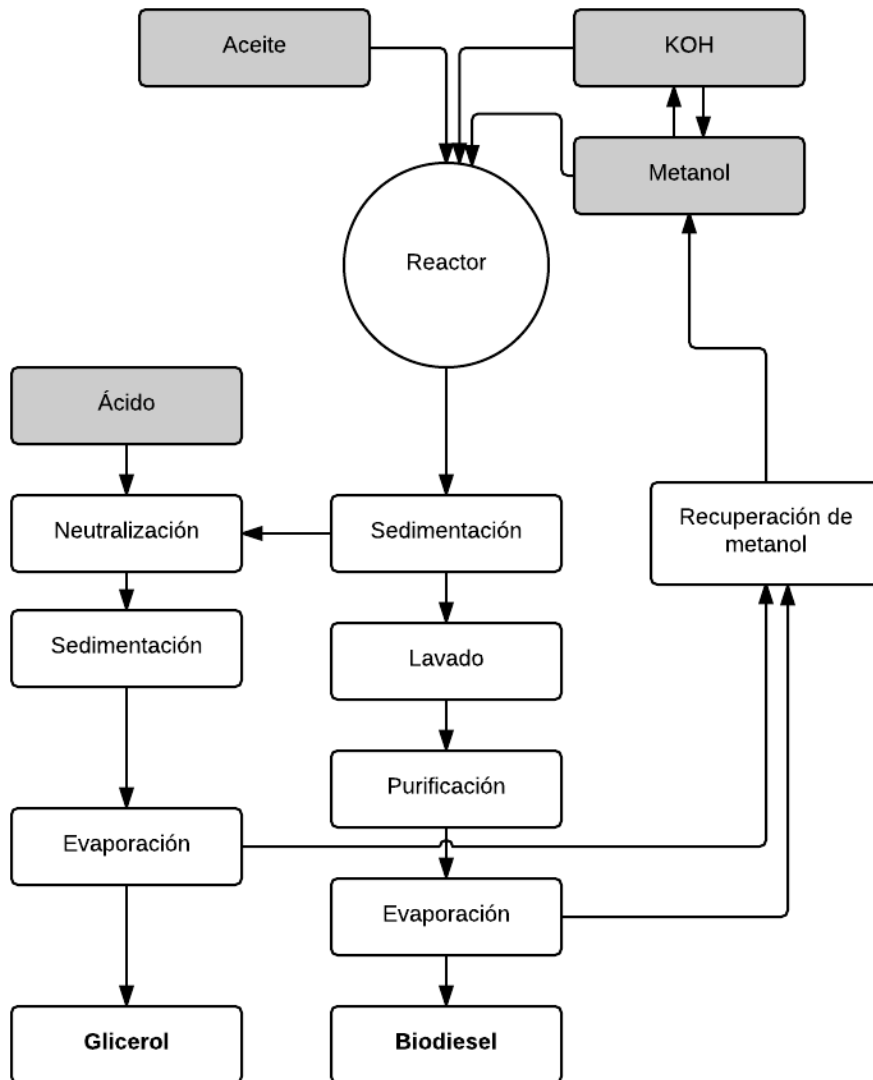
87% fue producido en la Unión Europea, más del 62% en Alemania, mientras que en Estados Unidos sólo se produjo 7.5% bien 1.7% en Brasil, utilizando insumos que incluyan grasas animales, aceites usados de cocina Y aceites vegetales atrayendo grandes y pequeñas industrias alrededor del mundo (Worldwatch Institute, 2007).

El biodiesel es único entre los biocombustibles al ser una mezcla variable ya que los triglicéridos en cualquier oleaginosa son una mezcla de ácidos grasos saturados Y no saturados, en comparación las grasas de los animales tienen un número mucho más alto de ácidos grasos saturados; esto significa que al reducir el contenido de metil etil ésteres de ácidos grasos saturados en el biodiesel reduce el punto de solidificación, liberando un mejor rendimiento. El diesel Diesel apto para uso en invierno tiene un. De solidificación menor A -11 °C por lo que un tratamiento a bajas temperaturas para eliminar el material solidificado hace del biodiesel un producto con similares características (Worldwatch Institute, 2007).

La mayor cantidad de los productores de biodiesel utilizan una reacción basada en un catalizador con sodio o hidróxido de potasio y con beneficios como bajas temperaturas y presiones en la reacción, alta eficiencia de conversión en un solo paso y no tiene necesidad de materiales exóticos en la construcción del reactor químico. Además, la liberación de glicerol durante la transesterificación genera un coproducto que puede representar ventajas económicas (Mousdale, 2008).

Algunos experimentos de Investigación y Desarrollo en el área del biodiesel incluyen la posibilidad de usar otras oleaginosas, así como factores que modifiquen el rendimiento y la pureza. Por ejemplo, la temperatura tiene un efecto positivo en la pureza del biodiesel, sin embargo influye de manera negativa en el rendimiento; la relación alcohol-aceite solo es significativa para la pureza mientras que, a menor cantidad de catalizador mayor rendimiento, la relación metanol-aceite no afecta el balance del material. El catalizador puede ser eliminado si se usan altas temperaturas y presiones para generar condiciones de fluidos extremadamente críticas, bajo las cuales los alcoholes pueden reaccionar con los triglicéridos o los ácidos grasos liberados de los triglicéridos.

Diagrama 2.3 Proceso de transformación del biodiesel



Fuente: Mousdale, *Biofuels* (2008)

También se ha desarrollado un proceso que utiliza una enzima como catalizador, teniendo como principal ventaja la habilidad de utilizar temperaturas y presión atmosférica moderadas en el recipiente de la reacción pero presenta el reto de mantener a la enzima activa durante varios procesos, lo cual es relativamente caro.

Otras innovaciones en la producción de biodiesel incluye:

- Un reactor continuo de seis etapas para la transesterificación del aceite de palma en Tailandia que produce hasta 17.3 L por hora.
- Un proceso de manufactura a partir de vegetales oleaginosos crudos en Romania.
- Un reactor en dos fases que produce biodiesel a partir de colza y metanol que resulta particularmente útil al eliminar el aceite que no tuvo reacción, generando biodiesel de muy alta pureza.
- Un proceso basado en enzimas catalizadoras que evita la liberación de glicerol de los triglicéridos, maximizando la recuperación de carbono en el producto; en éste, el metil acetato reemplaza al metanol y el resultado no afecta las propiedades del biodiesel como combustible.

Estos avances en el sistema productivo del biodiesel permiten amplificar los beneficios que éste material conlleva, como son la baja contribución a los gases invernadero y el impacto en el consumo de combustibles fósiles; además, los altos niveles de glicerol producidos pueden ser utilizados para generar hidrógeno por fermentación. Sin embargo se han descubierto ciertos problemas ambientales con la producción de biodiesel Como son la acidificación del suelo causada por emisiones de fertilizantes; eutroficación, brotes de algas, entre otros; el uso de pesticidas que contaminan el agua y los altos costos en que se incurren para su transformación (Mousdale, 2008).

### **2.3. Marco contextual**

En la actualidad, el contexto internacional presenta al biodiesel como una alternativa al consumo de combustibles fósiles muy aceptada en países como Portugal, España, Italia y Grecia, donde el 60% del Aceite Usado de Cocina (AUC) era desechado de manera incorrecta, generando problemas y aumentos en el costo del tratamiento de aguas residuales; y en Austria, donde en 2005 más de 100 camiones operaban con este biocombustible (Buczek, 2014), entre otros países de la Unión Europea que son miembros de la iniciativa que trata de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> para el año 2020 (Paraíba, 2014). Los países europeos que más produjeron biodiesel en 2014 son Alemania, España, Francia, Italia y Amsterdam, (la lista completa se muestra en la Tabla 2.5), aportando más del 67% del total de biodiesel producido en la Unión Europea (EBB, 2015).



Tabla 2.7 Producción de biodiesel de países europeos

País	Miles de toneladas	País	Miles de toneladas
Austria	95	Italia	1,837
Bélgica	741	Latvia	156
Bulgaria	378	Lituania	147
Croacia	55	Luxemburgo	20
Cyprus	20	Malta	5
República Checa	502	Holanda	2,505
Dinamarca	250	Polonia	1,269
Estonia	35	Portugal	590
Finlandia	400	Romania	407
Francia	2,445	Eslovaquia	158
Alemania	4,655	Eslovenia	108
Grecia	702	España	4,194
Hungria	158	Suecia	282
Irlanda	74	Reino Unido	505
		Total	23,093

Fuente: European Biodiesel Board (2015)

Sin embargo, los países Europeos no son los únicos que producen biocombustibles, China es el tercer productor más grande a nivel mundial y está desarrollando grandes avances tecnológicos en la materia, incluyendo su generación a partir de algas y la producción para su uso en la aviación. De esta forma, la investigación de biocombustibles y nuevas fuentes de energía forman parte del Plan de 12 años de China que propone lograr un consumo de energías renovables de 11.4% para 2015. De la misma forma, en 2008 India se propuso cubrir 20% de la demanda de diesel con biodiesel producido a partir de los cultivos jatropha sembrados en 19 estados. Por su parte, países como Israel, Rusia, Australia, Japón, Malasia

e Indonesia están empezando a encaminar acciones legislativas e industriales para incrementar la producción y el consumo de biocombustibles entre su población (EBTP, 2015).

De igual manera, la producción de biodiesel en Estados Unidos ha tenido incrementos en años recientes, en febrero de 2015 se generaron de 77 millones de galones, casi 5 millones de galones comparado con enero del mismo año. De esta manera, en 2014 se produjeron 1,270 millones de galones, teniendo como principal productor al Estado de Texas (EIA, 2015).

Por otro lado, se ha incrementado la demanda del biodiesel producido en América Latina. En Brasil se incrementó la producción de 2.5 a 3.1 millones de toneladas, teniendo una capacidad total de 6.2 millones de toneladas. En este sentido, el gobierno brasileño se propuso generar una cantidad equivalente a 7% del total de diesel fósil para noviembre de 2014, mientras que en julio de ese año la producción equivalía al 6%. Un incremento de 1 punto porcentual equivale a 45-50mil toneladas adicionales. Debido a esto, los precios de la soya, la materia prima del biodiesel producido en este país, se han elevado considerablemente. De igual forma, en Argentina, se esperaba un incremento de 4.36 a 4.9 millones de toneladas de aceite vegetal exportadas, mientras que predijo un aumento de 1.15 a 1.35 millones de toneladas de biodiesel para su exportación a finales de 2014.

Sin embargo, a pesar de que en México existen registradas 575 empresas dedicadas al tratamiento de desechos no peligrosos, rubro bajo el que se encuentra el AUC (INEGI, 2015), actualmente sólo cuatro de ellas están dedicadas a la producción de biodiesel a través de ese insumo. Éstas son *Biofuels de México* y *Reoil México*, ganadora del Cleanntech México Challenge 2010, evento que premia a los proyectos con mayor impacto ecológico en nuestro país (CTCM, 2015), en el Distrito Federal; *Moreco* en Michoacán y *Solben*, con base en Monterrey y 18 plantas en 13 estados de la República. De esta manera, en 2011 se puso en marcha un programa de recolección de AUC en el que participaban 252 establecimientos del Centro Histórico de la Ciudad de México, el cual consistía en dar bidones a los locales y recuperarlos cada determinado tiempo, pagando un peso por litro a los empresarios (Azteca

Noticias, 2011), con eso se obtenía la materia prima para la producción de biodiesel y se reducían de manera inmediata daños a las tuberías y los costos del tratamiento de aguas residuales.

No obstante, en el Estado de Tlaxcala no existen empresas dedicadas a la recolección de Aceite Usado de Cocina (INEGI, 2015), por lo que genera un problema de contaminación al ser desechado, formando parte de los residuos que contaminan el río Zahuapan, la principal arteria fluvial del Estado (Morales, 2013), mismos que no han sido atendidos de manera exitosa por la CONAGUA, pues cerca de la mitad de las 118 plantas tratadoras se encuentran fuera de funcionamiento (Conde, 2014).

## Capítulo 3: Metodología de investigación

### 3.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo *Mixto: cuantitativa y cualitativa* ya que a través de la aplicación de un instrumento de medición, se obtendrán datos numéricos que darán soporte al diseño de un Modelo de Logística Inversa que logre la recuperación del Aceite Usado de Cocina y su transformación en biodiesel. Por otra parte, la investigación es de tipo *Transversal*, pues sólo se medirá una única vez en el tiempo y, finalmente, es de tipo *Exploratoria*, porque es un tema no analizado en la región, no existe información suficiente y a partir de información recabada se determinarán características y tendencias del desecho del AUC en algunas comunidades de Tlaxcala y el potencial de este residuo como generador de biodiesel mediante un modelo de logística inversa.

### 3.2 Metodología

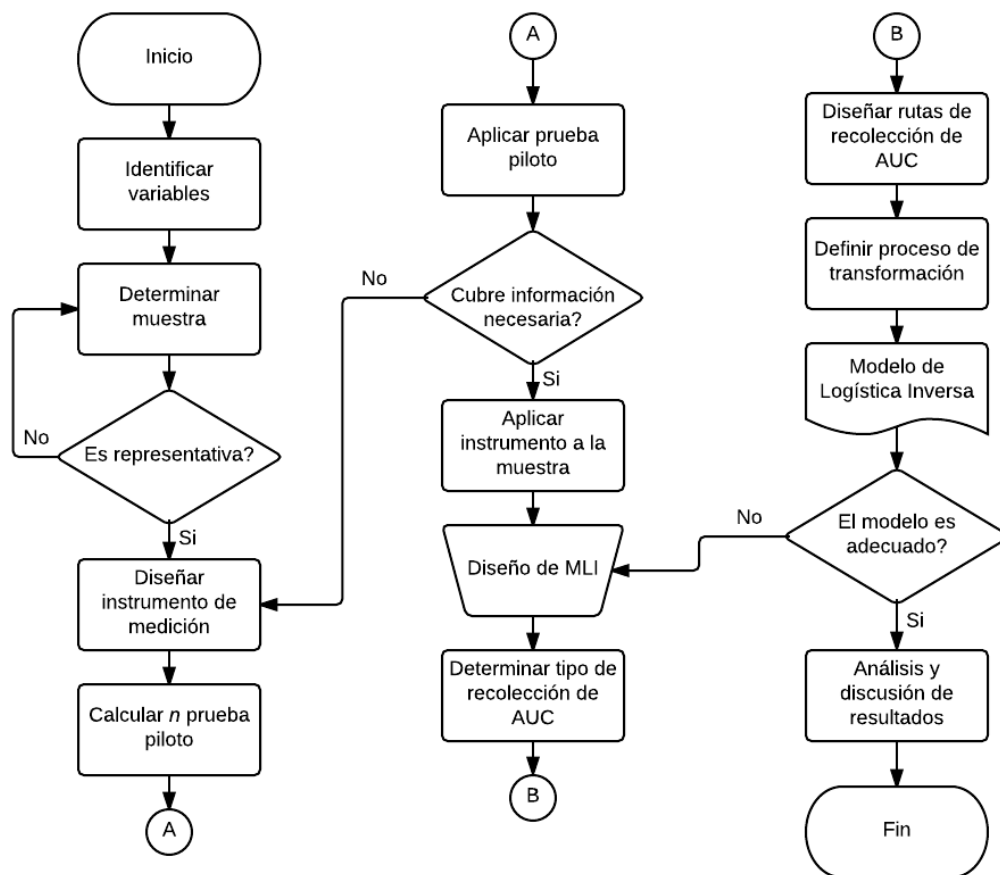
A continuación, en el diagrama 3.1 se presentan los pasos fundamentales para el desarrollo de la investigación, considerando la evaluación de los resultados obtenidos antes de considerarlos definitivos.

#### 3.2.1 Identificación de variables

- Variable dependiente:
  - Diseño del modelo logística inversa: a fines de entender la cantidad del AUC desechado por los establecimientos dedicados a la preparación de alimentos en un periodo de una semana.
  
- Variables independientes:
  - Cantidad de aceite de cocina utilizado: número de litros de aceite de cocina utilizados en la preparación de alimentos durante una semana.
  - Cantidad de aceite de cocina desechado: número de litros de aceite de cocina que son considerados residuos al terminar el proceso de preparación de alimentos, es considerado durante una semana.

- Método de desecho del AUC: forma en que los establecimientos se deshacen del AUC, puede ser mediante el desagüe, la basura, el campo, otros.
- Interés en la iniciativa de recolección: para medir el valor que los establecimientos le dan a esta iniciativa y saber si sería viable desde el punto de vista motivacional.
- Ubicación de los establecimientos: dentro de un mapa de la ciudad obtenido de INEGI, donde se establece la posición de cada uno.

Diagrama 3.1 Metodología de la investigación



Fuente: LucidChart con información propia

### 3.2.2 Determinación de la población

La producción de biodiesel a base del Aceite Usado de Cocina es vasta en países como Alemania, España o Brasil, sin embargo, es una industria incipiente en nuestro país, donde se cuenta con pocas empresas dedicadas a la transformación de este residuo, y las que existen se encuentran ubicadas en Nuevo León, Michoacán, e incluso el Distrito Federal, dejando de

lado la capacidad potencial de estados como Tlaxcala para la producción de este biocombustible. Por lo tanto, esta investigación se centra en este factor para el desarrollo de un Modelo de Logística Inversa que contemple la recolección del AUC y su transformación en biodiesel.

Para ello, se toma en cuenta una población que es determinada de manera intencionada debido a la cercanía al lugar de residencia del investigador, a partir de las unidades económicas (UE) dedicadas a la preparación de alimentos y bebidas no alcohólicas y alcohólicas de cualquier tamaño registradas en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) hasta 2014 en el Estado de Tlaxcala, seleccionando los 3 municipios que presentan mayor concentración de éstas, que son Tlaxcala con 813 unidades, Apizaco con 768 y Chiautempan con 468, dando un total de 2,049 UE.

Tabla 3.1 Comparativa de municipios con mayor cantidad de UE en el Estado de Tlaxcala

Municipio	Unidades económicas	Porcentaje del total de UE del Estado
Tlaxcala	813	13.91%
Apizaco	768	13.14%
Chiautempan	468	8.01%
San Pablo del Monte	453	7.75%
Huamantla	365	6.25%
Resto (55 municipios)	2976	50.93%
35.07%	5843	100.00%

Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (2014)

### 3.2.3 Determinación de la muestra

La muestra se tomó en base a las 2,049 UE registradas en los municipios de Tlaxcala, Apizaco y Chiautempan, por lo tanto, debido a que la información que se recabó pertenece a distintas localidades y permite la realización de comparaciones entre ellos, se optó por la realización de un *Muestreo Estratificado* que se calcula de la siguiente manera:

(1)

$$n' = \frac{p(1-p)}{v^2}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

p= probabilidad de ser seleccionado

v= porcentaje máximo de error

Y una vez obtenido n' se aplica en la fórmula:

(2)

$$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}}$$

Donde:

N= tamaño de la población

Sustituyendo:

$$n' = \frac{0.5(1-0.5)}{0.03^2} = 277.777$$

$$n = \frac{277.777}{1 + \frac{277.777}{2049}} = 244.615$$

Por lo tanto, se redondean a 245 los elementos muestrales, mismos que son divididos entre las 3 comunidades de la manera siguiente:

(3)

$$q = \frac{n}{N}$$

$$q = \frac{244.62}{2049} = 0.12$$

Este coeficiente se multiplica por la población de cada municipio seleccionado,

$$N_1 * q = 813 * 0.12 = 97.06$$

$$N_1 * q = 768 * 0.12 = 91.69$$

$$N_1 * q = 468 * 0.12 = 55.87$$

y después es redondeado para obtener únicamente números enteros, como se muestra a continuación:

Tabla 3.2 Tamaño de la muestra

	Población	Muestra	Redondeo
Tlaxcala	813	97.06	97
Apizaco	768	91.69	92
Chiautempan	468	55.87	56
	2,049	244.62	245

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.4 Diseño del instrumento de medición

Con la finalidad de obtener los datos que permitan el diseño del Modelo de Logística Inversa y en base a las variables descritas anteriormente se desarrollaron los ítems para el instrumento de la investigación de manera siguiente:



---

*Cuestionario*

El presente cuestionario es realizado con la finalidad de determinar la cantidad de aceite usado de cocina generado por los establecimientos de preparación de alimentos de ciertas localidades del estado, con el propósito de generar una propuesta de recolección que mitigue sus efectos en el medio ambiente.

- a. Número de empleados: 0-5\_\_ 6-10\_\_ 11-30\_\_ 31-50\_\_ 50-100\_\_
1. ¿Cuántos litros de aceite de cocina ocupa su negocio a la semana?  
1-5\_\_ 6-10\_\_ 11-15\_\_ más de 15\_\_
2. ¿Cuántos litros de aceite de cocina desecha a la semana?  
1-5\_\_ 6-10\_\_ 11-15\_\_ más de 15\_\_
3. ¿De qué forma se deshace del Aceite Usado de Cocina que genera?  
Por el desagüe\_\_ Lo tira al campo\_\_ Lo tira a la basura\_\_ Otras\_\_
4. ¿Conoce las trampas de grasa para las tuberías? Si\_\_ No\_\_
5. ¿Utiliza trampas de grasa para las tuberías? Si\_\_ No\_\_
6. ¿Conoce los efectos que causa el AUC en el ambiente? Si\_\_ No\_\_
7. Cuáles?\_\_\_\_\_
8. ¿Conoce los efectos que tiene el aceite de cocina quemado en la salud? Si\_\_ No\_\_
9. Cuáles?\_\_\_\_\_
10. ¿Estaría dispuesto a participar en un programa de recolección de AUC? Si\_\_ (pase a la pregunta 11) No\_\_ (Dé por terminada la encuesta)
11. ¿Preferiría que se le otorgara un bidón por negocio o llevar el AUC que genere a un centro de acopio en la zona? Bidón\_\_ Centro de Acopio\_\_
-

### *3.2.5 Aplicación de prueba piloto*

La prueba piloto se aplicó a 12 establecimientos dedicados a la preparación de alimentos y bebidas no alcohólicas ubicados en el municipio de Apizaco, que equivalen al 5% del total de la muestra y donde se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El grado de escolaridad del dueño no tiene relación alguna con el método de desecho del AUC.
- La cantidad de litros de aceite desechados a la semana se encuentra en el rango de 0-5, se podría establecer unidades netas para conocer la cantidad real desechada.
- Las preguntas sobre trampas de grasa pueden servir para propósitos de diagnóstico en la región.
- Todos los establecimientos respondieron que estarían dispuestos a participar en un programa de recolección de AUC.
- La opinión entre bidón y centro de acopio es 50/50 hasta el momento.
- Para diseñar la ruta es necesario establecer en un mapa los establecimientos visitados que estén dispuestos a participar.

Para obtener información más relevante para la investigación se modificaron las preguntas 1 y 2, de forma que la cantidad obtenida en la encuesta fuera la real y no un rango para dar más confiabilidad al instrumento; se eliminaron las preguntas 7, 8 y 9 pues no siempre eran respondidas y cuando lo eran se obtenían respuestas muy dispersas, por lo que el instrumento final tiene únicamente 8 ítems y puede ser encontrado en la sección de anexos para su consulta (Anexo A).

### *3.2.6 Aplicación del instrumento de medición al total de la muestra*

La aplicación del instrumento de medición se realizó los días martes y miércoles en un horario de 9 am a 6 pm para cubrir todo tipo de establecimientos dedicados a la preparación de alimentos en los municipios de Apizaco, Tlaxcala y Chiautempan, aplicando 245 encuestas distribuidas en 97, 92 y 56 respectivamente.

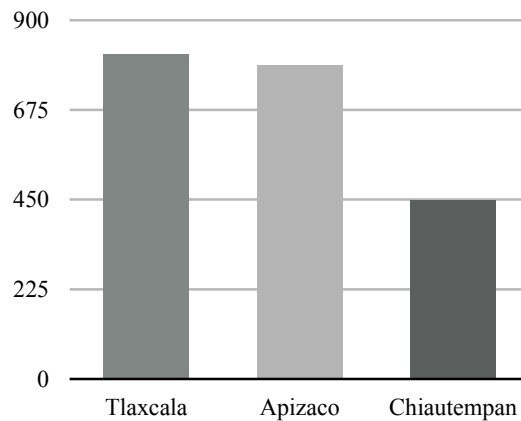
### 3.2.7 Procesamiento de la información obtenida

A continuación se presentan las conclusiones obtenidas del procesamiento de la información recabada a partir de la aplicación del instrumento de medición.

Item #1: *¿Cuántos litros de aceite de cocina ocupa su negocio a la semana?*

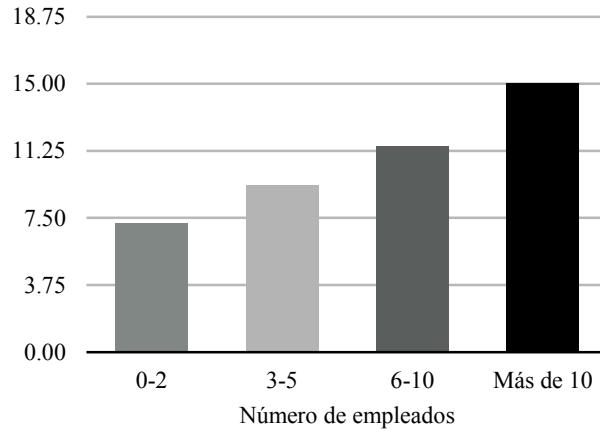
La cantidad total de litros de aceite de cocina utilizados en una semana en los tres municipios seleccionados es de 2,048, siendo Tlaxcala el mayor consumidor de este producto, con cerca de 810 L consumidos. Se puede ver que el consumo de aceite de cocina es proporcional al tamaño de la muestra en cada ciudad.

Gráfica 3.1 Cantidad total utilizada de litros de aceite de cocina semanalmente por ciudad



Mientras que los establecimientos que mayor consumo promedio presentan son los que tienen más de 10 empleados, sin embargo, no se tiene en cuenta el tipo de alimentos preparados en cada establecimiento, por lo que pueden presentarse negocios más pequeños que tengan un consumo similar al de aquellos con más de 10 personas.

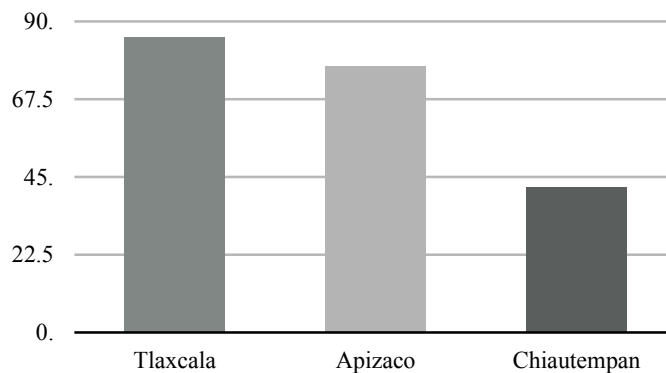
Gráfica 3.2 Cantidad promedio de litros de aceite de cocina utilizados semanalmente por tamaño de establecimiento



Item #2: *¿Cuántos litros de aceite de cocina desecha a la semana?*

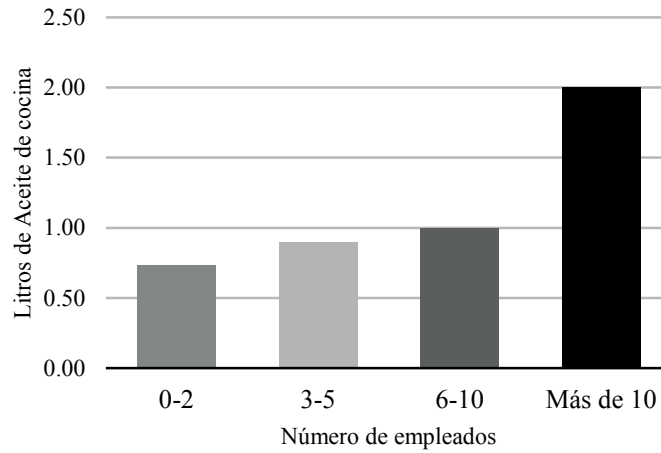
La cantidad total de litros de aceite de cocina desechados semanalmente en los 3 municipios seleccionados es de 204.5, que representa casi el 10% del total de litros utilizados en el mismo periodo para la preparación de alimentos. De igual forma, la cantidad de aceite desechada es proporcional al tamaño de la muestra.

Gráfica 3.3 Cantidad total de litros de AUC desechados semanalmente por ciudad



Por otro lado, los establecimientos que mayor desecho promedio presentan son los que tienen más de 10 empleados, sin embargo, no se tiene en cuenta el tipo de alimentos preparados en cada establecimiento, por lo que pueden presentarse negocios más pequeños que tengan un desecho similar al de aquellos con más de 10 personas.

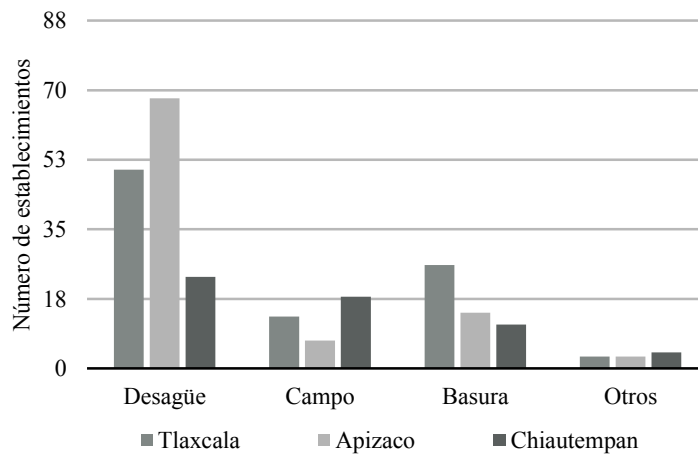
Gráfica 3.4 Cantidad promedio de litros de AUC desechados semanalmente por tamaño de establecimiento



Item #3: *¿De qué forma se deshace del AUC que genera?*

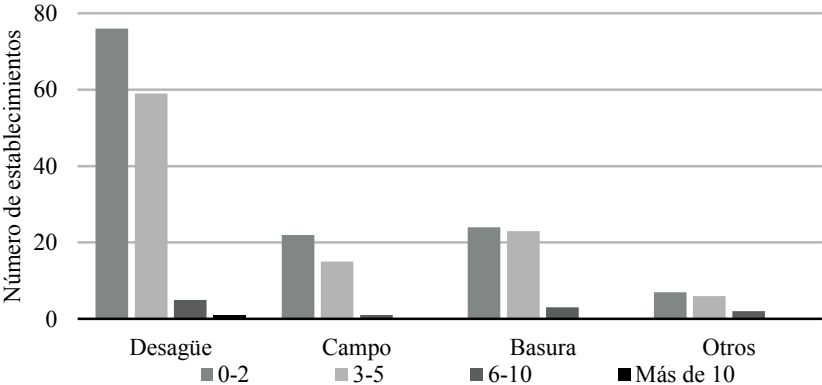
De manera general el método de desecho más utilizado es mediante el desagüe, sin embargo existen ligeras variaciones entre las 3 comunidades seleccionadas como se ve en la Gráfica 3.5, donde se observa que los establecimientos en Chiautempan se deshacen del AUC con mayor incidencia en el campo que en la basura y además presenta un número más alto en el grupo de Otros métodos de desecho. Por otra parte, el 74% de los establecimientos ubicados en Apizaco se deshacen del AUC que generan mediante el desagüe, lo que genera problemas en las tuberías de la ciudad.

Gráfica 3.5 Método de desecho utilizado por ciudad



De igual forma, se puede ver que los establecimientos más pequeños son los que se deshacen del AUC mediante el desagüe de manera más común.

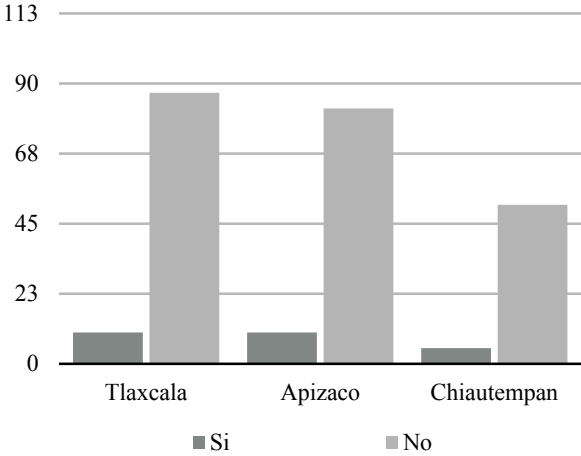
Gráfica 3.6 Método de desecho utilizado por tamaño de establecimiento



Item #4: *¿Conoce las trampas de grasa para las tuberías?*

El concepto de las trampas de grasa para las tuberías es conocido por únicamente el 10% del total de la muestra, con una cantidad similar entre los municipios de Tlaxcala y Apizaco.

Gráfica 3.7 Establecimientos que conocen las trampas de grasa

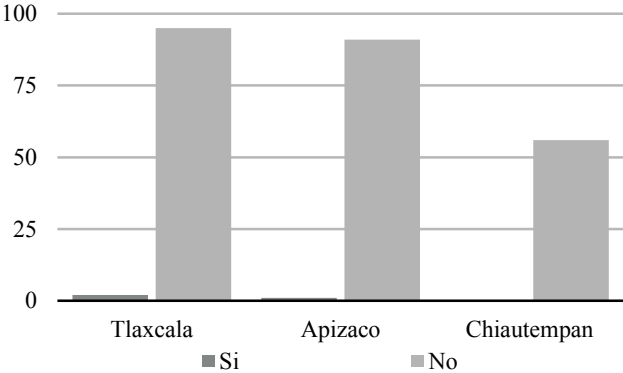


Item #5: *¿Utiliza trampas de grasa para las tuberías?*

El panorama sobre el uso de trampas de grasa para las tuberías es aún más desalentador, pues únicamente 3 establecimientos de toda la muestra cuentan con ellas; teniendo en cuenta que cerca del 60% de los establecimientos se deshacen del AUC mediante el desagüe, nos

encontramos ante un problema ambiental que afecta los ríos y otros cuerpos acuíferos donde estos desechos desembocan, así como en las tuberías y drenajes de la comunidad.

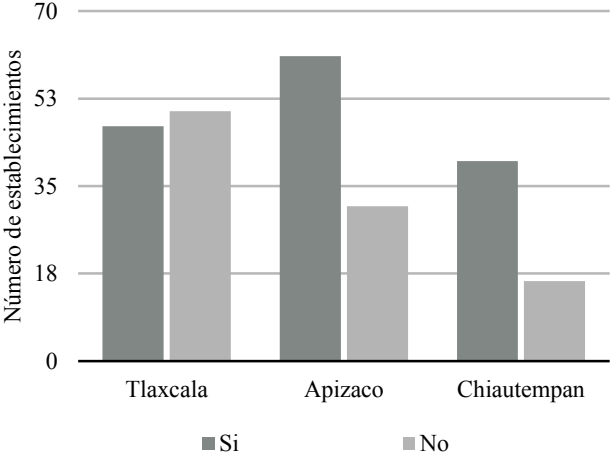
Gráfica 3.8 Establecimientos que utilizan las trampas de grasa



Item #6: *¿Conoce los efectos del AUC en el ambiente?*

Los establecimientos de Apizaco y Chiautempan se encuentran más informados sobre los efectos del AUC en el medio ambiente, a pesar de no contar con las herramientas necesarias para mitigarlos. Mientras que en Tlaxcala, la proporción de establecimientos informados sobre dichos efectos es casi del 50%.

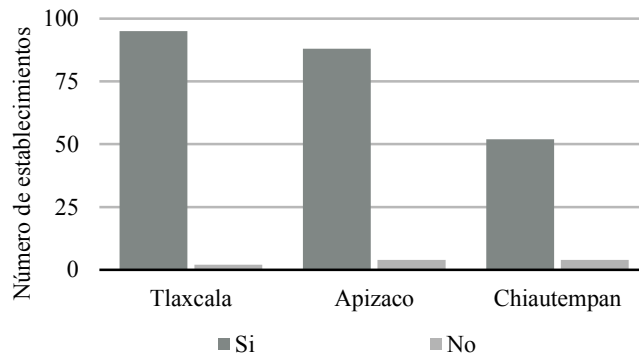
Gráfica 3.9 Establecimientos que conocen los efectos causados por el desecho del AUC



Item #7: *¿Estaría dispuesto a participar en un programa de recolección de AUC?*

El 96% de los establecimientos de la muestra se mostraron abiertos a participar en un programa de recolección de AUC, sin embargo, la motivación tras esta reacción no fue considerada en el instrumento final.

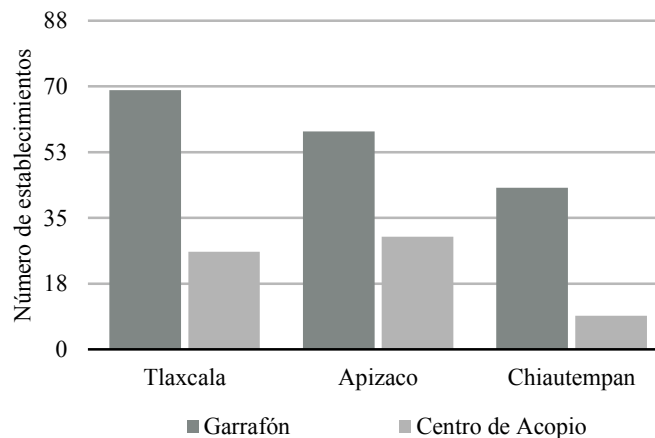
Gráfica 3.10 Establecimientos dispuestos a participar en un programa de recolección de AUC



Item #8: *¿Preferiría que se le otorgara un garrafón por negocio o llevar el AUC que genere a un centro de acopio en la zona?*

De los 235 establecimientos que dieron una respuesta positiva a la pregunta anterior, el 72% seleccionó el garrafón por establecimiento como la mejor forma para llevar a cabo la recolección del AUC, mientras que el otro 28% restante eligió el Centro de Acopio como mejor opción para esta iniciativa.

Gráfica 3.11 Método de recolección preferida por los establecimientos dispuestos a participar en un programa de recolección de AUC





## Capítulo 4: Resultados y discusión

### 4.1 Diseño del modelo de logística inversa

#### 4.1.1 Determinación del tipo de recolección del AUC

Para determinar el tipo de recolección de AUC y la definición de rutas se tomó en cuenta el “Manual para el diseño de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Municipales” publicado por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL, 2006), en donde se menciona que el primer paso es elegir el método de recolección, para lo cual que presenta 4 tipos principales:

- Método de Esquina: la unidad se estaciona en las esquinas y los usuarios deben llevar sus contenedores hasta ella.
- Método de Acera: los usuarios colocan sus contenedores sobre la acera y los operadores deben recogerlos, llevarlos a la unidad, vaciar el contenido y regresarlos.
- Método intradomiciliario: similar al de acera, pero los operarios entran a los domicilios por los contenedores y realizan el mismo proceso después de ello.
- Método de Contenedores: se colocan en puntos estratégicos de la ciudad, los operadores deben cargar la unidad con el contenedor y retirarse (SEDESOL, 2006).

Considerando esta información, se empleó la herramienta Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para comparar las características que diferencian a cada uno de estos métodos, como son el tiempo asignado para recolección, participación del usuario, riesgo de derrame, costo y calidad en el servicio, evaluando los diversos métodos respecto a cada uno de los criterios asignando valores entre 1 y 9 como se describe en la tabla 2.6, para después ser procesados con el objetivo de elegir el resultado más pequeño de las sumas.

Tabla 4.1 Comparación de métodos de recolección

Métodos		Esquina	Acera	Intradomiciliario	Contenedores
Criterios					
Tiempo	0.60	0.07	0.16	0.33	0.05
Participación	0.23	0.06	0.03	0.01	0.13
Derrame	0.12	0.01	0.07	0.03	0.02
Costo	0.05	0.01	0.02	0.03	0.01
		0.15	0.27	0.40	0.20

*Fuente: Elaboración propia*

Como se puede observar en la Tabla 4.1, el *método de Esquina* es el que mejor cubre las necesidades de este modelo, pues reduce en gran medida el riesgo de derrame y el costo, mientras que la calidad se mantiene en un nivel medio.

Una vez que se conoce el método de recolección, se debe elegir el equipo y vehículo necesarios para ello. Inicialmente se propuso otorgar garrafones de 2 L de capacidad a cada establecimiento participante, debido a que es la cantidad máxima de AUC generada que se reportó en el instrumento, sin embargo, con el propósito de prever situaciones extraordinarias, se tomó la decisión de no otorgar ningún recipiente para la recolección, con el fin de no limitar la participación de cada establecimiento. En consecuencia se propone el uso de garrafones con una capacidad de 20 L que serán transportados en el vehículo y serán llenados durante el proceso de recolección con el AUC que se recolecte.

Para determinar el vehículo a emplear se tomó en cuenta como factor principal la cantidad promedio de AUC que puede ser recuperada, seguido del costo de la unidad, el consumo de combustible y el mantenimiento preventivo que requiere.

Teniendo en cuenta esta información se decidió que la unidad a emplear será una motocicleta de trabajo con las siguientes características:

- Rendimiento de 30 km/lt
- Capacidad de carga de 600kg
- Batea y góndola abatible
- Precio de \$29,800

Con respecto a los días y horarios de recolección, el Manual para el diseño de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Municipales recomienda conocer la temperatura promedio de la localidad, así como los tiempo de incubación y crecimiento de la mosca, pues es el animal que más prolifera en los desechos alimenticios, mismo que se da a conocer en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Tiempos de incubación y crecimiento de la mosca

Temperatura (C°)	Huevo a pupa (en días)	Huevo a adulta (en días)
Promedio de 20°C	10.1	20.5
Promedio de 28°C	5.6	10.8
Promedio de 30°C	5.6	8.9

*Fuente: Manual para el diseño de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Municipales, SEDESOL (2006)*

De esta forma, el Estado de Tlaxcala tiene una temperatura promedio de 14°C, con la mayor de 25°C y la menor de 1.5°C de acuerdo al INEGI, situándose por debajo del primer rango y brindando un intervalo de al menos 10 días antes de que eclosione el huevo de la mosca.

Una vez que se conoce esta información, es necesario identificar la cantidad de AUC generado en cada localidad (Tabla 4.3), para elegir la frecuencia de recolección, que puede ser diaria, cada tercer día o dos veces por semana.

Tabla 4.3 Cantidad de AUC generado semanalmente por localidad

Localidad	Cantidad de AUC generada (lts)
Apizaco	77
Chiautempan	42
Tlaxcala	85.5
<b>Total</b>	<b>204.5</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Con esta información se genera la siguiente programación de días y horarios en que se realizará la recolección. Se optó una frecuencia de visitas a cada municipio de 2 veces por semana, dividiendo cada uno en 2 bloques principales.

Tabla 4.4 Días y horarios de recolección por ciudad

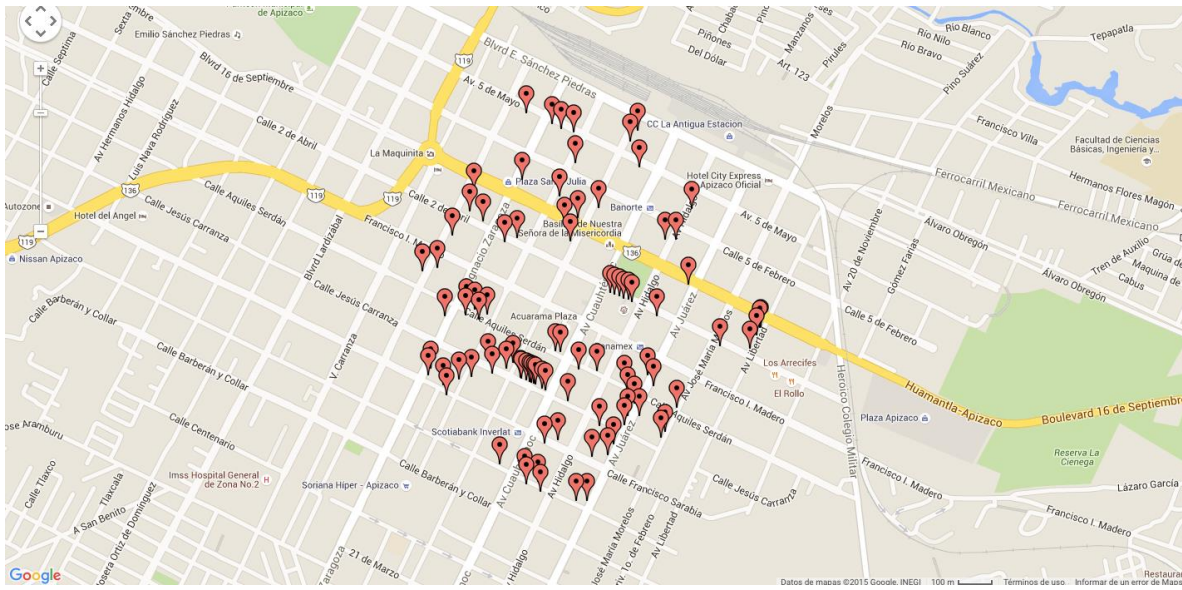
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Lugar	Tlaxcala	Apizaco	Chiautempan	Tlaxcala	Apizaco	Chiautempan
Inicio de recorrido	10:00am	10:00am	10:00am	10:00am	10:00am	10:00am

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.2 Diseño de rutas de recolección del AUC

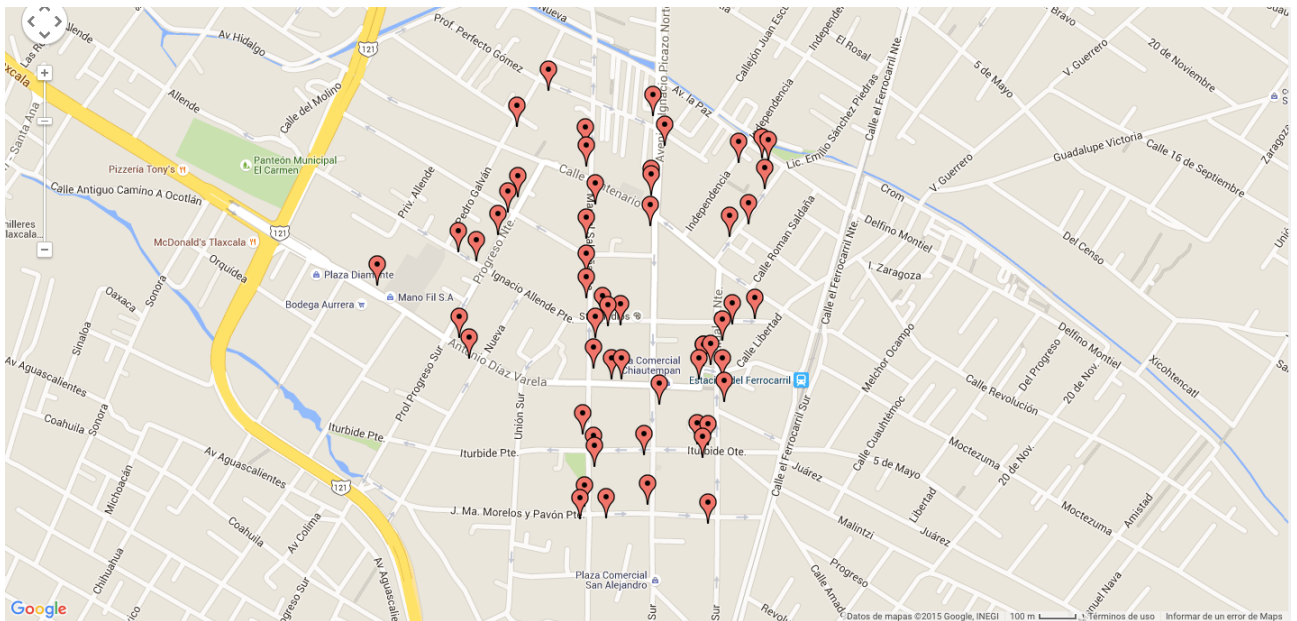
De acuerdo con la aplicación del instrumento de medición se obtuvieron los siguientes mapas, donde se ubican los establecimientos dentro de los municipios seleccionados

Imagen 4.1 Ubicación de establecimientos en Apizaco



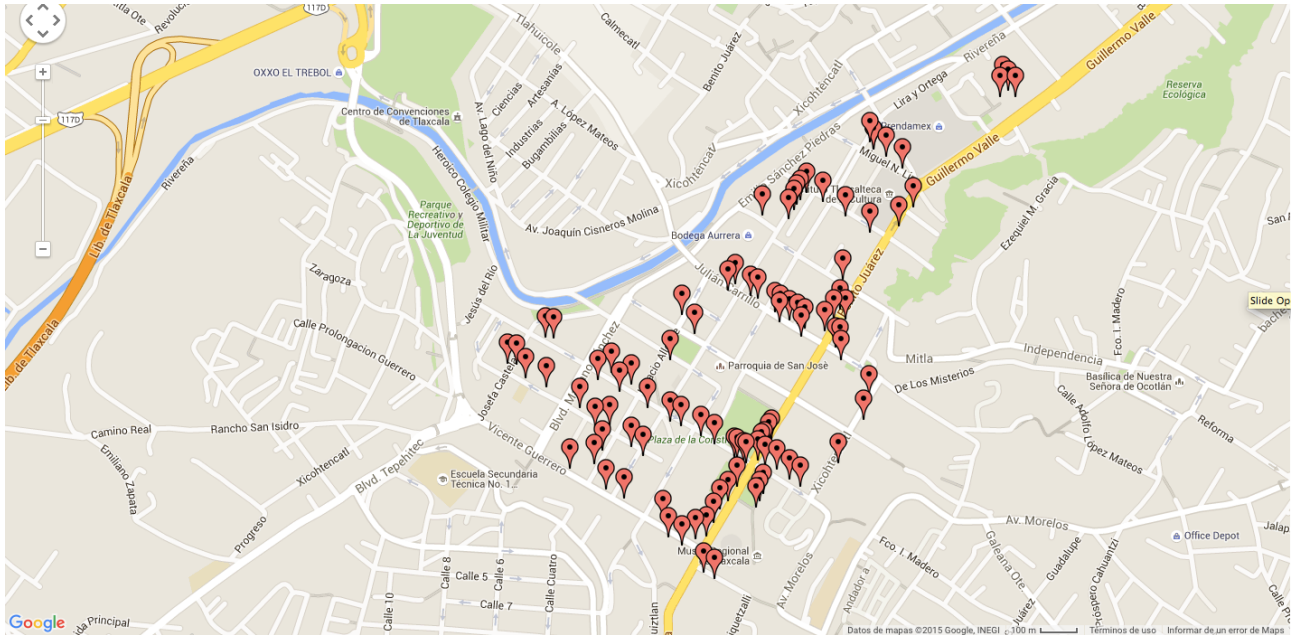
*Fuente: Elaboración propia a través de Google Maps*

Imagen 4.2 Ubicación de establecimientos en Chiantempan



*Fuente: Elaboración propia a través de Google Maps*

Imagen 4.3 Ubicación de establecimientos en Tlaxcala

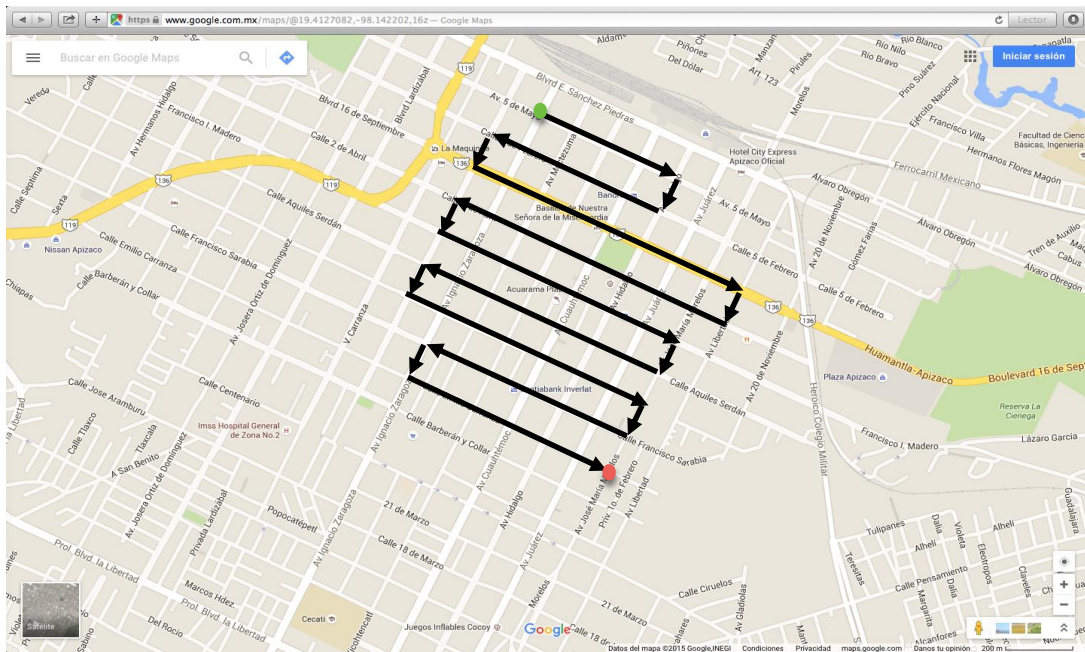


*Fuente: Elaboración propia a través de Google Maps*

A partir de éstos y empleando la técnica del *Problema del Cartero Chino* se establecieron las rutas de recolección mostradas en las imágenes 4.4, 4.5 y 4.6.

Inicialmente se tiene la ruta de recolección en Apizaco, que inicia en la Av. 5 de mayo esquina con Av. Ignacio Zaragoza y termina en la Av. José María Morelos esquina con Calle Emilio Carranza, tiene una distancia total de 7.9 km

Imagen 4.4 Ruta de recolección Apizaco (Manual)



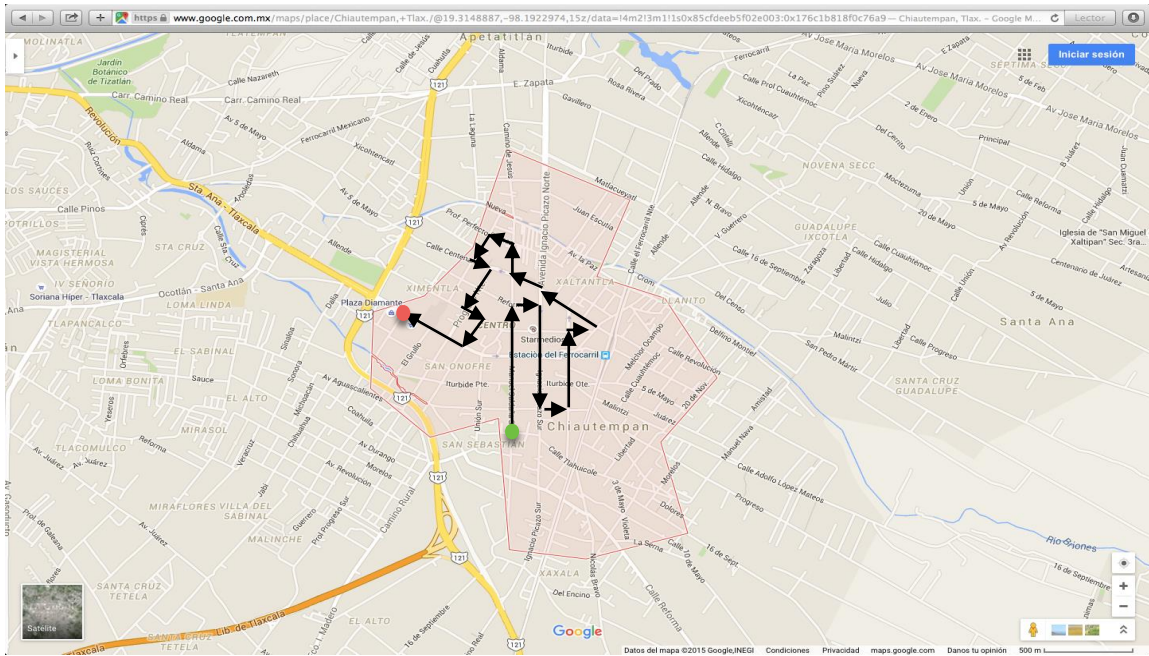
*Fuente: Elaboración propia a través de Google Maps*

Por otro lado, la ruta de recolección en Chiautempan inicia en Calle Tlahuicole esquina con Manuel Saldaña Sur y termina en la Calle Antonio Díaz Varela esquina con la Priv. Subestación, contando con una distancia de 4.7 km. Su forma se debe al sentido de las calles.

Finalmente, la ruta de recolección en Tlaxcala inicia en Av. Independencia esquina con Calle Vicente Guerrero y termina en la Calle Guillermo Valle esquina con Calle Tepeticpac, tiene una distancia de 4.7 km y su forma se debe al sentido de circulación de las calles.

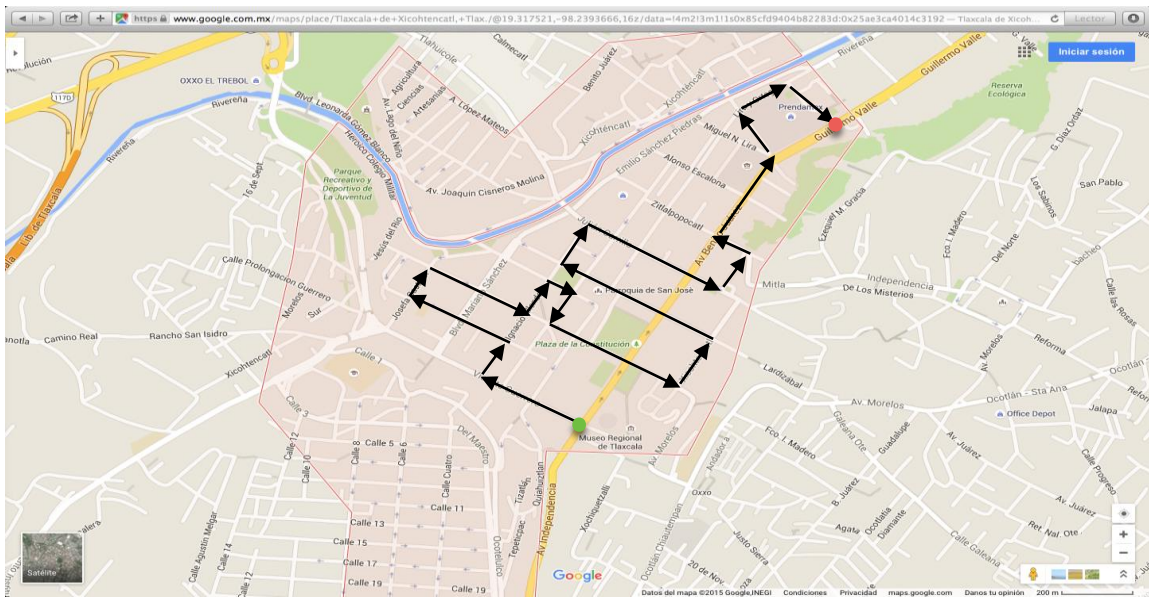


Imagen 4.5 Ruta de recolección Chiautempan (Manual)



Fuente: Elaboración propia a través de Google Maps

Imagen 4.6 Ruta de recolección Tlaxcala (Manual)

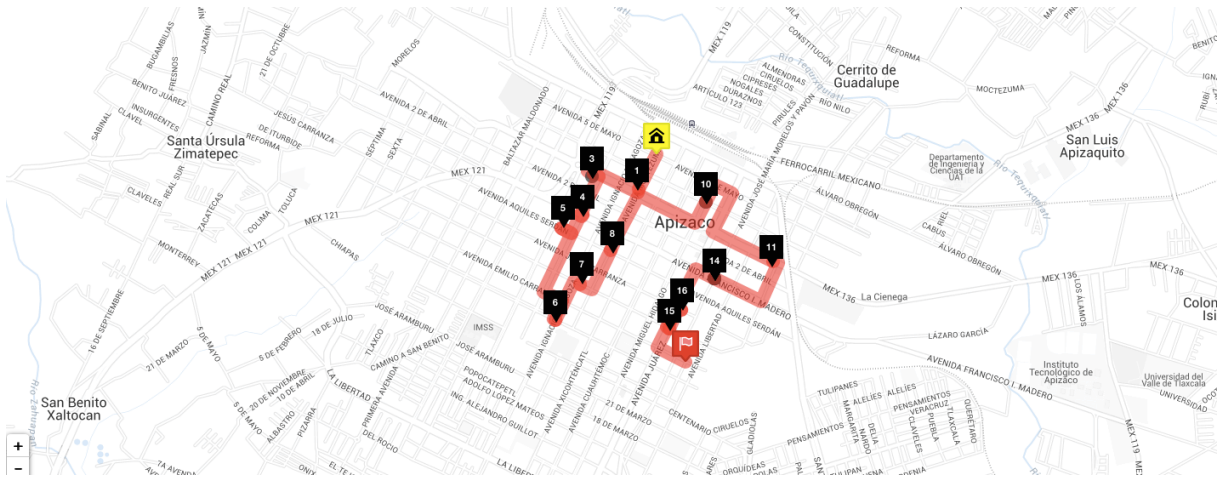


Fuente: Elaboración propia a través de Google Maps

Después se utilizó el software *RouteXL* como herramienta tecnológica para comparar los rutes anteriores, arrojando los siguientes resultados:

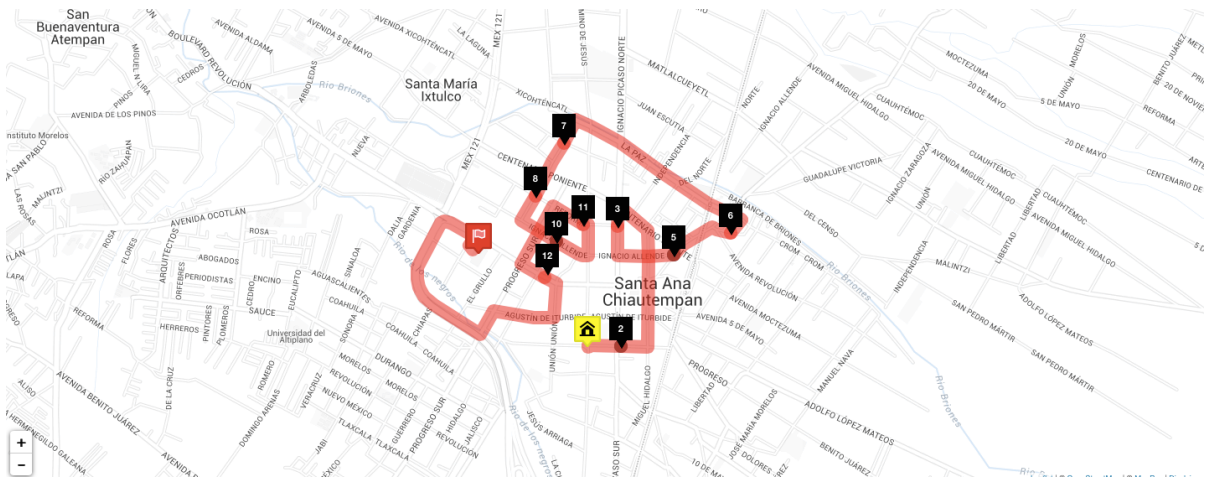


Imagen 4.7 Ruta de recolección Apizaco (Software)



Fuente: Elaboración propia a través de RouteXL

Imagen 4.8 Ruta de Recolección Chiautempan (Software)



Fuente: Elaboración propia a través de RouteXL

Imagen 4.9 Ruta de recolección Tlaxcala (Software)

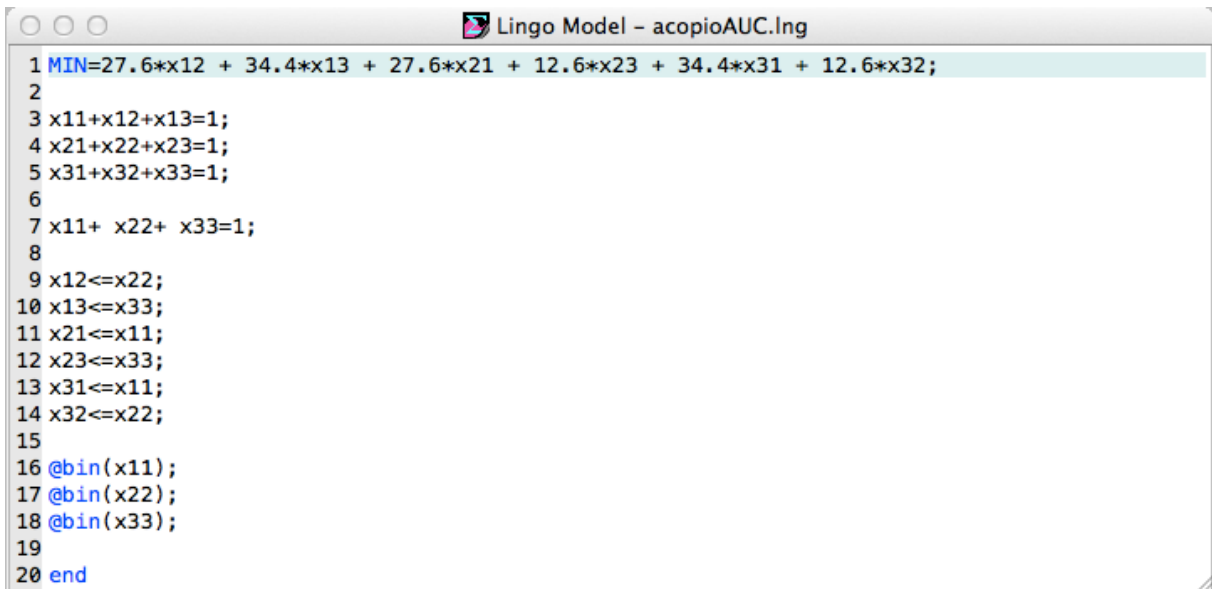


*Fuente: Elaboración propia a través de RouteXL*

A partir de estos resultados se pueden comparar las rutas manuales contra las generadas por el software, donde, a pesar de que el software utilizado propone una menor cantidad de puntos de recolección y con ello disminuye el recorrido, representa un esfuerzo adicional por parte de los dueños de los establecimientos, al tener que desplazarse hasta el punto de recolección, posiblemente reduciendo el interés de éstos por participar en el programa de recuperación de AUC, por lo que se ha decidido utilizar los ruteos manuales, con el fin de seguir el método de esquina.

Una vez que se ha recolectado el AUC de un recorrido, es necesario llevarlo a un centro de acopio cuya ubicación es determinada mediante el uso de la p-mediana en Programación Lineal y a través del software *Lingo*, donde la función objetivo busca minimizar las distancias que existen entre los municipios estudiados, como se observa en la Imagen 4.10, donde los puntos X11, X22 y X33 corresponden a los municipios de Apizaco, Chiautempan y Tlaxcala respectivamente.

Imagen 4.10 Programación lineal para determinar la ubicación del centro de acopio de AUC.



```
Lingo Model - acopioAUC.lng
1 MIN=27.6*x12 + 34.4*x13 + 27.6*x21 + 12.6*x23 + 34.4*x31 + 12.6*x32;
2
3 x11+x12+x13=1;
4 x21+x22+x23=1;
5 x31+x32+x33=1;
6
7 x11+ x22+ x33=1;
8
9 x12<=x22;
10 x13<=x33;
11 x21<=x11;
12 x23<=x33;
13 x31<=x11;
14 x32<=x22;
15
16 @bin(x11);
17 @bin(x22);
18 @bin(x33);
19
20 end
```

*Fuente: Lingo Versión 15.0 con información recabada por el investigador de Google Maps*

En consecuencia, una vez que es ejecutada la función objetivo, arroja los resultados mostrados en la Imagen 4.11, donde se puede ver que el punto X22 tiene un valor de 1, lo que se interpreta como el municipio elegido para establecer el centro de acopio de AUC de acuerdo a las distancias que existen entre los 3, éste corresponde a la localidad de Chiautempan.

Imagen 4.11 Resultados de Lingo para determinar la ubicación del centro de acopio de AUC.

Global optimal solution found.  
Objective value: 40.20000  
Objective bound: 40.20000  
Infeasibilities: 0.000000  
Extended solver steps: 0  
Total solver iterations: 0  
Elapsed runtime seconds: 0.05

Model Class: MILP

Total variables: 9  
Nonlinear variables: 0  
Integer variables: 3

Total constraints: 11  
Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 30  
Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X12	1.000000	0.000000
X13	0.000000	6.800000
X21	0.000000	27.60000
X23	0.000000	12.60000
X31	0.000000	21.80000
X32	1.000000	0.000000
X11	0.000000	-27.60000
X22	1.000000	0.000000
X33	0.000000	-12.60000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	40.20000	-1.000000
2	0.000000	-27.60000
3	0.000000	0.000000
4	0.000000	-12.60000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000

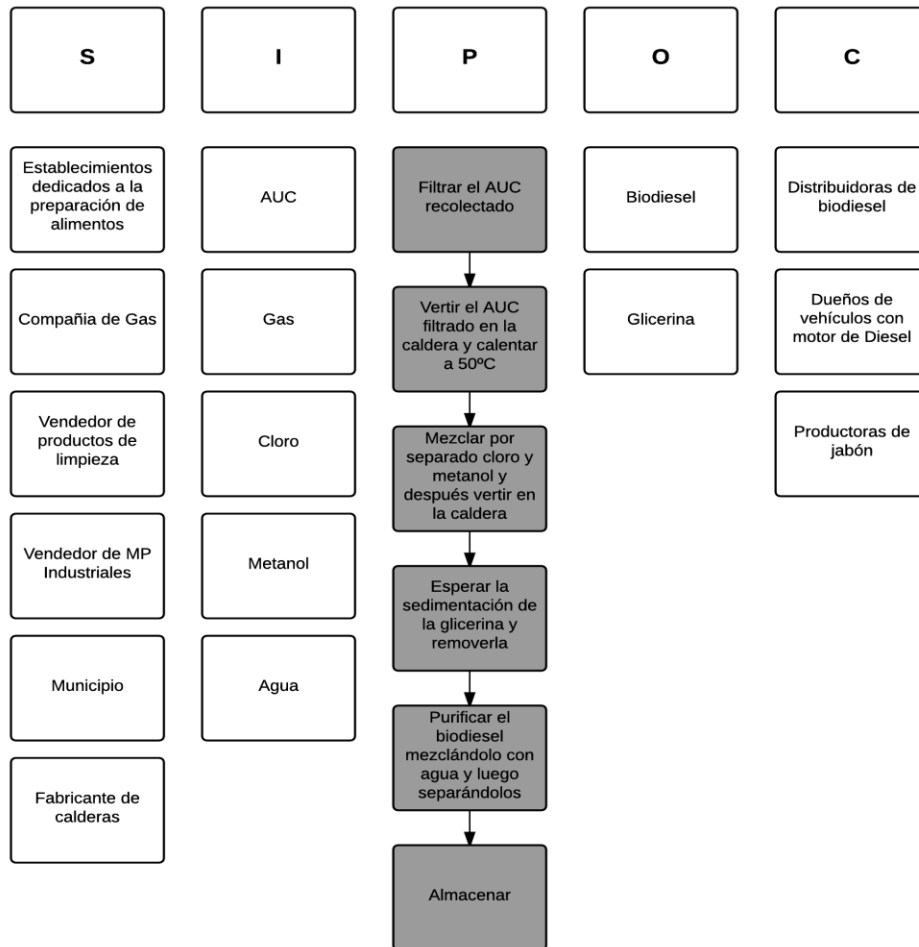
Fuente: Lingo Versión 15.0 con información recabada por el investigador de Google Maps

#### 4.1.3 Definición del proceso de transformación

A pesar de que existen varios métodos para la producción de biodiesel a base de AUC, se optó por la Transesterificación homogénea catalizada, debido a que presenta menores costos y es considerada una práctica común en la industria.

Para definir este proceso, se utilizó un diagrama SIPOC (Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas, Clientes), que es una herramienta de Six Sigma, para establecer las etapas del proceso de transformación que intervienen en la generación de biodiesel a partir del AUC. Los resultados de esta técnica se muestran en el Diagrama 3.2.

Diagrama 4.1 Proceso de transformación del biodiesel mediante SIPOC



*Fuente: Elaboración propia*

El proceso más popular para lograr la transformación del AUC en biodiesel es el método de Transesterificación, ya que presenta costos bajos y flexibilidad en la producción, pues permite desarrollarse por lotes o de manera continua, según los requerimientos del mercado. Para ello, el primer paso es filtrar el AUC recolectado para eliminar los residuos de alimentos, vertiendo el contenido de los garrafones recolectados en otro contenedor, utilizando un colador convencional de por medio.

Una vez que el AUC se encuentra libre de residuos alimenticios es vertido en la caldera y calentado a una temperatura promedio de 50°C, para reducir la humedad que pueda existir. Al mismo tiempo, en otro recipiente se prepara la mezcla de metanol con hidróxido de

potasio, en una razón de 0.166 L por cada litro de aceite para el primero y 11.5 g del segundo; para después verterla en la caldera.

La nueva mezcla debe moverse esporádicamente durante 8 horas y dejarse reposar para que a la mañana siguiente se pueda retirar la glicerina formada en el fondo, si la caldera lo permite puede drenarse.

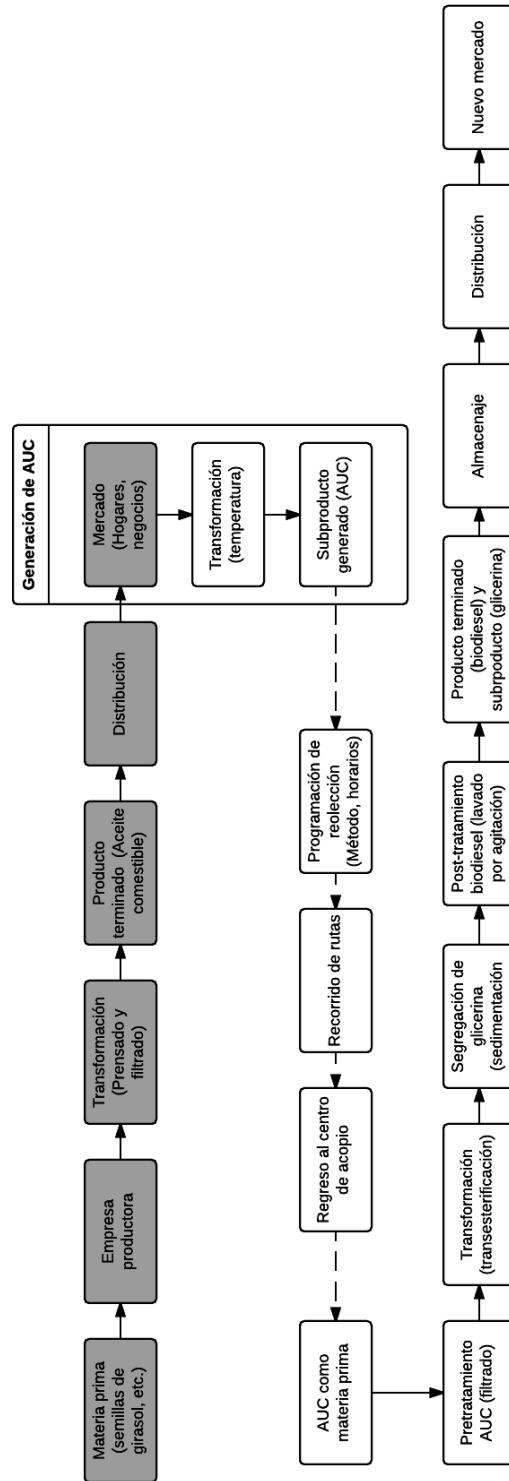
A continuación, se debe lavar el biodiesel generado y para ello se utiliza el lavado por agitación, que consiste en calentar el biodiesel a 30°C y verter agua, después se debe agitar la mezcla con una hélice durante 5 minutos o hasta ver una mezcla homogénea y dejar reposar por una hora para que se separen y las impurezas queden en el agua para después ser extraída mediante un sifón. Este proceso es repetido 2 veces más para asegurar la pureza del biodiesel.

Finalmente el biodiesel puede ser almacenado en un recipiente de metal o plástico a temperatura ambiente, sin que eso modifique sus características.

#### *4.1.4 Propuesta de modelo de logística inversa*

A continuación se presenta una propuesta de Modelo de Logística Inversa, donde se puede observar la cadena productiva del aceite de cocina, hasta el momento en que es adquirido por el cliente y transformado en desecho después de haber cumplido con su función. Una vez generado el AUC es recuperado e inicia el proceso de Logística Inversa, donde pasa por procesos de filtrado, transesterificación y purificación, lo que genera un biocombustible listo para ser enviado a un nuevo mercado, completamente diferente al de la materia prima, pretendiendo reducir el impacto ambiental que este desecho tendría al ser eliminado de otra manera.

Diagrama 4.2 Propuesta de modelo de logística inversa



Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Modelo de logística inversa

Después de realizar esta investigación, se ha generado un Modelo con enfoque de Logística Inversa (reciclaje), presentado y descrito a continuación, que permitirá comprender, estudiar y realizar la recolección de Aceite Usado de Cocina para su transformación en biodiesel, y con su implementación se pretende reducir el impacto ambiental que genera la disposición indiscriminada de este residuo e incluso un beneficio económico para la región.

Dicho modelo pertenece a uno de los cuatro tipos descritos por Monroy (2006) donde, a partir de una cadena de suministro inicial, existe la necesidad de recuperar los productos que han cumplido con su vida útil, para lo cual, una empresa externa a la original se encarga de la recolección, transporte, clasificación y reprocesamiento del desecho generado para generar un nuevo producto que atienda las necesidades de un mercado totalmente diferente al original, reduciendo el impacto ambiental del desecho inicial. De esta manera, y atendiendo la clasificación de las 3-R propuesta por Rubio Lacoba (2003) quien menciona que las opciones de gestión para los productos fuera de uso son: reutilización, refabricación y reciclaje, el modelo propuesto busca cubrir la función de Reciclaje al tratar el AUC como una materia prima para la elaboración de un nuevo producto, misma que pierde su identidad durante el proceso de transesterificación y se convierte en un biocombustible.

A partir de la información obtenida a través del instrumento de medición, se desarrolló una primera propuesta de modelo que fue validado de acuerdo a Sampieri (2010) en materia de validez de contenido, de criterio y de constructo. De esta forma, el contenido se refiere al grado en que el modelo representa la totalidad de la situación, para ello se indagó en el número de establecimientos dedicados a la preparación de alimentos registrados en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como la cantidad de aceite de cocina que consumen, desechan y el método que utilizan para deshacerse de este residuo, de igual forma se investigó sobre el conocimiento que tienen de los problemas que causa el desecho indiscriminado del subproducto y si ocupan trampas de grasa para las tuberías, finalmente se estableció la ubicación de los establecimientos en los mapas de la ciudad, para tener una visión real de la distribución de los mismos.



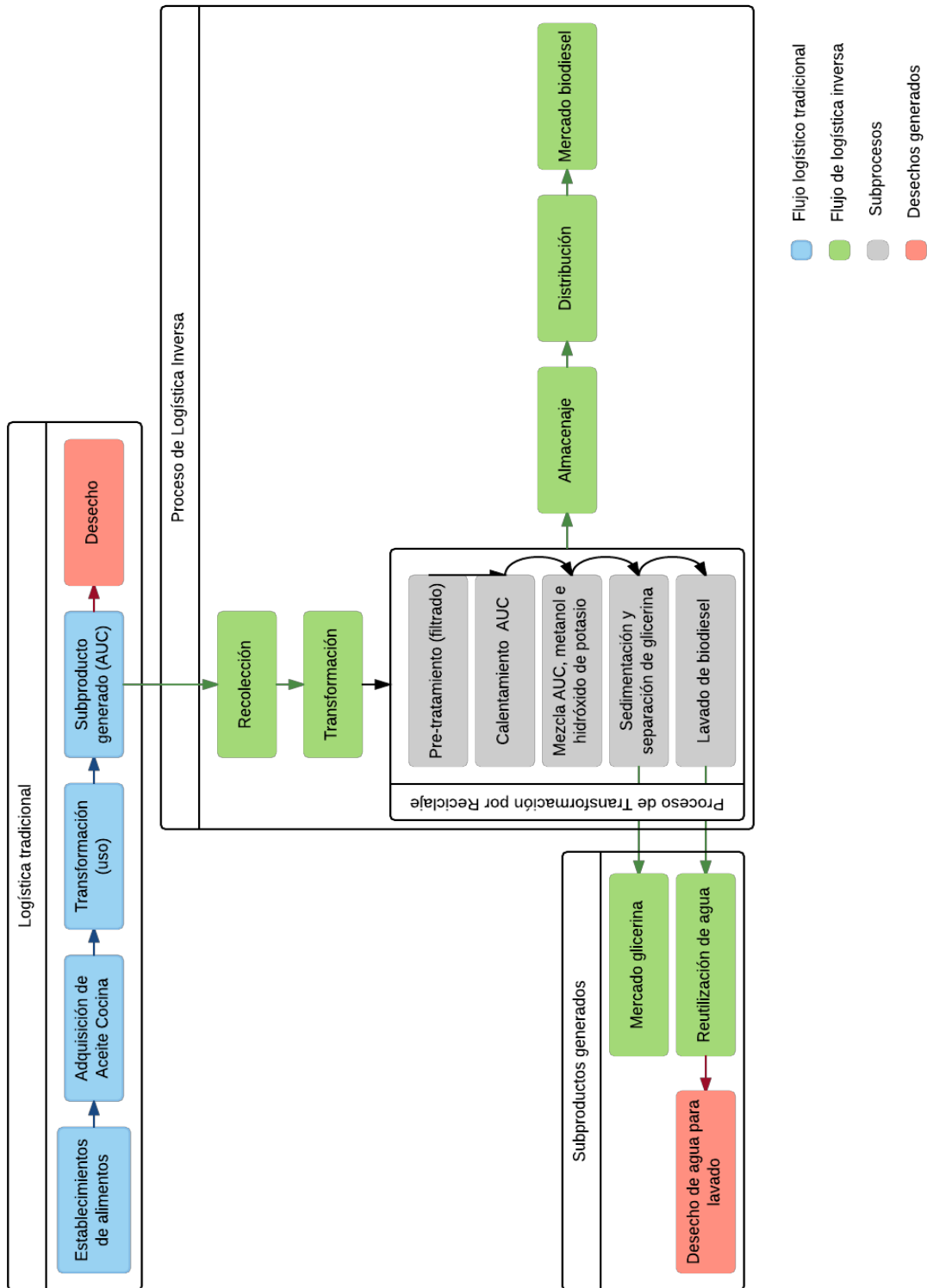
Por otro lado, el criterio se refiere a la comparación de resultados con otros estudios similares, para ello se recurrió al estado del arte, donde diversas investigaciones convergen en la factibilidad de esta propuesta e incluso dan a conocer la existencia de un área de oportunidad interesante para su región. Por último, el constructo se refiere a la aplicación del concepto teórico en la realidad que refleja el modelo, para ello se analizó el comportamiento de los diversos elementos del mismo y la forma en que éstos interactúan entre sí, por lo que al generar las mejoras necesarias se obtuvo el modelo mostrado en el Diagrama 4.3.

#### *4.2.1 Descripción del modelo*

Inicialmente se plantean los elementos finales de la cadena logística tradicional del aceite de cocina, desde que los establecimientos lo adquieren hasta que es considerado un desecho, para ello el aceite de cocina es usado en la preparación de alimentos y, de acuerdo a los resultados del instrumento, es reutilizado varias veces antes de ser desechado mediante el desagüe o tirándolo al campo, lo que genera problemas de contaminación de mantos acuíferos y del subsuelo, además genera lixiviados cuando es tirado en los rellenos sanitarios.

Es por ello, que el proceso de logística inversa debe iniciar antes de que el AUC sea desechado, evitando así los problemas ambientales que propicia, por lo cual es necesario establecer un sistema de recolección eficiente, que cuide el consumo de combustibles en los recorridos y que además tenga la capacidad para transportar de manera segura el AUC hasta el centro de recolección, mismo que funciona como planta de transformación y en la cual ocurren los procesos químicos y de almacenaje.

Diagrama 4.3 Modelo de logística inversa para la recolección del AUC y generación de biocombustibles.



Fuente: Lucidchart con información propia

De esta forma, al iniciar el proceso de transformación se busca generar un producto diferente a base de un subproducto, lo que Monroy (2006) identifica como un proceso de LI, pues al terminar se atenderá un mercado completamente diferente del original. Para llegar a ello, el AUC debe pasar por un proceso químico llamado transesterificación, que lo transformará en un biocombustible y una vez que sea purificado, será capaz de ser utilizado en automóviles o maquinaria con motor de diesel, como consumidores finales. Por otro lado, el proceso de transesterificación y purificación generará dos subproductos, glicerina y agua con impurezas, el primero puede ser vendido para la elaboración de jabones y detergentes a diversas empresas en nuestro país, mientras que el segundo puede ser recuperado por empresas dedicadas a la recolección de desechos industriales para su tratamiento y purificación, para después poder ser utilizado en otros procesos. En consecuencia, el impacto del modelo es mayor que el inicialmente planteado, al atender dos mercados diferentes y además tener un plan para el manejo de los residuos generados, aspectos que se han considerado fundamentales en este desarrollo, además de los costos de implementación, como son el costo de las rutas de recolección, las calderas y algunos insumos necesarios para el proceso de transformación, mismos que se muestran en el Anexo B.

Por otro lado, este modelo se caracteriza por tener:

- a) Claridad, al representar de manera sencilla e intuitiva los procesos que ocurren para que el aceite de cocina se convierta en biodiesel;
- b) Transferibilidad, ya que puede adaptarse a cambios situacionales como la región y la cantidad de AUC desechado en ellas, además el proceso puede adaptarse a las diferentes temperaturas en que sea realizado o incluso de acuerdo a la calidad del AUC recolectado como materia prima;
- c) Dependencia, al estar basado en estudios previos que demuestran que un modelo como éste es factible, pues tanto el proceso de recolección han sido realizados en diversas partes del mundo, sentando precedentes que sirven como modelos para otras naciones.

#### *4.2.2 Resultados esperados*

A través de la aplicación de este modelo de logística inversa se espera, en primera instancia, minimizar los efectos negativos que el desecho indiscriminado del AUC tiene en los mantos acuíferos de la entidad y, en consecuencia, reducir esfuerzos en el tratamiento de aguas residuales; de igual forma, se espera disminuir el deterioro del suelo que causa el AUC al ser arrojado a éste y además mermar la generación de lixiviados en los rellenos sanitarios.

Por otra parte, se busca que la aplicación de este modelo genere un biocombustible que cubra las necesidades de un mercado incipiente en nuestro país o que incluso pueda tener la calidad necesaria para ser exportado a diversas partes del mundo. Asimismo, se pretende que el subproducto generado por la transformación del AUC en biodiesel, glicerina, sea llevado a un segundo mercado, ampliando así el impacto que este modelo pueda tener.

Finalmente, este modelo ambiciona mejorar el panorama económico de la región al reducir costos en el tratamiento de aguas residuales y al crear empleos que permitan aumentar la calidad de vida de las familias tlaxcaltecas.

## Capítulo 5: Conclusiones

Esta investigación toma forma a partir de su objetivo general, que es el diseño de un modelo de logística inversa que gestione el Aceite Usado de Cocina (AUC) para transformarlo en biodiesel y en un futuro, evitar que su desecho indiscriminado impacte negativamente en el medio ambiente.

En este sentido, se debe recordar que a pesar de que nuestro país cuenta con varias iniciativas para recolectar y transformar este desecho, en el Estado no existen programas de recuperación de éste, a pesar del grave problema de contaminación que tienen los cuerpos acuíferos en la región.

Es por ello que la gestión de este desecho es de gran importancia y en esta investigación es tratado mediante un enfoque de logística inversa que pretende funcionar como un agente externo a la cadena productiva del aceite de cocina para recuperarlo, transformarlo y cubrir las necesidades de un mercado totalmente diferente al del producto original, correspondiendo a uno de los 4 tipos de cadenas de suministro posibles en un proceso de logística inversa.

Teniendo esto en cuenta, se generó un modelo de logística inversa que se compone de tres elementos principales: la cadena logística tradicional, donde se observa de qué manera se genera el subproducto del aceite de cocina una vez que es utilizado; el proceso de logística inversa, que incluye la recuperación del AUC, su transformación en biodiesel y llega hasta la atención de un mercado totalmente diferente al del producto original; y por último la generación de subproductos a través de este proceso de transformación, mismos que son tratados de forma que su impacto en el medio ambiente sea minimizado.

De esta forma, el modelo generado ha sido diseñado para replicarse en diversos municipios del Estado o incluso en otras entidades federativas, siendo lo suficientemente flexible para adaptarse a diversas condiciones. Una vez aplicado este modelo se espera lograr una reducción de los problemas de contaminación en cuerpos fluviales, así como en la generación de lixiviados en los campos y rellenos sanitarios, mejorando la calidad del suelo.

En términos de los objetivos específicos de la investigación, se logró realizar un diagnóstico actual del desecho del AUC en los municipios de Apizaco, Chiautempan y Tlaxcala, donde se identificaron 3 formas principales para la disposición de este desecho, que son mediante el desagüe, verterlo en el campo y en la basura, que pueden causar situaciones medioambientales como la contaminación de ríos y mantos acuíferos, pues un litro de aceite de cocina contamina hasta 1,000 l. de agua, también pueden tapar tuberías y generar inundaciones, malos olores y propiciar plagas como ratas, todo esto incrementa el costo de mantenimiento de las tuberías y de las operaciones de las plantas tratadoras de agua. Por otro lado, cuando el AUC es vertido al campo o depositado en la basura, puede generar lixiviados al combinarse con otras sustancias y mermar la calidad del suelo, así como expedir gases dañinos al medio ambiente.

De igual forma, se encontró que la cantidad de AUC disponible para recolectar por los 3 municipios es de 818 L mensuales únicamente de los 235 establecimientos de la muestra que se encontraron interesados en participar en un programa de recuperación de AUC, misma cantidad que puede ser transformada en biocombustible, dado que la razón de litros de AUC a litros de biodiesel es de 1:1. También se desarrolló un sistema de recolección basado en la ubicación de los establecimientos en el mapa de los municipios, mismos que serán visitados por un vehículo recolector con bajas emisiones de CO<sub>2</sub> para después llevar el subproducto a un Centro de Recolección ubicado en el municipio de Chiautempan, donde será transformado en biodiesel, mediante un proceso químico descrito en un diagrama SIPOC conocido como transesterificación, que mezcla el AUC libre de partículas sólidas con metanol y cloro a 50°C en promedio para obtener el biocombustible, cumpliendo con el enfoque de reciclaje de la logística inversa.

Finalmente se concluye que el objetivo de la investigación inicialmente planteado ha sido alcanzado a través de la generación de este modelo, que goza de claridad y transferibilidad al poder ser aplicado en diferentes ubicaciones, y dependencia al estar basado en estudios previos.

## **5.1 Recomendaciones**

- Realizar la recolección en vehículos que tengan bajas emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, para ser coherentes con el fin del modelo, que es disminuir el daño al medio ambiente.
- Cuidar que el proceso de transformación sea llevado a cabo de manera correcta, ya que la calidad del biodiesel depende de todas y cada una de las fases.
- Vigilar que el agua utilizada para el proceso de lavado del biodiesel sea reutilizada una vez que haya pasado por los filtros de partículas pertinentes.
- Asegurarse que el agua desechada sea recuperada por una empresa dedicada a la recolección y tratamiento de desechos industriales, para minimizar el impacto que genere su disposición.
- Almacenar el biodiesel a temperatura ambiente para evitar que sus características se vean afectadas por el frío o calor extremo.

## **5.2 Trabajos futuros**

- Cuantificar el impacto ambiental de la recolección y transformación de AUC en biodiesel
- Estudio de las propiedades de biodiesel a base de AUC
- Plan de comercialización de biodiesel y sus subproductos
- Plan de exportación de biodiesel y sus subproductos
- Diseño de instalaciones y plan maestro de producción para la producción de biodiesel a partir de AUC
- Efectos económicos de la generación de biodiesel a partir de AUC
- Apertura de la recuperación a hogares y otros productores de AUC

## Fuentes de información

- Alonso-Torres, C. (2014). Orientaciones para implementar una gestión basada en procesos. *Ingeniería Industrial*, 35(2), 159-171. Retrieved from Google Scholar
- Bhatia, R., & Wernham, A. (2008). Integrating human health into environmental impact assessment: An unrealized opportunity for environmental health and justice. *Environmental Health Perspectives*, 116(8), 991-1000. doi:10.1289/ehp.11113
- Blankendaal, T., Schuur, P., & Voordijk, H. (2014). Reducing the environmental impact of concrete and asphalt: A scenario approach. *Journal of Cleaner Production*, 66, 27-36.
- Camps Michelena, M., & Marcos Martín, F. (2008). *Los biocombustibles*. Madrid: Mundi-Prensa. doi:978848476360
- Castillo, E., Conejo, A. J., Pedregal, P., García, R., & Alguacil, N. (2002). Formulación y resolución de modelos de programación matemática en ingeniería y ciencia. Retrieved from Google Scholar
- CRUZ-RIVERA, R., & ERTEL, J. (2010). Propuesta de configuración de redes de recolección de autos al final de su vida útil en México. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 26(2), 135-149.
- Deba, A. A., Tijani, H. I., Galadima, A. I., Mienda, B. S., Deba, F. A., & Zargoun, L. M. (2014). Waste cooking oil: A resourceful waste for lipase catalysed biodiesel production. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 164.
- Díaz, A., Álvarez, M. J., & González, P. (2004). Logística inversa y medio ambiente. *Editorial: McGraw-Hill Interamericana De España*.
- Directorio Estratégico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). (2015). Consultado en internet en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx>
- Filhoa, S. C. S., Silvaa, T. A., Mirandaa, A. C., Fernandes, M. P., Felício, H. H., Calargeb, F. A., . . . Tambourgic, E. B. (2014). The potential of biodiesel production from frying oil used in the restaurants of São Paulo city, Brazil. *CHEMICAL ENGINEERING*, 37. doi:10.3303/CET143709
- Gashaw, A., & Teshita, A. (n.d.). Production of biodiesel from waste cooking oil and factors affecting its formation: A review. doi:2326-972
- Genchev, S. E., Landry, T. D., Daugherty, P. J., & Roath, A. S. (2010). Developing reverse logistics programs: A resource based view. *Journal of Transportation Management*, 21(1), 7.
- Iglesias, C. M. C., Hernández, M. A. C., Chaviano, K. N., & Fonseca, R. Z. (2012). Los procedimientos de un sistema de gestión de información: Un estudio de caso de la universidad de Cienfuegos. *Biblios: Journal of Librarianship and Information Science*, (46), 40-50. Retrieved from Google Scholar
- Institute, W. (2007). *Biofuels for transport : Global potential and implications for sustainable energy and agriculture*. London ; Sterling, VA: Earthscan. Retrieved from Library of Congress or OCLC Worldcat



- Izquierdo, I. T. B. (2009). Impacto ambiental en el medio marino: El caso de la reserva marina de la isla de la palma. *Revista De Estudios Generales De La Isla De La Palma*, (4), 111-126.
- Jiménez, M., & María, J. (2015). EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP). FUNDAMENTOS, METODOLOGÍA Y APLICACIONES. Retrieved from Google Scholar
- Li, Y., Horsman, M., Wu, N., Lan, C. Q., & Dubois-Calero, N. (2008). Biofuels from microalgae. *Biotechnology Progress*, 24(4), 815-820.
- Manahan, S. E. (1999). *Industrial ecology : Environmental chemistry and hazardous waste*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers. Retrieved from Library of Congress or OCLC Worldcat
- Mbohwa, C., & Mudiwakure, A. (2013). The status of used vegetable oil (UVO) biodiesel production in south africa. In
- Monroy, N. (2006). *Logística reversa: "Retos para la ingeniería industrial"*
- Morais, S., Mata, T. M., Martins, A. A., Pinto, G. A., & Costa, C. A. (2010). Simulation and life cycle assessment of process design alternatives for biodiesel production from waste vegetable oils. *Journal of Cleaner Production*, 18(13), 1251-1259.
- Mousdale, D. M. (2008). *Biofuels: Biotechnology, chemistry, and sustainable development*. CRC press.
- Peiró, L. T., Lombardi, L., Méndez, G. V., & i Durany, X. G. (2010). Life cycle assessment (LCA) and exergetic life cycle assessment (ELCA) of the production of biodiesel from used cooking oil (UCO). *Energy*, 35(2), 889-893.
- Peiró, L. T., Lombardi, L., Méndez, G. V., & i Durany, X. G. (2010). Life cycle assessment (LCA) and exergetic life cycle assessment (ELCA) of the production of biodiesel from used cooking oil (UCO). *Energy*, 35(2), 889-893.
- Pérez, J. Y. (n.d.). El problema del cartero chino. Retrieved from Google Scholar
- Phan, A. N., & Phan, T. M. (2008). Biodiesel production from waste cooking oils. *Fuel*, 87(17), 3490-3496.
- Scragg, S. A. (2005). *Biocnología medioambiental* (2 ed.). España: Pearson. (Original work published 1999)
- Somuyiwa, A. O., & Adebayo, I. T. (2014). Empirical study of the effect of reverse logistics objectives on economic performance of food and beverages companies in nigeria. *International Review of Management and Business Research*, 3(3), 1484.
- Soto, J. P., Ramalinho, H., Universitat, P. P., & Departament, D. I. (2006). *Reverse logistics : Models and applications*. Barcelona: Universitat Pompeu Fabra. doi:84-689-6893-
- Tilman, D., Socolow, R., Foley, J. A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., . . . Williams, R. (2009). Energy. Beneficial biofuels--the food, energy, and environment trilemma. *Science (New York, N.Y.)*, 325(5938), 270-1. doi:10.1126/science.1177970

Wei, X., Chang, X., & An, Y. (2015). Analysis of petroleum enterprise reverse logistics risk factors. *Journal of Applied Science and Engineering Innovation Vol, 2(1)*. .

Wong, Y. C., & Devi, S. (2014). Biodiesel production from used cooking oil. *Oriental Journal of Chemistry, 30(2)*, 521-528.

## Anexos

### Anexo A: Instrumento de medición

#### Cuestionario

*El presente cuestionario es realizado con la finalidad de determinar la cantidad de aceite usado de cocina generado por los establecimientos de preparación de alimentos de ciertas localidades del estado, con el propósito de generar una propuesta de recolección que mitigue sus efectos en el medio ambiente.*

Instrucciones: Lea con atención las preguntas, marque con una X la respuesta apropiada e indique en el mapa la ubicación del establecimiento.

- a. Número de empleados: 0-2\_\_ 3-5\_\_ 6-10\_\_ más de 10\_\_
1. Cuántos litros de aceite de cocina ocupa su negocio a la semana? \_\_\_\_\_
  2. Cuántos litros de aceite de cocina desecha a la semana? \_\_\_\_\_
  3. De qué forma se deshace del Aceite Usado de Cocina que genera?  
Por el desagüe\_\_ Lo tira al campo\_\_ Lo tira a la basura\_\_ Otras\_\_
  4. Conoce las trampas de grasa para las tuberías? Si\_\_ No\_\_
  5. Utiliza trampas de grasa para las tuberías? Si\_\_ No\_\_
  6. Conoce los efectos causados por el Aceite Usado de Cocina en el ambiente?  
Si\_\_ No\_\_
  7. Estaría dispuesto a participar en un programa de recolección de Aceite Usado de Cocina?  
Si\_\_ (pase a la pregunta 9) No\_\_ (Dar por terminada la encuesta)
  8. Preferiría que se le otorgara un Garrafón por negocio o llevar el Aceite Usado de Cocina que genere a un centro de acopio en la zona?  
Garrafón\_\_ Centro de Acopio\_\_

## Anexo B: Estimación de costos de implementación

En la Tabla B1 se presenta el costo de cada ruta, en términos de distancia y rendimiento del vehículo recuperador, así como su transporte de y hacia el Centro de Acopio, ubicado en la ciudad de Chiautempan, considerando el costo de la gasolina en \$13.16 por litro.

Tabla B1 Costos por ruteo

<b>Ruta</b>	<b>Distancia interna (km)</b>	<b>Distancia al centro de recolección (km)</b>	<b>Cto. ruta interna</b>	<b>Cto. al centro de recuperación</b>	<b>Costo recorrido total</b>
Apizaco	7.9	17.2	\$3.47	\$7.55	\$11.01
Chiautempan	4.7	0	\$2.06	\$0.00	\$2.06
Tlaxcala	4.7	13.8	\$2.06	\$6.05	\$8.12
					<b>\$21.19</b>

Fuente: Elaboración propia

Los costos relacionados con la maquinaria para poner en marcha esta iniciativa se describen en la Tabla B2.

Tabla B2 Costos de maquinaria y herramientas

Equipo	Costo inicial
Vehículo	\$ 29,800.00
Caldera	\$ 20,000.00
Tina	\$ 3,000.00
Total	\$ 52,800.00

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar se muestran los costos de maquinaria y herramientas (Tabla B2), donde se observa que la compra de un vehículo compacto tiene un costo aproximado de \$29, 800 con

características como un rendimiento de 30 km/l, capacidad de carga de 600 kg y con batea y góndola abatible. Después, es necesario contar con una caldera de 500 L de capacidad, que cuente con un dispositivo que permita el vaciado, con un costo aproximado de \$20,000. Finalmente, se requieren 2 tinajas de almacenaje con una capacidad 300 L y con un costo aproximado de \$3,000.

En la Tabla B3 se observan los costos de los insumos necesarios para el proceso de transformación, que incluye gas, metanol, cloro y agua, con el propósito de obtener la mejor calidad del biodiesel.

Tabla B3 Costos de insumos mensuales

<b>Nombre</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo</b>
Gas*	litros	\$7.80
Metanol	litros	\$3,530.50
Cloro	litros	\$49.77
Agua	bimestral	\$390
		<b>\$816.80</b>

\*El consumo de gas no se puede estimar con la información actual

Fuente: Elaboración propia