



Universidad Autónoma de Baja California

Instituto de Ingeniería

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA
(MYDCI)

Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería

“DISEÑO DE UN SISTEMA LOGÍSTICO PARA LA RECUPERACIÓN DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL”

PRESENTA

Msc. Lisandra Quintana Álvarez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega

CODIRECTORA DE TESIS

Dra. Gisela Montero Alpírez

Mexicali, Baja California

Diciembre, 2022

Agradecimientos

A mis padres

Que son la fortaleza de mi vida, que me han hecho la persona que soy, que no me exigen nada y me lo dan todo.

A mi familia

Abuelos René y Manolo que desde el cielo cuidan y guían mis pasos.

Mi hermano Baby, por tanto, cariño y buenos momentos.

Mi hermana Grey, la mejor elección que he hecho en mi vida, gracias por la paciencia y apoyo incondicional.

Mi cuñado Hermes, por todo el apoyo en estos 4 años lejos de casa.

Nani por su cariño de madre, los buenos consejos, siempre estarás en mi corazón.

Dra. Martha Gómez, mi ejemplo y mentora desde que comencé mi trayectoria profesional.

A los más nuevos pero muy importantes

Dr. Marcos Coronado, mi director de tesis, gracias por darme la oportunidad, por guiar este proyecto con sus observaciones oportunas, por sus consejos y paciencia.

Dra. Gisela Montero, mi codirectora de tesis, gracias por apoyar y guiar este proyecto.

Dr. Ramón Ayala, mi asesor, siempre con sus observaciones tan oportunas y aceptadas, gracias por estar ahí cuando te he necesitado.

Mis amigos Sandra, Francia, Orlando, Arturo y Rodrigo su amistad me ha dado la fortaleza para sentir a Mexicali como mi otra casa.

Compañeros del Laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos Carlos Sagaste, Ricardo Torres, Jesús Armenta, Iracema Valenzuela, Edson Armenta y en especial a Daniela Montes por toda la ayuda y el apoyo.

Instituto de Ingeniería y a CONACYT por el apoyo para desarrollar este proyecto.

CONTENIDO

Capítulo I: Introducción	1
Planteamiento del problema.....	2
Justificación.....	2
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	4
Capítulo II: Marco teórico	5
2.1. La logística.....	5
2.2. Sistemas logísticos.....	5
2.3. Logística inversa.....	7
2.4. Sistemas de logística de recuperación.....	9
2.5. Análisis del marco legal y regulatorio referente a la gestión de residuos en México.....	20
2.6. Aceite vegetal residual.....	23
2.7. Encuesta como herramienta para adquisición de información.....	26
Capítulo III: Metodología	29
3.1. Análisis de factores externos.....	30
3.2. Primera Etapa. Caracterización del residuo.....	35
3.3. Segunda Etapa. Identificación de las fuentes de generación.....	36
3.4. Tercera Etapa. Estrategias para la recolección.....	43
3.5. Cuarta etapa. Modelo de optimización.....	46
3.6. Quinta etapa: Rutas de recolección.....	49
3.7. Sexta Fase. Medición de impacto.....	56
Capítulo IV: Resultados	59
4.1. Generación de aceite vegetal residual en Mexicali.....	59
4.2. Aplicación del modelo de optimización.....	67
4.3. Comparación del SR-Actual con el SLR-AVR.....	78
4.4. Evaluación ambiental.....	80
Conclusiones	83
Referencias	85
Anexos	98

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de la logística inversa.....	9
Tabla 2. Herramientas para la gestión de residuos	12
Tabla 3. Leyes, regulaciones y normas referentes a la gestión integral de residuos.	21
Tabla 4. Entidades recolectoras de aceite vegetal residual en Baja California.....	32
Tabla 5. Volúmenes de generación por tipo de establecimiento.	37
Tabla 6. Características de los sitios web para la aplicación de cuestionario online	41
Tabla 7. Clasificación de las fuentes de generación	42
Tabla 8. Premisas para la recolección de aceite vegetal residual por sector de generación	44
Tabla 9. Asignación de contenedores de acopio.....	45
Tabla 10. Variables restrictivas y de optimización.....	46
Tabla 11. Variables y parámetros que definen el VRPSPDTW	47
Tabla 12. Indicadores de gestión y medioambientales.....	57
Tabla 13. Generación de aceite vegetal residual en las Industrias procesadoras de alimentos.	60
Tabla 14. Volúmenes de generación del sector servicios proyectados a futuro.....	61
Tabla 15. Generación de aceite vegetal residual en la ciudad de Mexicali.....	66
Tabla 16. Parámetros de las rutas propuestas con el SLR-AVR.....	71
Tabla 17. Planificación actual de rutas de la empresa recolectora de AVR.....	78
Tabla 18. Resultado de las rutas obtenidas con el SLR-AVR y SR-Actual.....	79

Índice de Figuras

Figura 1. Evolución de las necesidades de la logística inversa.	8
Figura 2. Estructura del Sistema Logístico de Recuperación de Aceite Vegetal Residual (SLR-AVR).....	29
Figura 4. Densidad de viviendas habitadas en Mexicali.	39
Figura 5. Ejemplo de capas de puntos con la información de los puntos de recolección SR_200.....	50
Figura 6. Capa de vialidades (Vias_Mx_SLR).....	51
Figura 7. Centro de Acopio de AVR (CA_Mxl).	51
Figura 8. Capa de giros prohibidos (GirosP_Mxl).....	52
Figura 9. Ventana de atributos del Dataset de red.	53
Figura 10. Ventana para cargar a los puntos de recolección.....	54
Figura 11. Ventana de propiedades de los vehículos y los recorridos.....	55
Figura 12. Ventana de propiedades del Network Analyst.....	56
Figura 13. Mapa de Mexicali.	59
Figura 14. Generación de aceite vegetal residual en el sector industrial en Mexicali.	61
Figura 15. Generación de aceite vegetal residual en el sector servicios en Mexicali.....	62
Figura 16. Caracterización del consumo de aceite vegetal en Mexicali, a) Tipo de aceite vegetal que compran b) Frecuencia de compra, c) Volumen de compra, d) Formato de compra.....	64
Figura 17. Formas en las que se desecha el aceite vegetal residual en las viviendas de Mexicali.....	65
Figura 18. Generación de AVR en el sector residencial en Mexicali.	67
Figura 19. Puntos de recolección de aceite vegetal residual que pertenecen al sector industrial.	68
Figura 20. Puntos de recolección de aceite vegetal residual que pertenecen al sector servicios.....	69
Figura 21. Puntos de recolección de aceite vegetal residual que pertenecen al sector residencial.	70
Figura 22. Asignación de viviendas habitadas a puntos de recolección del sector residencial.	71
Figura 23. Sistema de rutas de recolección de AVR para el sector industrial.....	74
Figura 24. Sistema de rutas de recolección de AVR para el sector residencial.	75
Figura 25. Sistema de rutas de recolección de AVR para el sector servicios.	76

Figura 26. Hoja de indicaciones para la ejecución de una ruta.	77
Figura 27. Cantidad de AVR no recuperado, a) Volumen de AVR no recolectado con el SR-Actual, b) Volumen de AVR no recolectado con el SLR-AVR.....	81

Resumen

La recuperación de aceite vegetal residual es un problema complejo por la variedad de las fuentes que lo generan. Los sistemas de recolección que existen no logran recolectar todo el aceite vegetal residual que se genera. El sistema de recolección debe resolver dos problemas: identificar la ubicación tanto de los puntos de recolección como el centro de acopio y el diseño de rutas que garanticen la optimización de los recursos. Es por ello por lo que el objetivo del presente trabajo fue desarrollar un sistema logístico para la recuperación de aceite vegetal residual mediante un sistema de información geográfica que integre las fuentes de generación en Mexicali B.C. El sistema integra todas las fuentes de generación de aceite vegetal residual clasificadas en 3 sectores: industrial, de servicios y residencial y optimiza las rutas de recolección. El problema se modeló como un VRPSPDTW y se solucionó utilizando la herramienta Network Analyst de ArcGIS. El sistema desarrollado se comparó con el sistema de recolección que opera actualmente en Mexicali. La propuesta aumenta el volumen de aceite vegetal residual recolectado en un 87%. Disminuye el consumo de combustible por ruta en un 63% y mejora la utilización de la capacidad de transportación en un 93%. También, disminuye el costo de transportación en un 73%. Se reduce en un 78% la contaminación del agua y en un 14% las emisiones de CO_{2e} por ruta. El sistema logístico de recolección de aceite vegetal residual propuesto puede implementarse en cualquier ciudad, ya que se adapta a sus necesidades y características.

Abstract

The waste vegetable oil recovery is a complex problem due to the variety of sources that generate it. The collection systems that exist are not able to collect all the waste vegetable oil. The collection system must solve two problems: identify the location of both the collection points and the collection center and the design of routes that guarantee the optimization of resources. Therefore, the objective of this work was to develop a logistics system for the recovery of waste vegetable oil through a geographic information system that integrates the generation sources in Mexicali B.C. The system integrates all sources of residual vegetable oil generation classified into 3 sectors: industrial, service, and residential, and optimizes collection routes. The problem was modeled as a VRPSPDTW and solved using the ArcGIS Network Analyst Tool. The developed system was compared with the collection system currently operating in Mexicali. The proposal increases the volume of waste vegetable oil collected by 87%. It decreases fuel consumption per route by 63% and improves transportation capacity utilization by 93%. Also, it reduces the cost of transportation by 73%. Water pollution is reduced by 78% and CO_{2e} emissions per route by 14%. The proposed waste vegetable oil collection logistics system can be implemented in any city since it adapts to its needs and characteristics.

1 **Capítulo I: Introducción**

2 El aceite vegetal residual (AVR) es el aceite vegetal que ha sufrido alteraciones en
3 sus propiedades físicas-químicas debido a su uso continuo o discontinuo en el
4 proceso de fritura de alimentos (Coronado et al, 2018.; Kim et al, 2021). La
5 disposición inadecuada del AVR es un problema para el ecosistema que aún no
6 logra ser resuelto en su totalidad.

7 La práctica común es desechar el AVR en la red de alcantarillado sanitario,
8 directamente al suelo o con el resto de los residuos sólidos. Por su elevada carga
9 de contaminantes provoca la erosión de los suelos (Luis and Farbán, 2013) y la
10 contaminación del agual en proporción 1:40,000 (González and González, 2015). El
11 AVR que termina en la red de alcantarillado al mezclarse con el resto de los residuos
12 crea una especie de masa engomada que provoca taponamiento en la red. Esto
13 provoca que se eleven los costos de mantenimiento del sistema de drenaje y del
14 proceso de depuración de aguas residuales.

15 Las industrias oloquímicas y bioenergética reportan un crecimiento de entre 3 y 5
16 % de la demanda de aceites vegetales, como materia prima en sus procesos de
17 producción (Ameri Reserch Ins.,2018). Si se tiene en cuenta que el AVR tiene una
18 composición similar a la de los aceites o grasas crudos, en principio, también podría
19 utilizarse como materia prima oleoquímica y sustuir la demanda de aceite crudo
20 (Orjuela and Clark, 2020; Zanivan et al., 2018). El AVR es una materia prima
21 potencial para la producción de: jabones (Félix et al.,2017), velas, lubricantes
22 (Abdulbari and Zuhán, 2018), biocombustibles (Ramos-Méndez et al, 2020),
23 bloques de construcción de plástico (Kim et al., 2021) y alcohol sólido (Xiong et al.,
24 2019). Actualmente se explora el uso de AVR en la producción de metabolitos de
25 interés industrial (Lopes et al, 2019), polímeros a base de fermentación (Kamilah et
26 al.,2018) y nanocatalizadores (Sarno et al, 2019). Al ser AVR un residuo con
27 potencial para ser reutilizado en la industria química y energética, hoy existen
28 sistemas para su recolección y valorización.

29

30 **Planteamiento del problema**

31 Los sistemas de recolección de AVR que existen actualmente, no son percibidos
32 como negocios rentables por lo que solo se recolecta una parte del AVR que se
33 genera. En México no existen estudios para estimar la generación anual de AVR a
34 nivel nacional. Solo en ciudades como Monterrey, Guadalajara, Mexicali, Tuxtla
35 Gutiérrez y la Ciudad de México se ha caracterizado la generación de AVR y en
36 algunos casos se ha identificado su potencial para la producción de biodiesel.
37 Existen 5 empresas líderes en el mercado de recolección y reutilización de AVR.
38 Estas empresas tienen presencia en 10 de los 32 estados de la república, pero solo
39 reciben AVR de los restaurantes, supermercados o industrias procesadoras de
40 alimentos. La recolección del AVR en el sector doméstico es inexistente.

41 La recolección de AVR es un problema complejo por la cantidad y variedad de las
42 fuentes que lo generan y lo dispersa que puede ser su ubicación en una zona
43 geográfica. Estos sistemas tienen que resolver dos problemas simultáneamente,
44 determinar las rutas que realizarán los vehículos para recuperar el residuo y la
45 ubicación de los centros de acopio donde se almacenará o se valorizará (Bottani et
46 al., 2019). En la etapa de recolección, transporte y almacenamiento es donde se
47 producen las mayores pérdidas del sistema (Ramos et al, 2013). Es por ello que
48 algunos autores afirman que el inadecuado servicio de recolección representa una
49 debilidad para la valorización y el aprovechamiento del AVR (Hussian et al., 2016;
50 Peiró et al., 2008; Singh-Akbarali et al., 2017; Zhang et al., 2012).

51 **Justificación**

52 La optimización de los procesos de recolección de AVR es una oportunidad para el
53 desarrollo de investigaciones que permitan la revalorización total del AVR. El
54 objetivo de este trabajo fue desarrollar un sistema logístico para la recolección de
55 AVR en la ciudad de Mexicali. El sistema integra todas las fuentes de generación de
56 aceite vegetal residual clasificadas en 3 sectores: industrial, de servicio y residencial
57 y optimiza las rutas de recolección.

58 Mexicali se ubica al norte del país y figura entre las ciudades más contaminadas de
59 México, siendo la contaminación del aire, agua y suelos los problemas más graves.
60 La recolección de AVR es liderada por una empresa privada que solo recolecta el
61 AVR que generan restaurantes, cafeterías, mercados, comedores industriales e
62 industrias procesadoras de alimentos de la región. Cuentan con una planta de
63 tratamiento de AVR, donde una parte se convierte a biodiesel para autoconsumo y
64 la otra se comercializa para alimento animal. El proceso de recolección que realiza
65 la empresa está basado en rutas fijas diseñadas de forma empírica, cuentan con 5
66 vehículos propios, tienen actualmente en su cartera 450 clientes, a los cuales le
67 proporcionan los contenedores para recolectar el AVR. La empresa quiere expandir
68 su cartera de clientes, pero no ha logrado trazar una estrategia factible para ello,
69 porque no ha estimado el volumen de AVR que se genera en el sector residencial
70 de la ciudad.

71 **Objetivo general**

72 Desarrollar un sistema logístico para la recuperación de AVR mediante un sistema
73 de información geográfica que integre las fuentes de generación en Mexicali B.C.

74 **Objetivos específicos**

- 75 • Analizar metodologías y procedimientos para el diseño de sistemas logísticos
76 de recuperación de AVR.
- 77 • Caracterizar la situación actual de la generación AVR en Mexicali.
- 78 • Clasificar fuentes de generación de AVR.
- 79 • Definir la estrategia de recuperación de AVR en Mexicali.
- 80 • Diseñar el modelo de optimización del sistema logístico de recolección de
81 AVR.
- 82 • Obtener las rutas de recolección de AVR en Mexicali.
- 83 • Evaluar los indicadores ambientales y logísticos del sistema de recolección
84 de AVR en Mexicali.

85 **Hipótesis**

86 Es posible desarrollar una estrategia de recuperación de aceite vegetal residual
87 generado en el sector industrial, de servicios y residencial en Mexicali mediante la
88 creación de un sistema logístico de recuperación.

89

90 **Capítulo II: Marco teórico**

91 **2.1. La logística**

92 La logística es el conjunto de acciones dirigidas a garantizar las actividades de
93 diseño y dirección de los flujos financieros, materiales e informativos, desde sus
94 fuentes de origen hasta sus destinos finales. Las acciones deben ejecutarse de
95 forma racional y coordinada con el objetivo de proveer al cliente los productos y
96 servicios en la cantidad, calidad, plazos, costos, lugar y con la información
97 demanda, con elevada competitividad y garantizando la preservación del medio
98 ambiente (Acevedo & Gómez, 2010; Ballou, 2004). La logística no debe verse
99 como una función aislada, sino como un sistema que permita sincronizarlas,
100 logrando un flujo que es capaz de responder a una demanda cambiante y cada
101 vez más exigente.

102 **2.2. Sistemas logísticos**

103 Los Sistemas Logísticos (SL) tienen la misión de crear el valor asociado al tiempo
104 y lugar en que debe encontrarse el producto para el cliente, expresada
105 generalmente como: asegurar el material o producto especificado y requerido, en
106 el lugar debido y en el momento oportuno, con el mínimo costo (Artún-Callaba,
107 2004).

108 Por otra parte, según (Acevedo, 2008) se conceptualiza al SL como aquella red de
109 procesos que son gestionados en su interacción y que pueden ser parte de una
110 Red de Valor. Para garantizar una elevada eficiencia se requiere gestionar el SL
111 ya que ello condiciona que los procesos puedan desempeñarse con eficiencia. En
112 2014, agregó que es el conjunto de procesos y actividades (de una o varias
113 entidades) que se integran, coordinan y sincronizan para satisfacer con un servicio
114 a los clientes, asegurándolo en cantidad, calidad, tiempo, lugar, costo y variedad
115 demandados (Acevedo, 2014).

116 El sistema logístico no es sólo una cadena de procesos materiales, si no también
117 un conjunto de procesos de gestión donde interactúan los flujos materiales,

118 financieros e informativos. Los 3 tipos de flujos interactúan entre sí y se desarrollan
119 en determinada dirección.

120 ✓ **Flujo material:** Es la secuencia de actividades que en conjunto se encargan
121 de transformar las entradas que aportan los proveedores (internos o
122 externos) en las salidas que se entregan a los clientes (internos o externos).
123 Esta transformación se le realiza al producto o servicios en términos de
124 características, funcionalidad, fiabilidad, tiempo, lugar y facilidades de uso.
125 A su vez, esta transformación está asociada a una agregación de costos a
126 lo largo de la cadena de actividades que se realizan en el proceso (Acevedo,
127 2016).

128 ✓ **Flujo financiero-monetario:** Es la secuencia de actividades de movimiento
129 de valores, ya sea dinero físico, dinero electrónico o documentos que
130 reflejan dichos valores, parte del cliente y termina en el proveedor como
131 compensación de los valores que se mueven en el flujo material (Urquiaga,
132 2007).

133 ✓ **Flujo Informativo:** Surge por la interacción de los procesos de dirección,
134 donde los mismos coordinan todas las partes del flujo material en un proceso
135 único y a este con el flujo financiero-monetario. Surge de los procesos de
136 planificación o previsión del flujo, es decir, se parte de qué resultado se desea
137 del flujo material y se va definiendo en forma regresiva lo que debe ejecutarse
138 en cada momento y en cada lugar para asegurar el curso armónico del flujo
139 material hasta obtener el resultado deseado. La otra parte del flujo
140 informativo es en paralelo al material: es todo el flujo informativo que surge
141 de los procesos de mando que tienen que ver con la conducción y control de
142 la ejecución de los flujos material y financiero-monetario (Gonzáles, 2016).

143 La coordinación de estos flujos se realiza de manera transversal en los subsistemas
144 del sistema logístico, los cuales agrupan las actividades que realizan a lo largo de
145 la cadena logística, por lo cual un sistema logístico puede subdividirse en: sistema
146 de aprovisionamiento, sistema de producción, sistema de distribución y sistema de
147 reutilización.

148 El sistema de reutilización se encarga de establecer la utilización que se le dará
149 a los productos al final del su ciclo de vida, incluyendo las devoluciones. Puede
150 contemplar entonces, actividades de transporte, almacenaje, manejo de
151 inventarios, manipulación, control de calidad, entre otras (Acevedo & Gómez, 2010).
152 Es aquí donde se maneja el término de logística inversa, el cual tiene una relación
153 directa con el subsistema de reutilización.

154 **2.3. Logística inversa**

155 Según Dekker et al., 2004 este término aparece en la literatura científica en la década
156 de los setenta, pero estaba directamente relacionado con reciclaje. En los ochenta,
157 la definición fue inspirada por el movimiento de flujo opuesto al flujo tradicional en
158 las cadenas de suministro. En los principios de los noventa, la definición formal de
159 Logística Inversa fue expuesta por el Council of Logistics Management haciendo
160 énfasis en los aspectos de recuperación de la logística inversa (Sergio et al., 2008)
161 “Es el término usado para referirse al rol de la logística en el reciclaje, disposición
162 de desechos y gestión de materiales peligrosos; una extensa perspectiva incluye
163 todo lo relacionado con actividades logísticas encargadas de la reducción, reciclaje,
164 cambio y reutilización de materiales”.

165 En la figura 1 se muestra la evolución que ha tenido la logística inversa en los últimos
166 años, donde se pueden constatar las necesidades que ha tenido el sector
167 empresarial en cada etapa.

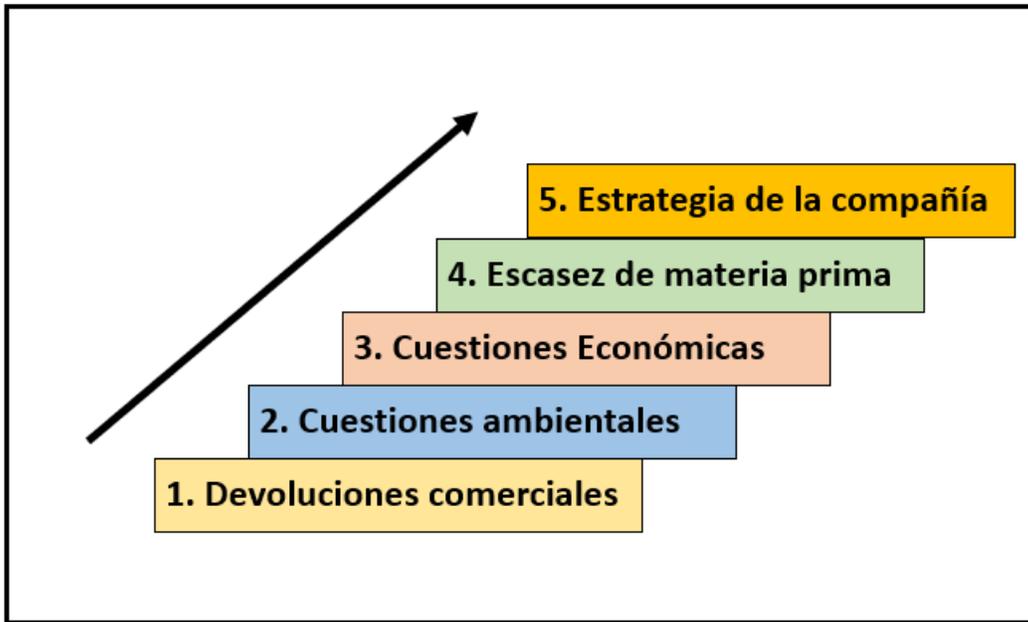


Figura 1. Evolución de las necesidades de la logística inversa.

168

169

170 Hevia en su tesis doctoral define la logística inversa como el proceso de diseño y
 171 gestión de la Cadena de Suministro Inversa para organizar, planificar, implementar,
 172 controlar y mejorar eficiente y continuamente el flujo de residuos, la información y
 173 los recursos financieros relacionados con ellos, desde el punto de consumo hacia
 174 el punto de origen, con el propósito de definir su estrategia, transitando por todos
 175 los procesos necesarios que contribuyan a la disminución de un impacto ambiental
 176 desfavorable.

177 La logística inversa, además de ser un concepto novedoso, constituye un enorme
 178 reto para el mundo empresarial, ya que está orientada a todo el flujo de productos
 179 y materiales desde el punto de consumo (cliente) hasta el punto de origen
 180 (proveedor) para darle el tratamiento adecuado a los residuos. De esta forma, es
 181 necesario integrar al Sistema Logístico inverso y los diferentes eslabones de la
 182 cadena de suministro directa, ya que no sólo se contempla al fabricante del
 183 producto, sino que se involucran el resto de los participantes de la cadena y todos
 184 los eslabones donde se generen residuos.

185 Los problemas presentados en el diseño de redes de logística inversa se han
 186 centrado principalmente en la gestión de residuos, recuperación de materiales
 187 (reciclaje), recuperación de productos o de partes (remanufactura o reuso) y

188 retornos comerciales (Pokharel, S., & Mutha, A., 2009), así como, en la
189 redistribución de los bienes recuperados o nuevos que han sido elaborados a partir
190 de los residuos.

191 Es por ello, que la logística inversa se clasifica en dos grupos: la logística de
192 devoluciones y la logística de recuperación. En la tabla 1 se muestra las
193 características y opciones de gestión de cada una de ellas.

194 Tabla 1. Clasificación de la logística inversa

	Logística de devoluciones	Logística de recuperación
Características	Conecta otras cadenas de suministro	Conecta otras cadenas de suministro
Opciones de Gestión	<ul style="list-style-type: none">• Reutilización• Eliminación• Donación	<ul style="list-style-type: none">• Reutilización• Reciclaje• Reducción

195 Tanto la logística de devoluciones como la de recuperación requiere tomar
196 decisiones a nivel estratégico y operativo (Rubio, 2003). Las decisiones de carácter
197 estratégico involucran problemas de localización de puntos de recolección de
198 residuos y plantas de tratamiento, teniendo en cuenta las capacidades de
199 procesamiento de las plantas y el almacenamiento de los puntos de recolección, el
200 costo de apertura, los costos fijos y variables asociados en el proceso, la ubicación
201 de los nuevos proyectos que utilizarán los residuos, así como la disponibilidad y
202 demanda de residuos. Las decisiones de carácter operativo se refieren a la cantidad
203 y tamaño de las instalaciones de transporte, personal involucrado, problemas de
204 enrutamiento asociado al flujo de materiales y gestión de inventario, entre otros
205 (Flórez et al., 2012).

206 **2.4. Sistemas de logística de recuperación**

207 En el diseño de Sistemas Logísticos de Recuperación (SLR) las empresas deberán
208 considerar la recuperación de residuos dentro de su plan estratégico. Deberán tener
209 en cuenta que no siempre será posible el desarrollo de un SLR propio, esta actividad
210 puede ser subcontratada. Parte de los productos que se comercializan no pueden
211 tener una recuperación económica, pero esto no quiere decir que no se tenga una
212 estrategia para que estos Productos Fuera de Uso (PFU) no afecten al medio

213 ambiente (Rubio, 2003). La recuperación económica de los PFU requiere el diseño,
214 desarrollo y control eficiente de un sistema logístico capaz de disponer del PFU y
215 conducirlo hasta el recuperador, el cual aplicará la opción de gestión más adecuada
216 para un óptimo aprovechamiento.

217 Según Rubio, 2003 existen 3 clasificaciones de los SLR:

218 1. **Redes para el reciclaje.** Suelen ser estructuras simples, con pocos eslabones
219 y centralizadas que se caracterizan por requerir un elevado volumen de inputs
220 (productos recuperados) generalmente de escaso valor unitario. Los altos costos
221 de transformación determinan la necesidad de altas tasas de utilización de estas
222 redes y la búsqueda de economías de escala.

223 2. **Redes para la refabricación de productos.** Su principal objetivo es la
224 recuperación de partes y componentes de productos con alto valor añadido. En
225 estos sistemas los fabricantes originales suelen desempeñar una labor muy
226 importante, siendo en ocasiones los únicos responsables del diseño y la gestión
227 del sistema logístico. El diseño de la red responde a una tipología multinivel, de
228 carácter descentralizado, para la que se suelen buscar sinergias con el canal
229 directo.

230 3. **Redes de productos reutilizables.** En estos sistemas los productos
231 recuperados se reintroducen en la cadena de suministro una vez realizadas las
232 necesarias operaciones de limpieza y mantenimiento. Suelen ser estructuras
233 descentralizadas por las que circulan simultáneamente productos originales y
234 reutilizados y en las que el costo de transporte aparece como el más significativo.

235 El sistema logístico de recuperación tiene como ventajas que mejora las condiciones
236 ambientales, disminuye costos de producción al usar materias primas recuperadas,
237 eficiencia en las cadenas de suministro al establecer alianzas para la recuperación
238 de sus residuos y diseño de procesos amigables con el medio ambiente. Pero
239 enfrenta barreras como resistencia al cambio ante la implementación de una nueva
240 forma de gestión y son procesos costosos.

241 Los sistemas logísticos de recuperación enfrentan varios desafíos ya que se debe
242 formar a los clientes y establecer nuevos puntos para contactar con ellos, decidir

243 qué actividades se deben subcontratar y cuáles son necesarias realizar y en
244 general, resolver cómo se pueden mantener los costos al mínimo, mientras se
245 descubren maneras innovadoras de recuperar valor que cumplan con las normas
246 medio ambientales rigurosas y que contribuyan a lograr un impacto ambiental
247 favorable y sustentable.

248 **2.4.1. Herramientas para la gestión de residuos**

249 Bajo el concepto de logística de recuperación se han diseñado sistemas que
250 permiten llevar a cabo una correcta gestión de los residuos ya sea en toda la cadena
251 de suministro o a nivel de las empresas que forman parte de sus eslabones. Estas
252 herramientas tienen como objetivo disponer del residual para que estos puedan ser
253 reutilizados en otros procesos productivos.

254 En la tabla 2 se muestra el análisis de 16 herramientas que se utilizan para la gestión
255 de la logística inversa en la recuperación de residuos. El análisis se basa en la
256 identificación de los problemas que resuelven, los elementos en los que se basa su
257 funcionamiento y a qué nivel de decisión lo hacen y los indicadores de impacto que
258 miden.

Tabla 2. Investigaciones que desarrollan herramientas para la gestión de residuos

Autores	Problema para resolver				Estrategias de recuperación			Indicadores			Tipo de residual
	Planificación y control.	Localización de instalaciones	Diseño de Redes	Costos mínimos	Reciclaje	Reducción	Recuperación	Ambiental	Económico	Social	
(Gómez et al., 2014)	Si	No	No	No	Si	Si	No	No	No	Si	Residuos sólidos hospitalarios
(Rubio, 2003)	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	General
(Chávez et al., 2013)	No	Si	No	No	Si	No	Si	Si	Si	No	Materiales de construcción y demoliciones
(Hevia, 2008)	Si	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Producto fuera de uso
(Cruz & Ertel, 2009)	No	Si	No	Si	Si	No	Si	No	Si	No	Producto fuera de uso
(Frota et al., 2008)	No	No	Si	Si	No	Si	No	Si	No	No	Devoluciones
(Dehghanian & Mansour, 2009)	No	Si	Si	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Llantas
(Sheu, & Huang, 2002)	No	Si	No	No	No	Si	No	Si	No	No	Residuos peligrosos
(Figueiredo & Mayerle, 2008)	No	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No	Llantas
(Lambert, 2004)	No	No	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	General
(Kara et al., 2007)	No	No	Si	No	Si	No	Si	No	No	No	General
(Mutha & Pokharel, 2009)	No	No	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No	General

261 Todos los modelos identifican como residuo los productos fuera de uso que se
262 generan al final de la cadena de suministro. Sólo en el 40% de las herramientas se
263 habla de algunos elementos que se deben tener en cuenta en el diseño del sistema
264 logístico de recuperación. Ninguna de las herramientas estudiadas analiza
265 integralmente los problemas y las estrategias de reutilización.

266 **2.4.2. Sistemas de recolección de aceite vegetal usado**

267 Los sistemas de recolección de AVR que existen actualmente, no son percibidos
268 como negocios rentables por lo que solo se recolecta una parte del AVR que se
269 genera. Por ejemplo, en países como Estados Unidos de América, Suecia,
270 Singapur, Australia y Nueva Zelanda recolectan el 100% del AVR que se genera
271 solo en hoteles, restaurantes y catering (Para et al., 2015). Brasil ha creado
272 sistemas para el sector doméstico con apoyo de organizaciones públicas y privadas
273 subsidiados (INDAMA). En España y Argentina se crearon empresas públicas para
274 atender la gestión de residuos que se financian con impuestos ambientales
275 aplicados a los productos de consumo (Buenos Aires ; Gobierno España; Rico,
276 2019). En Chile, Colombia, Perú y Argentina la empresa Bioils es líder en la
277 recolección de AVR pero solo en industrias y establecimientos comerciales. Aun con
278 los esfuerzos realizados solo se logra recolectar entre el 45 y 50% del AVR que se
279 genera (Orjuela & Clark, 2020).

280 A continuación, se hace una descripción de algunos de los sistemas de recolección
281 de aceite de cocina usado existentes en el mundo.

282 ***Estados Unidos de América***

283 • **Empresa Blue Ridge Biofuels en Asheville, Carolina del Norte.**

284 La recolección se realiza en colaboración con el Drenaje Metropolitano de
285 Buncombe County y Green Opportunities. Existen contenedores de reciclado a lo
286 largo de la ciudad para depositar el aceite usado. Inició en el año 2010 (Cooking Oil
287 Recycling Program, 2010)

288 • **Programa de la municipalidad con apoyo de la Agencia de Protección al 289 Ambiente Federal (EPA) en Santa Cruz, California.**

290 Es una recolección gratuita del aceite para grandes generadores (EPA).

291 ***Argentina***

- 292 • **Programa de empresa privada RBA en diversos municipios de la provincia**
293 **de Argentina.**

294 Las rutas de recolección de aceite para su conversión en biodiesel, basadas en
295 estrategias de logística para grandes generadores (RBA Ambiental).

296 ***España***

- 297 • **Recolección de aceite vegetal usado de uso doméstico en Alcalá de**
298 **Henares.**

299 La recolección del aceite doméstico se realiza a través de contenedores fijos,
300 distribuidos en todos los barrios, atendiendo a criterios de mayor concentración
301 ciudadana. Además de colocar contenedores en escuelas con el propósito de
302 educar y fomentar la importancia del cuidado del medio ambiente (Consumer)

303 ***México***

- 304 • **Recolección de aceite en diversas ciudades.**

305 Descripción: Empresas que promueven la recolección de aceite de cocina usado
306 para su transformación en biodiesel. En todos los casos es bajo recolección pactada
307 con grandes generadores (Biodiesel Moreco, Biofuels, Reoil).

308 La realidad es que la mayoría de los programas van encaminados a utilizar el AVR
309 como materia prima para la obtención de biodiesel. En casi todos se realiza una
310 recolección a nivel industrial por las altas cantidades generadas, pero en algunos
311 también está comenzando a fomentarse la recolección a nivel residencial.

312 **2.4.3. Problemas de enrutamiento de vehículos (VRP)**

313 La recolección y entrega de mercancía requieren del diseño de un sistema de
314 distribución y recuperación de mercancías de forma integrada, para optimizar la flota
315 vehicular. Por esta razón, los modelos matemáticos de problemas de enrutamiento
316 de vehículos (VRP, por sus siglas en inglés, Vehicle Routing Problem) y sus

317 variantes se convierten en herramientas para encontrar soluciones óptimas y
318 factibles.

319 Existen dos categorías: El VRP homogéneo y el VRP heterogéneo. El VRP
320 homogéneo se refiere a características comunes en las que todos los nodos (puntos
321 de generación) manejan el mismo recurso como distancia, ventanas de tiempo,
322 retornos y entregas fraccionadas. Por su parte, el VRP heterogéneo se refiere a
323 componentes desiguales en las que cada nodo maneja recursos distintos tales
324 como flota de vehículos, depósitos, viajes y componentes estocásticos en algunos
325 casos (Fernández & Allende, 2017).

326 Los VRP homogéneos se clasifican en:

- 327 • Distance Capacitated Vehicle Routing Problem (DCVRP). Su traducción es
328 problema de enrutamiento de vehículos de capacidad y distancia. Es un VRP
329 con restricciones de distancia y de capacidad.
- 330 • Vehicle Routing Problem Time Windows (VRPTW). Su traducción es
331 problema de enrutamiento de vehículos con ventanas de tiempo. Es un VRP
332 con restricciones de ventanas de tiempo, donde se asocian los clientes a
333 visitar en un espacio de tiempo determinado.
- 334 • Vehicle Routing Problem Backhauls (VRPB). Su traducción es problema de
335 enrutamiento de vehículos con retorno. Es un VRP donde los consumidores
336 pueden demandar o retornar algunas mercancías, es una versión del
337 problema de enrutamiento de vehículos con entrega y recolección (VRPPD,
338 por sus siglas en inglés, Vehicle Routing Problem Pickup and Delivery)
- 339 • Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP). Su traducción es problema
340 de enrutamiento de vehículos de entrega dividida. Es un VRP donde se
341 permite que el mismo cliente pueda ser visitado por diferentes vehículos
342 siempre que se reduzca el costo total, de no reducir el costo total el cliente
343 solo puede ser visitado una vez por un mismo vehículo.

344 Los VRPSPD (Vehicle Routing Problem Simultaneous Pickuo and Delivery) son una
345 de las variantes del VRPPD y fueron tratados por primera vez por Hokey Min en

346 1989, quien reconoce la posibilidad de entregas y recolección simultáneas en el
347 mismo nodo. El objetivo del problema VRPSPD es encontrar una serie de rutas para
348 un conjunto de vehículos con costo mínimo, para dar servicio a clientes, que cumpla
349 la restricción de que los vehículos tengan suficiente capacidad de transporte para
350 los productos que deben ser recolectados y/o entregados a cada cliente (nodo). Se
351 debe partir de un depósito y regresar al mismo. Se pretende encontrar la solución
352 óptima o soluciones subóptimas de buena calidad. Este es un problema de
353 optimización combinatoria y la mayoría de sus versiones son de la clase NP-Hard,
354 es decir, que la solución no se puede encontrar en tiempo polinomial (Min, 1989).

355 A diferencia del problema de enrutamiento de vehículos clásicos, en el VRPSPD las
356 rutas se determinan no solo por el subconjunto de clientes que la integran, sino
357 también por el orden en que estos son visitados. La primera condición exige que el
358 total de mercancía transportada no puede exceder la capacidad del vehículo. La
359 segunda condición es que en todo momento la carga que se transporta es una
360 mezcla entre la mercancía recolectada y la que aún falta por entregar (Fernández &
361 Allende, 2017).

362 Los VRPSPD son los menos estudiados o aplicados en la literatura y la mayoría de
363 los autores consultados asumen elementos que faciliten la búsqueda de la solución,
364 las cuales en algunos son soluciones teóricas que se alejan de lo que ocurre en la
365 vida real. Algunos autores han encontrado soluciones óptimas utilizando métodos
366 exactos, pero han tenido que asumir supuestos como cantidad de vehículos
367 ilimitados y cantidad de nodos o clientes a visitar inferior a 30 (Fernández, 2013).

368 El VRPSPD es uno de los tipos de VRP menos abordados en la literatura debido a
369 su complejidad, ya que la búsqueda de soluciones óptimas puede aumentar de
370 forma exponencial según la cantidad de clientes o nodos que formen parte del
371 problema. De ahí que los recursos de cómputo que trabajan con algoritmos exactos
372 no han podido ser utilizados en escenarios de más de 40 clientes. Siendo así que
373 los algoritmos heurísticos o metaheurísticos son los más utilizados para encontrar
374 una solución que, aunque no es la óptima si puede ser factible.

375 El VRPSPD, al igual que el resto de los problemas derivados del VRP, presenta
376 entre sus variantes las siguientes (Ballesteros, 2015):

- 377 • VRPSPD + flota heterogénea, considerando como elementos de
378 heterogeneidad la capacidad, los costos, la disponibilidad y restricciones de
379 circulación.
- 380 • VRPSPD + limitación de longitud máxima de ruta diferente para cada tipo de
381 vehículo, considerando la flota heterogénea en cuanto a capacidad, costos y
382 disponibilidad.
- 383 • VRPSPD + limitación de duración máxima de ruta, considerando la flota
384 heterogénea en cuanto a capacidad, costos, disponibilidad y velocidad de
385 carga/descarga y de desplazamiento.
- 386 • VRPSPD + ventanas suaves, considerando la flota heterogénea en cuanto a
387 la capacidad, costos, disponibilidad y velocidad de carga/descarga y de
388 desplazamiento.

389 Teniendo en cuenta las características del proceso de recolección de AVR, el
390 modelo de optimización se clasifica como un VRPSPDTW (Vehicle Routing Problem
391 Simultaneous Pickup and Delivery with Time Windows). Es un problema donde el
392 punto de partida es un centro de recolección, con una flota de vehículos
393 heterogénea y se visitan un conjunto de puntos de generación, donde de forma
394 simultánea se entrega material de envase y recolecta residual. Tanto el centro de
395 recolección como los puntos de generación tienen restricciones de tiempo para
396 atender el proceso de entrega y recolección.

397 **2.4.4. Software para aplicar el modelo de optimización**

398 Tomando en cuenta la cantidad de datos a procesar y la complejidad del modelo
399 matemático del problema a resolver, se utiliza un algoritmo metaheurístico, que
400 permita llegar a una solución factible en menor tiempo. Al utilizar un algoritmo
401 metaheurístico se evita que la solución se limite a óptimos locales ya que son
402 procedimientos inteligentes de alto nivel. Para ello, es necesario apoyarse en
403 software para resolver problemas de enrutamiento de vehículos.

404 Algunos de los softwares empleados para el diseño de rutas son:

- 405 • Logware.
- 406 • DR Soft
- 407 • WinQSB.
- 408 • VRP Solver.
- 409 • VprPd
- 410 • ArcGis

411 El **Logware** 5.0 es un software útil para analizar una variedad de problemas y
412 estudio de casos de cadena de suministro. Este software contiene varios módulos
413 dentro de los que están: el Routeseq. Este módulo determina la mejor sucesión para
414 visitar los puntos de una ruta. Routeseq es un programa heurístico para resolver el
415 problema de agente viajero. Da la sucesión a 20 paradas en una ruta, más un punto
416 de origen. Las paradas y el origen se identifican con puntos de coordenadas lineales
417 (Ballou, 2004).

418 Tiene entre sus desventajas el agrupar los clientes, además de que las distancias
419 entre los puntos son euclidianas. El Logware genera solo la sucesión óptima de la
420 cantidad de clientes que se introduzca y es necesario introducirle un multiplicador
421 mayor que 1, para convertir la distancia recta del camino en la distancia de viaje
422 real.

423 **WINQSB** es una aplicación versátil que permite la solución de una gran cantidad de
424 problemas: administrativos, de producción, de recursos humanos, dirección de
425 proyectos, etc. Debido a su facilidad y potencia de manejo, este software se
426 convierte en una herramienta indispensable en la investigación de operaciones, los
427 métodos de trabajo, planeación de la producción, evaluación de proyectos, control
428 de calidad, simulación y estadística, entre otras (Ríos, 2009). El sistema está
429 formado por distintos módulos, uno para cada tipo de modelo o problema, pero su
430 capacidad de procesamiento de datos y la mayoría de sus aplicaciones es en el
431 área académica.

432 **DRSoft** es un software destinado a diseñar rutas para la distribución, utilizando de
433 forma simultánea, criterios como el costo de transportación y el nivel de satisfacción
434 de los clientes. Los algoritmos implementados para las operaciones de solución del
435 sistema están basados en técnicas heurísticas (Ruiz &García, 2009), siendo esta
436 su primera desventaja, además de que no trabaja con posiciones geográficas, solo
437 con puntos dibujados en un mapa, lo cual no permite obtener rutas ajustadas a la
438 realidad.

439 **VRP Solver** implementa la adaptación del algoritmo del ahorro de Clarke-Wright o
440 CDS Secuencial para problemas VRP; con el objetivo de optimizar la distancia total
441 a recorrer por cada camión considerando factores como distancia entre puntos,
442 demanda y capacidad del camión. Utiliza operadores de movimiento de Or-op en su
443 heurística de mejoramiento (Mauricio et al., 2019).

444 Para la solución de este tipo de problema el software utiliza dos tipos de
445 herramientas:

- 446 • Algoritmo de exploración: Ramificación y Acotamiento (Branch and Bound).
- 447 • Algoritmo de construcción: Método de los ahorros (Savings Criterion).

448 VRP Solver no trabaja con grandes volúmenes de datos, usa métodos heurísticos
449 en su programación; tampoco calcula distancias entre nodos.

450 **VprPd** fue diseñado para resolver los VPRSPD, utilizando un algoritmo recursivo
451 simulado. Selecciona candidatos de forma aleatoria y permite soluciones
452 degradadas, pero siempre con una probabilidad de aceptación que dependerá de
453 dos factores: los parámetros de control y la diferencia de valores que va tomando la
454 función objetivo. La desventaja de este software es que no trabaja sobre planos
455 geográficos por lo que es necesario proporcionarle la matriz de distancia.

456 **ArcGis** es un sistema completo que permite recopilar, organizar, administrar,
457 analizar, compartir y distribuir información geográfica. Desarrollada por ESRI,
458 ArcGIS es utilizado para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores
459 del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios, permitiendo

460 sintetizar datos de diversas fuentes en una misma vista geográfica unificada. Es
461 capaz de leer y modificar información de bases de datos geográficas, datos
462 tabulares de sistemas de administración de bases de datos (DBMS) y otros sistemas
463 empresariales, archivos, hojas de cálculo, vídeos y fotos con geoetiquetas (ESRI,
464 2021). Agrupa a todos los clientes, así como sus restricciones de capacidad,
465 demanda, tiempos y crear distintas rutas donde se optimicen las variables objetivo
466 que se deseen. Asimismo, permite utilizar información vial como sentido de las
467 calles, restricciones vehiculares y tiene en cuenta la distancia real de cada
468 segmento de la red. Opera sobre la base de un mapa, sin necesidad de transformar
469 las coordenadas geográficas.

470 **2.5. Análisis del marco legal y regulatorio referente a la gestión de residuos en** 471 **México**

472 Desde 2003 con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los
473 Residuos (LGPGIR), en México se vienen realizando acciones gubernamentales
474 para mitigar el daño ambiental y social que genera el vertimiento indiscriminado de
475 residuos al medio ambiente. A inicios de 2019, la Secretaría de Medio Ambiente y
476 Recursos Naturales (SEMARNAT) comienza el proyecto Cero Residuos, con el cual
477 se persigue que el esquema tradicional de manejo de los residuos se modifique
478 siguiendo los principios del modelo de economía circular (SEMARNAT, 2020).

479 La descripción del marco normativo en materia de la prevención y gestión integral
480 de residuos pretende clasificar el sustento bajo el cual se deben formular las líneas
481 estratégicas del sistema logístico, así como realizar un análisis crítico que nos
482 permita conocer las debilidades y fortalezas del marco regulatorio que podrían ser
483 oportunidades o amenazas para el diseño de los sistemas logísticos de
484 recuperación.

485 Según SEMARNAT, en 2021 existieron un total de 124 leyes, regulaciones y normas
486 en materia de medio ambiente. En la tabla 3 se listan 29 leyes y regulaciones
487 enfocadas a la gestión y manejo de residuos, se le suman 3 normas creadas para
488 regular el manejo y recolección de aceite vegetal residual.

Leyes

Constitución Política de los Estados Unidos de América Mexicanos: Constitución publicada en el diario oficial de la federación el 5 de febrero de 1917, texto vigente, última reforma publicada DOF 26-03-2019.

Ley de Planeación: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 5 de enero de 1983, texto vigente, última reforma publicada DOF 16-02-2018.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 28 de enero de 1988, texto vigente, última reforma publicada DOF 05-06-2018.

Ley de Aguas Nacionales: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 1º de diciembre de 1992, texto vigente, última reforma publicada DOF 24-03-2016.

Ley Federal de Variedades Vegetales: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 25 de octubre de 1996, texto vigente, última reforma publicada DOF 09-04-2012.

Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 4 de enero de 2000, texto vigente, última reforma publicada DOF 13-01-2016.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 25 de febrero de 2003, texto vigente, última reforma publicada DOF 19-01-2018.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 8 de octubre de 2003, texto vigente, última reforma publicada DOF 19-01-2018.

Ley Federal de Sanidad Animal: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 25 de julio de 2007, texto vigente, última reforma publicada DOF 16-02-2018.

Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 1º de febrero de 2008.

Ley General De Cambio Climático: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 6 de junio de 2012. texto vigente, última reforma publicada DOF 13-07-2018.

Ley Federal de Responsabilidad Ambiental: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 7 de junio de 2013.

Ley de Vertimientos en las Zonas Marinas Mexicanas: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 17 de enero de 2014.

Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos: Nueva Ley publicada en el diario oficial de la federación el 11 de agosto de 2014, texto vigente.

Ley federal de transparencia y acceso a la información pública Gubernamental: Nueva ley publicada en el diario oficial de la federación el 9 de mayo de 2016, texto vigente, última reforma publicada DOF 27-01-2017.

Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Baja California: Publicada en el periódico oficial No. 23, de Fecha 16 de agosto de 1953, tomo LXVI. última reforma publicada P.O. No.8 índice, 14-feb-2020.

Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Baja California: Publicado en el periódico oficial No. 40, de fecha 28 de septiembre de 2007, sección I, tomo CXIV.

Ley del Régimen Municipal para el Estado de Baja California: Publicado en el periódico Oficial No. 44, Sección II, de fecha 15 de octubre de 2001, Tomo CVIII. Última reforma P.O. No. 28, Número Especial, 09-jun-2018.

Reglamentos

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera: Nuevo Reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de noviembre de 1988. Texto vigente. Última reforma publicada DOF 31-10-2014.

Reglamento de la Ley de Aguas nacionales: Reglamento publicado en el diario oficial de la federación el 12 de enero de 1994, texto vigente, última reforma publicada DOF 25-08-2014.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes: Nuevo reglamento publicado en el diario oficial de la federación el 3 de junio de 2004, texto vigente, última reforma publicada DOF 31-10-2014.

Reglamento en Materia de Registros, Autorizaciones de Importación y Exportación y Certificados de Exportación de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Sustancias y Materiales Tóxicos o Peligrosos: Publicado en el diario oficial de la federación el 28 de diciembre de 2004.

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos: Nuevo reglamento publicado en el diario oficial de la federación el 30 de noviembre de 2006 texto vigente, última reforma publicada DOF 31-10-2014.

Reglamento Interior de la Comisión Nacional del Agua: Publicado en el diario oficial de la federación el 30 de noviembre de 2006, texto vigente, última reforma publicada DOF 12-10-2012.

Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos: Nuevo reglamento publicado en el diario oficial de la federación el 18 de junio de 2009, texto vigente.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Autorregulación y Auditorías Ambientales: Nuevo Reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de abril de 2010, texto vigente, última reforma publicada DOF 31-10-2014.

Reglamento de la Ley Federal de Sanidad Animal: Nuevo reglamento publicado en el diario oficial de la federación el 21 de mayo de 2012, texto vigente.

Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones: Nuevo reglamento publicado en el diario oficial de la federación el 28 de octubre de 2014, texto vigente.

Reglamento Interior de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos.

Normas

NADF012-AMBT-2015, que establece las condiciones y especificaciones técnicas para el manejo integral de grasas y aceites de origen animal y/o vegetales residuales en el territorio de la Ciudad de México.

NMX-F-808-SCFI-2018: El Comité técnico de normalización nacional de la industria de aceites y grasas comestibles y similares es el responsable de la elaboración de esta norma mexicana.

NOM-161-SEMARNAT-2011: Que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; el listado de estos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

490 A pesar de que en México existen más de 100 leyes, regulaciones y normas para la
491 gestión eficiente de los residuos, aún es una debilidad la materialización de
492 programas y planes para incrementar la reutilización, reciclaje y reducción de los
493 residuos. Esto se debe a que no se conoce el volumen de generación real de cada
494 residual. Hay conocimiento incipiente sobre los usos que se le pueden dar a algunos
495 productos que llegan al final de su vida útil y es insuficiente la capacidad de
496 operación de las empresas para asumir la demanda de generación.

497 **2.6. Aceite vegetal residual**

498 El AVR es el residual que se obtiene al freír alimentos a altas temperaturas, bajo
499 estas condiciones el aceite vegetal sufre alteraciones fisicoquímicas y se convierte
500 en un desecho tóxico tanto para la salud como para el medio ambiente si no se
501 dispone de forma adecuada. Por lo anterior en la NMX-F-068-SCFI-2008 se definen
502 cuáles son las características químicas que determinan que el aceite debe ser
503 desechado y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
504 (LGPGIR) lo clasifica como un residuo de manejo especial.

505 El AVR está considerado como biomasa líquida, se obtiene de cultivos oleaginosos
506 de origen vegetal y al ser sometido a un tratamiento físico, se valoriza;
507 convirtiéndose en una materia prima de calidad que se utilizan en procesos
508 energéticos y no energéticos.

509 **2.6.1. Usos energéticos y no energéticos del aceite vegetal residual**

510 Dicho residual al ser sometido a un proceso de tratamiento físico, se valoriza;
511 convirtiéndose en una materia prima de calidad que puede ser utilizada en los

512 sistemas productivos de la industria química, en la producción de biocombustibles,
513 así como suplemento alimenticio para el ganado.

514 La industria oleoquímica y bioenergética reportan un crecimiento de entre 3 y 5 %
515 de la demanda de aceites vegetales como materia prima en sus procesos de
516 producción (Ameri Reserch Ins.,2018). Si se tiene en cuenta que el AVR tienen una
517 composición similar a la de los aceites o grasas crudos, en principio, también
518 podrían utilizarse como materia prima oleoquímica y sustituir la demanda de aceite
519 crudo (Orjuela and Clark, 2020; Zanivan et al., 2018). El AVR es una materia prima
520 potencial para la producción de jabones (Félix et al.,2017), velas, lubricantes
521 (Abdulbari and Zuhan, 2018), biocombustibles (Ramos-Méndez et al, 2020),
522 bloques de construcción de plástico (Kim et al., 2021) y alcohol sólido (Xiong et al.,
523 2019). Actualmente se explora el uso de AVR en la producción de metabolitos de
524 interés industrial (Lopes et al, 2019), polímeros a base de fermentación (Kamilah et
525 al.,2018), nanocatalizadores (Sarno et al, 2019). Debido a que el AVR es un residuo
526 con potencial de reutilización en la industria química y energética, hoy existen
527 sistemas para su recolección y valorización.

528 Es evidente el valor comercial que tiene el aceite vegetal residual, por lo cual es
529 oportuno el diseño de redes logísticas que transporten el residual desde las fuentes
530 de generación hasta un centro de recolección, donde pueda ser tratado y valorizado.
531 Esto no solo tendría un impacto medioambiental y social positivo; además abriría
532 nuevas oportunidades de negocio con ventajas competitivas sustentables para el
533 sector empresarial.

534 **2.6.2. Disponibilidad de aceite vegetal residual**

535 La cantidad estimada de AVR que se genera anualmente en el mundo es de 41
536 Mt/año (Orjuela & Clark, 2020). India y China son los mayores generadores con
537 valores de 5.6 y 1.1 Mt/año, respectivamente (Teixeira et al., 2018), seguidos por
538 Estados Unidos de América y la Unión Europea cuya generación oscila entre 0.5 y
539 1 Mt/año. Varias investigaciones coinciden que el consumo de aceites está
540 relacionado con la cultura alimenticia de cada región, las tradiciones religiosas y en
541 menor medida con los factores económicos, tecnológicos, sociales y políticos,

542 siendo una variable multifactorial (CIHEAM, 2015; Kearney, 2010; Ruiz & Moreno,
543 2021). Con el objetivo de estandarizar la generación de AVR, Teixeira propone que
544 el índice de generación de AVR es de 0.32 kg de AVR por cada kg de aceite vegetal
545 consumido (Teixeira et al., 2018).

546 En México no existen estudios para conocer la generación anual de AVR a nivel
547 nacional. Solo en ciudades como Monterrey, Guadalajara, Mexicali, Tuxtla Gutiérrez
548 y la Ciudad de México se ha caracterizado la generación de AVR y en algunos casos
549 se ha identificado su potencial para la producción de biodiesel. Existen 5 empresas
550 líderes en el mercado de recolección y reutilización de AVR. Estas empresas tienen
551 presencia en 10 de los 32 Estados de la república, pero solo reciben AVR de los
552 restaurantes, supermercados o industrias procesadoras de alimentos. La
553 recolección del AVR en el sector doméstico es inexistente.

554 En el caso de Baja California en México, no existen estudios a nivel estatal para
555 estimar la generación de AVR, pero si hay evidencia de estudios realizados por el
556 Laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos del Instituto de Ingeniería de la UABC
557 donde se estimó que en la ciudad de Mexicali se generan aproximadamente en el
558 sector restaurantero más de 2,139,048.00 L/año de AVR (Coronado, 2010).

559 **2.6.3. Impacto ambiental del aceite vegetal residual**

560 La práctica común es desechar el AVR en la red de alcantarillado sanitario,
561 directamente al suelo o con el resto de los residuos sólidos. Por su elevada carga
562 de contaminantes provoca la erosión de los suelos (Luis & Farbán, 2013) y la
563 contaminación del agua en proporción 1:40,000 (González & González, 2015). El
564 AVR que termina en la red de alcantarillado, al mezclarse con el resto de los
565 residuos, crea una especie de masa engomada que provoca taponamiento en la
566 red. Esto hace que se eleven los costos de mantenimiento del sistema de drenaje y
567 del proceso de depuración de aguas residuales.

568 En Baja California solo se recupera una parte del AVR generado, el resto del
569 residual no recolectado termina en la red de alcantarillados de la ciudad, vertido
570 directamente a la tierra o, tirado a la basura con el resto de los residuos sólidos

571 urbanos, en cualquiera de los casos es una fuente de contaminación ambiental y
572 provoca efectos negativos para la salud.

573 Por otra parte, el proceso de recolección se lleva a cabo utilizando medios de
574 transporte de carga. Estos vehículos, como producto del proceso de combustión
575 liberan gases que afectan la calidad del aire, tales como el dióxido de carbono (CO₂),
576 metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de
577 azufre (SO_x) e hidrocarburos (HC), así como también partículas (PM) y compuestos
578 orgánicos volátiles (COV) (Cortez, 2014).

579 **2.7. Encuesta como herramienta para adquisición de información**

580 La encuesta es un método de recolección de datos a través del cual se obtiene
581 información primaria, mediante preguntas establecidas en un cuestionario diseñado
582 con anterioridad. En el diseño y procesamiento de encuestas se debe definir el
583 objetivo, diseñar el cuestionario, aplicarlo a una muestra de la población objetivo y
584 procesar y analizar la información obtenida (Tecnológico de Monterrey, 2005).

585 **2.7.1. Ejemplos de encuestas para estimar el volumen de generación de aceite vegetal** 586 **residual**

587 En Estados Unidos de América, México y Colombia se han aplicado encuestas para
588 conocer la generación de aceite vegetal usado. A continuación, se resumen las
589 características de cada uno de ellos:

- 590 • En un estudio realizado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable
591 (NREL) del Departamento de Energía de EE. UU se recopilaron y analizaron
592 datos sobre grasas y recursos residuales en 30 áreas urbanas de los Estados
593 Unidos de América. En este estudio solo se toman como generadores del
594 residual restaurantes y empresas procesadoras de alimentos. El objetivo del
595 estudio fue determinar la cantidad de grasas amarillas que se generan en
596 restaurantes e industrias procesadoras de alimentos, identificar los residuos
597 que vierten a la red de alcantarillados por la falta de trampas en el sistema
598 de drenaje y diagnosticar el sistema de recolección existente para disponer
599 de estos residuos; por lo que se realizan 3 cuestionarios, el primero para

600 captar información en los restaurantes e industrias, el segundo destinado a
601 las empresas recolectoras de residuos y por último, a las plantas
602 procesadoras de aguas residuales (Wiltsee,1998).

603 • Estudiantes de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la
604 Universidad de Autónoma de Occidente de Cali, recopilaron y analizaron
605 información sobre la generación de aceite de cocina residual tanto en sector
606 gastronómico como residencial en 4 barrios de la ciudad de Cali. Dicha
607 información fue capturada mediante dos cuestionarios, uno dirigido a los
608 altos generadores del residual (restaurantes, cafeterías e industrias) y el otro
609 dirigido a las residencias que se encontraban en área de estudio. El objetivo
610 de la investigación era diseñar una estrategia de recolección de aceite
611 vegetal usado en esa zona con el fin de usar dicho residual como materia
612 prima en la producción biodiesel (Solarte Burbano & Vargas Dorado, 2013).

613 • El Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México
614 determinó la disponibilidad de aceite de cocina usado que hay en la Ciudad
615 de México como materia prima potencial para la producción de biodiesel. El
616 objetivo de esta investigación fue evaluar un sistema de recolección de aceite
617 de cocina usado para su conversión en biodiesel. Calculando la generación
618 que existe en restaurantes de comida rápida en la zona seleccionada,
619 diseñando un sistema de recolección del residual y determinando los costos
620 que representa llevar a cabo dicho sistema. El instrumento fue utilizado en
621 formato de encuesta para calcular el consumo de aceite de los restaurantes
622 encuestados (Díaz, 2014).

623 **2.7.2. Tamaño de muestra**

624 Cuando la población es finita pero muy grande, la muestra es la parte de la población
625 que se estudia y proporciona la información que se desea conocer (Otzen, 2017).
626 Determinar el tamaño de muestra permite que el estudio se realice en menor tiempo,
627 minimizando gastos y permitiendo profundizar en el análisis de las variables. Existen
628 métodos estadísticos para identificar el tamaño de muestra, la cual debe ser
629 suficiente para realizar inferencia del comportamiento de una población.

630 La ecuación 1 se utiliza para calcular la muestra de una población finita, que es este
631 caso (Valdivieso et al., 2011):

$$632 \quad n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

633 Donde:

634 n = Tamaño de muestra buscado.

635 N = Tamaño de la población o universo.

636 Z = Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza (NC)

637 e = Error de estimación máximo aceptado.

638 p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado.

639 q = probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

640 **2.7.3. Muestreo**

641 Es el método utilizado para seleccionar a los componentes de la muestra del total
642 de la población. Consiste en un conjunto de reglas, procedimientos y criterios
643 mediante los cuales se selecciona un conjunto de elementos de una población que
644 representan lo que sucede en toda esa población (Macassi, 1991).

645 *Muestreo probabilístico aleatorio simple*

646 Es el método conceptualmente más simple. Consiste en extraer todos los individuos
647 al azar de la población objetivo. En la práctica, se recomienda para poblaciones
648 finitas y con estructuras de selección simple. (Casal & Mateu 2003). Es una
649 modalidad del muestreo probabilístico donde cada elemento de la población tiene
650 la misma probabilidad de ser seleccionado para integrar la muestra (INEGI, 2011)

651 *Muestreo probabilístico estratificado*

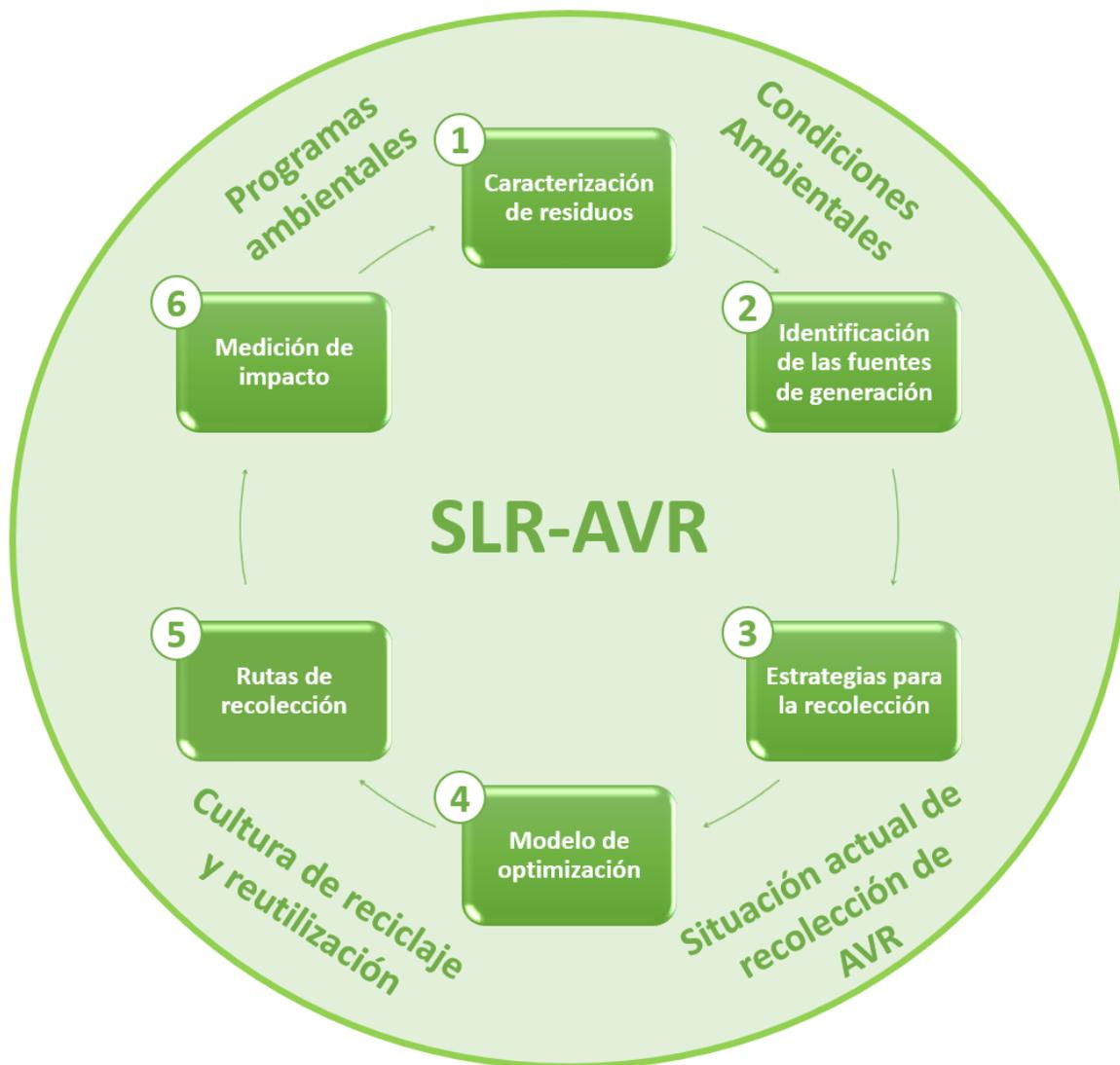
652 Este tipo de muestreo se caracteriza por la división de la población en subgrupos o
653 estratos debido a que las variables que deben someterse a estudio en la población
654 presentan cierta variabilidad o distribución conocida que es necesario tomar en
655 cuenta para extraer la muestra. La ventaja de este procedimiento es que se reduce
656 posibles desbalances (López, 2004).

657

658

659 **Capítulo III: Metodología**

660 En este capítulo se describen los elementos metodológicos que se consideraron
661 para diseñar el sistema logístico de recuperación de aceite vegetal residual (SLR-
662 AVR). La figura 2 muestra la estructura del SLR-AVR, la cual se compone por 6
663 etapas: caracterización del residuo, identificación y clasificación de las fuentes de
664 generación, diseñar estrategia de recolección, desarrollo del modelo de
665 optimización, diseñar las rutas de recolección, y medir el impacto del sistema
666 mediante indicadores logísticos y medioambientales.



667
668
669

Figura 2. Estructura del Sistema Logístico de Recuperación de Aceite Vegetal Residual (SLR-AVR).

670 El marco legal vigente en la región, las condiciones ambientales, los programas de
671 desarrollo económicos-sociales y ambientales, así como la cultura de reciclaje que
672 tiene la sociedad, son factores externos que pueden ser oportunidades o amenazas
673 para la aplicación del SLR-AVR. Tenerlos en cuenta para su diseño es de vital
674 importancia.

675 **3.1. Análisis de factores externos**

676 **3.1.1. Marco legal, programas y condiciones ambientales**

677 Los programas y planes para el manejo de residuos están diseñados con el objetivo
678 de desarrollar estrategias, lineamientos y metas para avanzar en la promoción de la
679 gestión integral de residuos de manejo especial.

680 A nivel federal se desarrollan programas como:

- 681 • Programas Sectoriales de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- 682 • Programa Nacional para la prevención y gestión Integral de los Residuos.
- 683 • Programa Estatal de Protección al Ambiente.

684 En el caso de Baja California, en el programa estatal para la prevención y manejo
685 integral de residuos, se definen los siguientes proyectos (MicroBaja, 2013):

- 686 • Programa de Manejo Integral de Grasas y Aceites.
- 687 • Programa Permanente de Acopio de Pilas.
- 688 • Programa de Educación, Capacitación y Comunicación Ambiental (PECCA).
- 689 • Programa Integral de Manejo y Disposición Final de Llantas de Desecho.

690 Las debilidades encontradas al analizar estos programas fueron:

- 691 1. Los instrumentos de medición de los volúmenes de residuos producidos por
692 generadores y manejados por prestadores de servicios, no muestran las
693 cantidades reales de los residuos generados en la región.
- 694 2. Los programas de manejo solo están enfocados a una parte del sector
695 industrial, quedando sin estrategias de manejo los aceites vegetales
696 residuales en el sector doméstico y comercial.

- 697 3. Desconocimiento de las empresas prestadoras de servicio para el reporte de
698 generación, formas de manejo, ejecución de estrategias.
- 699 4. Insuficientes infraestructura y medios para la implementación de estrategias
700 para la recolección de residuos.
- 701 5. Desconocimiento por parte de los generadores de cómo minimizar desde la
702 fuente y por los prestadores del servicio de recolección para llevar a cabo
703 soluciones integrales.

704 Mexicali se ubica al norte del país y figura entre las ciudades más contaminadas de
705 México, siendo la contaminación del aire, agua y suelos los problemas más graves.
706 El aire afecta la salud de los mexicalenses, el suelo cada vez es menos fértil y el
707 agua es un recurso indispensable para esta zona desértica. De ahí la importancia
708 de crear sistemas que mejoren o disminuyan el impacto negativo para el ecosistema
709 de la región.

710 **3.1.2. Cultura de reciclaje de los habitantes de Mexicali**

711 Con el objetivo de conocer la disposición y conocimiento que tienen los habitantes
712 de Mexicali sobre el AVR, se realizó un cuestionario a una muestra de la población.
713 Se encuestaron 275 viviendas habitadas en la ciudad de Mexicali. La muestra fue
714 determinada con base en la población de viviendas habitadas en la región, con un
715 Nivel de Confianza del 95% y un porcentaje de error del 10%. El diseño de las
716 encuestas se basó en instrumentos aplicados en Estados Unidos de América,
717 México y Colombia y se aplicó siguiendo un muestreo aleatorio simple. En el
718 cuestionario se incluyeron las siguientes preguntas:

- 719 • ¿Realiza usted la clasificación de sus residuos?
- 720 • ¿Cómo y dónde desecha el aceite vegetal tras su uso?
- 721 • ¿Conoce si existe un lugar en la ciudad donde reciban AVR?
- 722 • ¿Conoce los usos que se les puede dar al AVR?
- 723 • ¿Considera que el AVR es un residual dañino?
- 724 • ¿Conoce si existen mecanismos legales para gestionar la generación de
725 residuos?

- 726 • ¿Estaría dispuesto a recuperar el AVR?
- 727 • ¿Qué necesitaría en su vivienda/colonia/fraccionamiento para disponer
- 728 adecuadamente del aceite vegetal usado?

729 **3.1.3. Situación actual de la recolección de aceite vegetal residual en Mexicali**

730 Según el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del
 731 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Secretaría de Medio
 732 Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2010) y la Secretaría de Protección
 733 Ambiental (SPA, 2018) de Baja California, hay 79 empresas que se dedican a la
 734 recolección y tratamiento de residuos (Anexo 1), solo el 15% de ellas recolectan y
 735 tratan el AVR.

736 Como se observa en la tabla 4, hay un total de 12 empresas que se dedican a la
 737 recolección de AVR, de las cuales, 6 operan en la ciudad de Mexicali y la líder en el
 738 mercado es Bio Regeneradora (BioR).

739 Tabla 4. Entidades recolectoras de aceite vegetal residual en Baja California

Empresas	Municipios en los que tiene presencia
BIOR (Bio Regeneradora)	Tijuana, Mexicali y Ensenada
Eusebio Arena Córdova	Tijuana
Comercializadora de Servicios Integrales PEISAL, S.A. de C.V.	Tijuana
Proveedora Ambiental del Noroeste SA de CV	Tijuana
Baja Profesional CLEAN SERVICE, S.A de R.L de C.V.	Tijuana
Transportes TEMARRY, S. de R.L. de C.V.	Tecate
Servicios Integrales para Restaurantes y Cocinas Industriales, S.A de R.L. de C.V.	Tecate
Haziel Acosta Ruelas Alfonso	Mexicali
Fidencio Ruiz Martínez	Mexicali
José Octavio Rodríguez González	Mexicali
Moises Balderama Cota	Mexicali
Francisco Javier Valero López	Mexicali

740 *Caracterización de la Empresa Recolectora de AVR en Mexicali B.C.*

741 La empresa está comprometida con la sociedad para la reducción de la
742 contaminación de cuerpos de agua provocada por el aceite comestible usado. Su
743 objetivo es reciclar dicho aceite generado en industrias, comercios, escuelas,
744 hospitales, restaurantes y demás generadores. Pretenden ser líderes en la región
745 en recolección de productos biodegradables brindando servicios de calidad a los
746 clientes apoyando el esfuerzo mundial por mitigar el cambio climático, manteniendo
747 el balance entre la sociedad y el medio ambiente, promoviendo los valores para la
748 conservación de nuestro planeta.

749 Dentro de sus actividades principales están:

- 750 • Recolectar y reciclar aceite y grasas vegetales usados.
- 751 • Ofrecer servicios de plomería.
- 752 • Vender y limpiar trampas de grasa.
- 753 • Dar servicios de limpieza de contenedores y cisternas de agua potable a
754 través de un sistema de buceo industrial.
- 755 • Recepción de aguas residuales con grasas y aceites para su tratamiento.
- 756 • Producción de biodiesel.
- 757 • Fabricación de producto alimenticio para ganado a partir de la recolección
758 de merma alimenticia como pan, tortilla, frituras de maíz y de harina y
759 aceite vegetal usado.

760 La empresa con más de 12 años en operación tiene presencia en los municipios
761 de Mexicali, Ensenada y Tijuana, en este último se encuentra la sucursal matriz.
762 En Mexicali y Tijuana cuentan con una planta de producción de biodiesel que en
763 estos momentos solo produce el biocombustible para auto abastecer los medios
764 de transporte de la empresa y, los equipos del proceso de producción del propio
765 biodiesel.

766 *Proceso de recolección de AVR en la Empresa Recolectora*

767 La empresa BioR tiene en funcionamiento 3 rutas para la recolección de AVR en
768 toda la ciudad de Mexicali y su valle. Las rutas cubren los 5 bloques en los que se

769 encuentra dividida la ciudad (norte, sur, este, oeste y valle). La ruta 1 es la principal,
770 ya que se logra recolectar la mayor cantidad de AVR. Las rutas son fijas, solo varían
771 en caso de que el cliente lo solicite. Se diseña el orden de las visitas de forma
772 empírica tras la experiencia que tienen los choferes que trabajan en cada ruta. La
773 frecuencia de visita a cada cliente se realiza teniendo en cuenta el volumen de AVR
774 que genera, usualmente se visitan a los clientes cada semana o cada 2 semanas.
775 En cada camión trabajan un chofer y un ayudante. En el caso del sector comercial,
776 los tanques se manipulan auxiliándose de una carretilla de carga y los camiones
777 utilizados para ello, son camiones furgones con una plancha de 40 cm de alto, lo
778 cual facilita introducir los tanques con AVR dentro del vehículo.

779 Sus clientes pertenecen al sector comercial e industrial. En el sector comercial
780 atienden restaurantes, comedores industriales y supermercados, mientras que, en
781 el sector industrial atienden las industrias procesadoras de alimentos. Su siguiente
782 paso es atender la recolección de AVR en el sector doméstico, sin embargo, aún
783 carecen de una estrategia para ello. La empresa les proporciona a los clientes del
784 sector comercial contenedores de 50 L, 100 L o 200 L, dependiendo del volumen de
785 generación y la frecuencia de recolección. En el caso de los clientes del sector
786 industrial, se coloca un tanque de 15,000 L en sus instalaciones, para que la
787 industria almacene el AVR. El cliente notifica cuando se ha cubierto la capacidad
788 del tanque y BioR en un camión cisterna o pipa extrae el AVR. Los camiones
789 cisterna utilizados para realizar este proceso de recolección tienen una capacidad
790 de 20,000 L.

791 El AVR recuperado se lleva a la planta de tratamiento, donde pasa por un proceso
792 de pre-tratamiento (filtrado y eliminación de agua) para que cumpla con los
793 parámetros para la venta como suplemento alimenticio para animales y para la
794 producción de biodiesel. La producción de biodiesel se realiza en la misma planta y
795 el biocombustible obtenido es solamente utilizado para auto abastecimiento de la
796 empresa, en los vehículos que se emplean en el proceso de recolección y para los
797 equipos de la planta. No han logrado vender el biodiesel porque no han encontrado
798 mercado para ello.

799 El proceso de recolección actual tiene problemas en la planificación y ejecución de
800 sus rutas, ya que las mismas están diseñadas de forma empírica bajo la experiencia
801 de los choferes que la operan. Lo cual trae ineficiencias en el proceso de
802 recolección, reflejado en sus indicadores de rendimiento y en su nivel de servicio al
803 cliente. Tampoco conocen sus capacidades para absorber la generación del sector
804 residencial, ni el potencial de AVR que tiene dicho sector.

805 La gestión de los residuos es costosa, en promedio entre el 10% y el 20% del
806 presupuesto total en muchas ciudades en desarrollo. Al comprender los beneficios
807 y las desventajas de varias tecnologías de gestión de residuos, los encargados de
808 la toma de decisiones locales pueden asignar mejor los recursos, seleccionar
809 procesos y proveedores, y desarrollar políticas y procedimientos para satisfacer las
810 necesidades de la comunidad mientras reducen las emisiones, mejoran el medio
811 ambiente, la economía y la salud pública.

812 **3.2. Primera Etapa. Caracterización del residuo**

813 El AVR se genera en el uso continuo o discontinuo de aceite vegetal en procesos
814 de preparación de alimentos (Coronado, 2010; Kim et al., 2021). En el proceso de
815 fritura ocurren reacciones que modifican las propiedades fisicoquímicas del aceite.
816 Cuando el aceite ha sido utilizado, presenta cambios en las características físicas,
817 químicas y sensoriales, debido al cambio de temperatura, presencia de agua y
818 partículas de alimentos que han sido preparados en cada uso del aceite (Juárez &
819 Sammán, 2007). Además, su calidad nutricional va a disminuir y aumentará los
820 componentes tóxicos, como los polímeros, monómeros de ácidos grasos y
821 compuestos polares que migran hacia los alimentos y son ingeridos por el
822 consumidor (Kearney, 2010).

823 Las características finales del AVR dependen del tipo de aceite vegetal, temperatura
824 y tiempo de cocción, tipo de alimentos cocinados, la exposición al aire y a la
825 humedad, la presencia de partículas contaminantes al manipularlo y el tiempo de
826 almacenamiento (Serrano, 2019). Conocer las características del residuo que se va
827 a recolectar es importante, porque esto determina el tipo de envase que se necesita
828 para su recolección y el medio de transporte, así como las medidas higiénico-

829 sanitarias que se deben seguir durante el proceso de recolección y transportación
830 desde la fuente de generación hasta el centro de acopio y el método de
831 almacenamiento y el tratamiento para su revalorización.

832 **3.3. Segunda Etapa.** Identificación de las fuentes de generación

833 Las fuentes de generación del AVR son los consumidores del aceite vegetal. La
834 metodología propone iniciar agrupando las fuentes de generación en sectores
835 básicos predeterminados residencial, de servicios e industrial. Sin embargo, estos
836 no son definitivos y se pueden adecuar una vez que se conozcan los volúmenes de
837 generación. Los volúmenes de generación según la fuente son distintos, así como
838 también el instrumento que se utiliza para identificarlos.

839 **3.3.1. Estimación del volumen de generación de aceite vegetal residual en el sector** 840 **industrial**

841 El volumen de generación del sector industrial se obtuvo a través de consulta a los
842 registros de dependencias ambientales, para el caso de Mexicali la SPA, además
843 se consultaron los manifiestos de recolección que emite la empresa que recolecta
844 el AVR en la región.

845 Se realizó una búsqueda de las industrias procesadoras de alimentos en la
846 plataforma del DENU, de un total de 392 se obtiene que solo 13 son generadores
847 potenciales de AVR, ya que solo fueron seleccionadas la que presentan grandes
848 volúmenes de producción de alimentos fritos. Mediante consulta en la Secretaría de
849 Protección Ambiental, una búsqueda en la Plataforma Nacional de Transparencia y
850 entrevistas realizadas a la principal empresa recolectora de AVR de la ciudad se
851 determinó el volumen de generación de AVR de cada industria.

852 **3.3.2. Estimación del volumen de generación de aceite vegetal residual en el sector** 853 **servicios**

854 En 2010 se estudió la generación de AVR en parte del sector de servicios
855 (Coronado, 2010). En este estudio se realizó un modelo de simulación para
856 proyectar el crecimiento de la generación de AVR en el tiempo, identificando que
857 las variables independientes eran la cantidad de establecimientos de servicios y la

858 población. Fueron divididos los resultados en 6 tipos de establecimientos según el
 859 tipo de comida que se oferta. Se llegó a la conclusión de que en el sector
 860 restaurantero de la ciudad de Mexicali se genera 2,139,048.00 L/año de AVR. En la
 861 tabla 5 el volumen de generación por tipo de establecimiento.

862 Tabla 5. Volúmenes de generación por tipo de establecimiento.

Tipos	Volumen de generación L/año	L/mes
Comida Rápida	1,091,391	90,949
Comida Mexicana	283,538	23,628
Comida Internacional	288,856	24,071
Comida China	206,486	17,207
Mariscos	168,319	14,027
Comida Japonesa	84,975	7,081
Italiana	15,484	1,290
TOTAL	2,139,049	

863 Se actualizaron los datos de generación realizando una correlación entre las
 864 razones de crecimiento de la generación de AVR, la población y la cantidad de
 865 establecimientos de servicios.

866 Según el reporte de la Dirección de Estadística Nacional de Unidades Económicas
 867 (DENUE) en 2010 había 1,094 establecimientos de preparación de alimentos en la
 868 ciudad de Mexicali (Coronado, 2010). Para el 2019 aumentan a 3,449
 869 establecimientos, teniendo un crecimiento anual de 24%.

870 En cuanto a la dinámica de crecimiento poblacional en la región, de acuerdo con las
 871 Proyecciones de Población del Consejo Nacional de Población (CONAPO), la
 872 población de Mexicali es de 1,078,892 de habitantes, comparada con la reportada
 873 en 2010 que era de 957,737 habitantes. Esto evidencia un crecimiento de la
 874 población de un 13%. El volumen de generación actual ($G_{(actual)}$) se estimó con la
 875 ecuación 2.

876
$$G_{actual} = G_x * RC + G_x \tag{2}$$

877 Donde:

878 G_x : Generación del último año donde se realizó el estudio,

879 *RC*: Razón de crecimiento de las variables independientes (crecimiento poblacional y
880 cantidad de establecimientos comerciales).

881 **3.3.3. Estimación del volumen de generación de aceite vegetal residual en el sector** 882 **residencial**

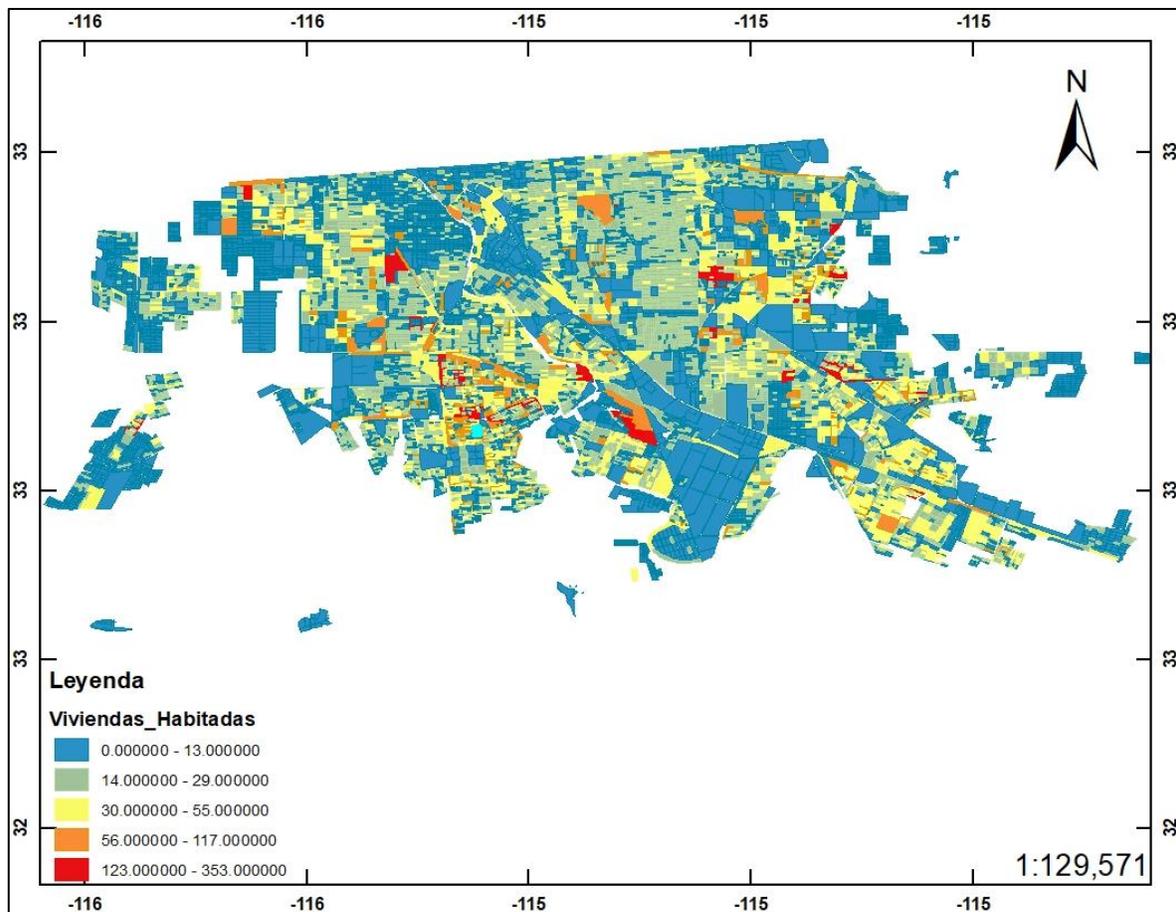
883 En el caso del sector residencial no existía registro de generación de AVR en las
884 viviendas de la región por lo que se realizó un estudio de campo. El estudio fue
885 realizado en el periodo de septiembre 2019 a febrero 2020. Para la captura y
886 procesamiento de la información se diseñó un procedimiento que se compone por
887 5 etapas: calcular la población objetivo, geolocalizar la población, determinar el
888 tamaño de muestra y definir estrategia de aplicación del cuestionario.

889 *Cálculo de la población objetivo del sector residencial*

890 El estudio estuvo dirigido al sector consumidor de aceite vegetal a nivel doméstico.
891 Se tomó como población objetivo a todas las viviendas habitadas de Mexicali. Según
892 INEGI en el censo de 2010 en Mexicali existen 291,763 viviendas habitadas.

893 *Geolocalización de la población del sector residencial*

894 La geolocalización de las viviendas habitadas nos permitió identificar en qué zona
895 de la ciudad se encuentran ubicadas la mayor cantidad de viviendas para realizar el
896 muestreo. En la figura 4 se muestra el mapa de Mexicali en el que se representa la
897 distribución espacial de las viviendas habitadas. Se utiliza una paleta de colores que
898 va de azul a rojo, donde el azul representa las áreas donde es menor la densidad
899 de viviendas habitadas y de color rojo donde es mayor la densidad de viviendas
900 habitadas.



901

902

Figura 3. Densidad de viviendas habitadas en Mexicali.

903

Determinar el tamaño de muestra del sector residencial

904

Se utilizó un muestreo probabilístico ya que se realizó inferencia de la información de una población. De esta forma se determinaron los parámetros de cada variable mediante el estudio de los estadígrafos de la muestra, la cual fue ser significativa para que la inferencia sea pertinente y cercana a la realidad. La muestra es la parte de la población de la cual se obtiene la información que se desea conocer.

908

909

La selección de los encuestados se realiza siguiendo un muestreo aleatorio estratificado, combinado con un muestreo aleatorio simple. El primero se aplica porque se tuvo en cuenta las zonas de la ciudad donde más densidad de viviendas habitadas existen y el segundo porque la encuesta fue divulgada por las redes sociales, estudiantes y trabajadores de la UABC por lo que cualquier vivienda ubicada en la ciudad de Mexicali puede ser seleccionada.

914

915 *Diseño del cuestionario del sector residencial*

916 El diseño de las encuestas se basó en instrumentos aplicados en Estados Unidos
917 de América, México y Colombia. Se tuvieron en cuenta los siguientes principios para
918 el diseño de un cuestionario comprensible y pertinente.

- 919 • Lenguaje claro y preciso.
- 920 • Preguntas claras.
- 921 • Exigir solo respuestas cortas.
- 922 • Proporcionar la información necesaria para que el encuestado conozca el
923 objetivo del cuestionario.
- 924 • Realizar preguntas que generen respuestas espontáneas.
- 925 • El cuestionario no debe ser demasiado extenso.
- 926 • Que el encuestado se sienta en confianza y cómodo para responder cada
927 pregunta.
- 928 • Si las respuestas son de selección múltiple éstas no deben dejar lugar a
929 duda.

930 Tomando como referencias los estudios realizados por Wiltsee,1998; Solarte
931 Burbano & Vargas Dorado, 2013; Díaz, 2014 y los principios para el diseño de
932 encuesta, se obtuvo el cuestionario que se muestra en el (Anexo 2). El cuestionario
933 se divide en 3 bloques de preguntas. El primero se refiere a información general,
934 lugar donde se encuentra ubicada la vivienda, número de habitantes y hábitos de
935 reciclaje. El segundo bloque está encaminado a conocer los hábitos de consumo de
936 aceite vegetal en la vivienda, frecuencia de compra, usos y volumen de compra. El
937 último bloque de preguntas es para conocer la generación de AVR en la vivienda,
938 el conocimiento sobre reciclaje de residuos y disposición de recolección que tienen
939 en cada vivienda.

940 Se realizó una prueba piloto para evaluar la pertinencia del cuestionario obtenido.
941 La prueba piloto fue realizada a 30 encuestados y esto permitió realizar mejoras en
942 la estructura gramatical de las preguntas, determinar el tiempo promedio que el

943 encuestado dedicaba a responder el cuestionario, diseñar la estrategia de
 944 aplicación y cronogramas de ejecución de las actividades.

945 *Estrategia de aplicación del cuestionario para el sector residencial*

946 La estrategia de aplicación del cuestionario permitió el manejo de un gran volumen
 947 de datos, un cuestionario fácil y rápido de responder y optimizó tiempo, recursos
 948 materiales y humanos. Se realizó el cuestionario de manera online, para ello se
 949 estudiaron dos sitios web www.sirvio.com y www.surveymonkey.com. En la tabla 6
 950 se muestra un resumen de las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

951 Tabla 6. Características de los sitios web para la aplicación de cuestionario online

Sitios para la aplicación de encuestas	Ventajas	Desventajas
 SurveyMonkey	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede personalizar la encuesta poniendo los logos de la institución. • Excelentes opciones de diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> • No es posible compartir el cuestionario, procesar y descargar los resultados de forma gratuita. • No se tiene la opción para que las preguntas sean obligatorias de manera individual. • Tiene un pequeño nivel de complejidad para su manejo.
 sirvio	<ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con plantillas de diseño. • Es fácil y sencillo su manejo. • De forma gratuita se puede compartir la encuesta, visualizar las respuestas. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se puede personalizar el cuestionario con un logo de forma gratuita. • Opciones de diseño de preguntas limitado.

952 Se decidió utilizar Survio para el diseño, aplicación y procesamiento de los
 953 cuestionarios por sus ventajas y desventajas. Al tener lista la encuesta en el sitio
 954 web se comenzaron las acciones de divulgación y aplicación:

- 955 1. Se compartió el cuestionario con profesores del laboratorio de biomasa y
 956 bioenergéticos, estudiantes de posgrado del Instituto de Ingeniería, jefes de

957 programas de posgrado de las facultades del Campus Mexicali, grupos de
958 Facebook, amigos y familiares que viven en Mexicali.

959 2. Visitas a las colonias Pórticos del Valle, Orquídeas, El Campanario,
960 Villafontana, Palmar de Santa Anita y los fraccionamientos Gran Venecia y
961 Villa Florida.

962 3. Visitas a mercados con afluencia de personas.

963 Para la aplicación del cuestionario se necesita un dispositivo electrónico, ya sea
964 teléfono inteligente o Tablet. La encuesta puede ser llenada por el encuestador
965 directamente por el encuestado.

966 3.3.4. Clasificación de fuentes de generación

967 Una vez analizada la información de los 3 sectores de generación de AVR, se
968 clasificaron como se muestra en la tabla 7.

969 Tabla 7. Clasificación de las fuentes de generación

Sectores	Volumen de generación (L/mes)	Actividad Productiva	Fuentes de generación
Industrial	A partir de 500	Industrias que producen alimentos para la venta mayorista.	Industrias de alimentos
Servicios	De 0 a 1,000	Establecimientos que preparan alimentos para la venta o para el servicio a la comunidad.	Comedores Restaurantes Hoteles Centros comerciales Escuelas Hospitales
Residencial	De 0 a 20	Viviendas habitadas donde se consume aceite vegetal para freír alimentos.	Viviendas

970 Esta clasificación se realizó con base en el estudio de generación de AVR en la
971 ciudad de Mexicali. La clasificación puede variar, porque las ciudades difieren en su
972 dinámica poblacional, hábitos alimenticios, actividad económica y legislaciones
973 ambientales. Es importante realizar una correcta clasificación de las fuentes de
974 generación porque de ello dependerá el diseño de la estrategia de recolección.

975 **3.4. Tercera Etapa. Estrategias para la recolección**

976 Dentro de las características que diferencian las fuentes de generación se
977 encuentran el volumen de AVR que generan y las condiciones para su recolección.
978 Fue necesario definir premisas para atender las diferencias entre las fuentes de
979 generación y lograr estandarizar el SLR-AVR. Localización los puntos de
980 recolección, asignación de contenedores para el acopio y definición de la frecuencia
981 de recolección fueron el resto de los elementos que estructuraron la estrategia para
982 la recolección de AVR en el sistema.

983 **3.4.1. Premisas del SLR-AVR**

984 La estrategia de diseño del SLR-AVR se basa en premisas de recolección generales
985 y específicas para cada sector de generación. La primera premisa general fue
986 utilizar los mismos recursos con que opera el sistema de recolección que existe en
987 la ciudad de Mexicali (SR-Actual) y trabajar bajo las mismas condiciones de tiempo.

988 La flota vehicular es uno de los recursos del SR-Actual y está compuesta por 1 Pipa
989 International de 20,000 L, 1 Pipa GMC de 7,500 L, 1 Pipa Ford F-550 de 5,000 L, 1
990 Nissan NP300 con capacidad para transportar 28 contenedores de 50 L y 50 de 20
991 L y 1 Ford Transit Panel con capacidad para transportar 81 contenedores de 50 L y
992 146 de 20 L. Se realiza el mantenimiento preventivo a los vehículos a los 5,000 km
993 de recorridos.

994 El SR-Actual utiliza contenedores de 20, 50, 200 y 1,000 litros de capacidad para el
995 acopio de AVR. Es responsabilidad del centro de acopio proporcionar a la fuente de
996 generación los contenedores y también de su reposición y limpieza.

997 La recolección se realiza en las ventanas de tiempo establecidas por el cliente y la
998 jornada laboral del centro de acopio, la cual es de 8 horas. El horario de trabajo de
999 los recolectores es corrido, de las 08:00 hasta 16:00 horas. El punto de acopio sólo
1000 será visitado una vez en el día.

1001 Además de las premisas generales antes mencionadas, fue necesario establecer
1002 premisas específicas para cada sector de generación como se describe en la tabla
1003 8.

1004
1005

Tabla 8. Premisas para la recolección de aceite vegetal residual por sector de generación

#	Industrial	Servicios	Residencial
1	Se coloca en el punto de generación un recipiente de acopio de 1,000 L para el almacenamiento del AVR.	Se entrega bidones vacíos para la recolección del AVR de 20 L, 50 L y 200 L.	Se colocan contenedores de acopio en puntos estratégicos de la ciudad con capacidad para 200 L.
2	El recipiente de acopio debe ser ubicado en un área de fácil acceso para el vehículo de recolección.	El AVR es depositado en los contenedores por un responsable en el punto de acopio.	El AVR es vertido por el usuario al interior del recipiente.
3	La recolección se realiza en camiones cisterna.	La recolección se realiza en camiones tipo furgón o camiones cisterna de no más de 7,000 L de capacidad.	La recolección se realiza en camiones cisterna de no más de 7,000 L de capacidad.
4	El camión cisterna sale vacío del centro de acopio y regresa al centro de acopio con el AVR recolectado.	Los camiones tipo furgón salen del centro de acopio con contenedores vacíos y regresan al centro de acopio con contenedores llenos de AVR. El camión cisterna sale vacío del centro de acopio y regresa al centro de acopio lleno de AVR.	El camión cisterna sale vacío del centro de acopio y regresa al centro de acopio lleno de AVR.
5	Se extraerá todo el AVR que se encuentre en el recipiente de acopio.	Las entregas de contenedores vacíos y recolección de contenedores llenos se realizan de manera simultánea en cada punto de generación.	Se extraerá todo el AVR que se encuentre en el recipiente de acopio

1006

3.4.2. Localización de puntos de recolección

1007

En el sector industrial y sector de servicios los puntos de recolección coinciden con el lugar donde se encuentra ubicada la fuente de generación. En el caso del sector residencial es necesario localizar estaciones fijas donde la población deposite el AVR generado en su vivienda, para optimizar el sistema de recolección.

1008

1009

1010

1011

Los puntos de recolección para el sector residencial se colocaron en puntos estratégicos de la ciudad, cercanos a las fuentes de generación y de fácil acceso.

1012

1013

Fueron seleccionados como puntos estratégicos todos los mercados ubicados en la ciudad. Mediante un análisis de minimización de impedancia con el método P-

1014

1015 Medial se evaluó la localización de las instalaciones con respecto a los puntos de
 1016 demanda que representan las viviendas habitadas que generan AVR en la ciudad
 1017 de Mexicali. La distancia entre las instalaciones y los puntos de demanda es la
 1018 variable para optimizar. La restricción principal del análisis es que el punto de
 1019 demanda asignado a una instalación tiene que estar a una distancia máxima de
 1020 5,000 m.

1021 **3.4.3. Asignación de contenedores para el acopio de AVR**

1022 Los contenedores para el acopio del AVR se asignaron a cada punto de recolección
 1023 teniendo en cuenta el sector de generación al que pertenecen, la disponibilidad de
 1024 almacenamiento y las condiciones de acceso del vehículo de recolección. Siendo
 1025 así, los puntos de recolección se clasificaron en 6 grupos, en la tabla 9 se muestra
 1026 la asignación realizada.

1027 Tabla 9. Asignación de contenedores de acopio

Grupos	Contenedor	Sector de Generación
SI_1000	Tanque de 1,000 L	Sector Industrial
SR_200	Tanque de 200 L	Sector Residencial
SS_200	Tanque de 200 L	Sector Servicios con generación mayor a 100 L mensuales
SS_50	Bidón de 50 L	Sector Servicios con generación entre 40 y 90 L mensuales
SS_20	Bidón de 20 L	Sector Servicios con generación entre 20 y 35 L mensuales
SS_M20	Bidón de 20 L	Sector Servicio con generación menor de 20 L mensuales

1028 La recolección en el grupo SS_1000 necesita fácil acceso al contenedor de acopio
 1029 para extraer el AVR de su interior por un sistema de bombeo y depositarlo en la
 1030 Pipa International, Pipa GMC o Ford F550.

1031 En el caso de los puntos del SS_200 y SR_200 los contenedores se transportan
 1032 hasta el vehículo de recolección (Pipa GMC o Ford F550) utilizando una carretilla
 1033 de carga y se extrae el AVR con un sistema de bombeo, al terminar la descarga del
 1034 residual el contenedor vacío se regresa al espacio de almacenamiento.

1035 Todos los puntos que integran el SS_50, SS_20 y SS_M20 serán visitados por el
 1036 Nissan NP300 o el Ford Transit Panel. En una carretilla de carga se trasladan los
 1037 contenedores llenos de AVR desde el punto de almacenamiento al vehículo de
 1038 recolección, y aquí se realiza el intercambio por contenedores vacíos. En cada visita
 1039 se entregan la misma cantidad de contendores que se recolectan.

1040 **3.4.4. Frecuencia de recolección**

1041 La frecuencia de recolección depende del volumen de generación de cada sector.
 1042 Se estableció una frecuencia mínima de una vez por semana para los grupos
 1043 SR_200 y SS_200, una frecuencia máxima de una vez al mes para los grupos
 1044 SI_1000, SS_50 y SS_20. Los puntos de recolección que integran el grupo SS_M20
 1045 generan volúmenes inferiores a los 10 L/mes de AVR por lo que se decidió espaciar
 1046 la recolección a una vez cada 3 meses.

1047 **3.5. Cuarta etapa. Modelo de optimización**

1048 Se parte de que el problema es del tipo VRPSPDTW y su objetivo es determinar el
 1049 conjunto de rutas que permita satisfacer la demanda de todos los clientes
 1050 atendiendo sus restricciones y optimizando recursos. En la tabla 10 se muestran las
 1051 variables restrictivas y de optimización.

1052

Tabla 10. Variables restrictivas y de optimización		
Variables restrictivas	Variables de optimización	
	<i>Independientes</i>	<i>Dependientes</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de los vehículos. • Cantidad de vehículos disponibles. • Jornada laboral en el centro de recolección. • Horario de cada punto de generación para atender la carga y descarga de la mercancía. • Tránsito vehicular. • Demanda de los clientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de recorrido entre cada uno de los puntos de generación y el centro de recolección. • Tiempo de recorrido entre cada uno de los puntos de generación y el centro de recolección. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de carga en el centro de recolección. • Tiempo de descarga en los puntos de generación. • Generación de CO₂ en las rutas de recolección. • Costos de transportación.

1053 El modelo de optimización se diseñó mediante fórmulas matemáticas que
 1054 representan la relación entre variables, parámetros y restricciones. Las variables

1055 son aquellos objetos que se pretenden optimizar y los parámetros son valores
 1056 conocidos y controlables que estructuran el modelo. Con base en los supuestos de
 1057 optimización y las restricciones, se definen las variables y los parámetros que
 1058 estarán presentes en el modelo matemático, como se representa en la tabla 11.

1059 **Tabla 11. Variables y parámetros que definen el VRPSPDTW**

Variables	Parámetros
x_{ij}^k : Indica si el arco (i,j) con $i,j \in I^+$ es recorrido por el vehículo $k \in K$.	I : Conjunto de clientes $I = \{1,2,3 \dots n\}$ $I^+ = I \cup \{0\}$.
t_{ij}^k : Tiempo del viaje del vehículo $k \in K$ por el arco (i,j) con $i,j \in I^+$.	d_i : Cantidad de mercancía para entregar con $i \in I$.
$t_{ij}^k = C_{ij} * v^k$	p_i : Cantidad de mercancía para recoger con $i \in I$.
t_i^k : Tiempo en el vehículo $k \in K$ arriba al cliente $i \in I$.	m : Cantidad de vehículos.
s_{ij}^k : Tiempo de servicio	Q : Capacidad de los vehículos.
$s_{ij}^k = (d_i + p_i) * h^k$	h^k : Velocidad de carga/descarga.
D_{ij} : Representa la cantidad de mercancía para entregar transportada por el arco (i,j) $i,j \in I^+$.	v^k : Constante asociada a la velocidad promedio del vehículo.
P_{ij} : Representa la cantidad de mercancía recolección transportada por el arco (i,j) $i,j \in I^+$.	
C_{ij} : Variable a optimizar del nodo i al j.	

1060 Fuente: Elaboración propia.

1061 El modelo matemático que se presenta está basado en los modelos definidos por
 1062 Min, 1989; Fernández, 2013 y Ballesteros & Escobar, 2015. El problema se modela
 1063 sobre un grafo, siendo los vértices los clientes y el depósito, por lo cual el conjunto
 1064 I^+ y los arcos son los caminos entre estos vértices.

1065 **Función objetivo:**

1066
$$\min \sum_{k=1}^m \sum_{i,j \in I^+} C_{ij} * x_{ij}^k \tag{3}$$

1067
$$\min \sum_{k=1}^m \sum_{i,j \in I^+} C_{ij} * t_{ij}^k \tag{4}$$

1068 **Restricciones:**

1069
$$1. \sum_{k=1}^m \sum_{j \in I^+} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in I \tag{5}$$

1070
$$2. \sum_{j \in I^+} x_{js}^k - \sum_{j \in I^+} x_{sj}^k = 0 \quad \forall s \in I^+, \forall k \in K \tag{6}$$

1071
$$3. \sum_{j \in I^+} x_{0j}^k \leq m^k \quad \forall k \in K \tag{7}$$

1072
$$4. \sum_{j \in I^+} D_{0j} = \sum_{i \in I^+} d_i \tag{8}$$

1073
$$5. \sum_{j \in I^+} P_{j0} = \sum_{i \in I^+} p_i \tag{9}$$

1074
$$6. \sum_{j \in I^+} D_{ji} - \sum_{j \in I^+} D_{ij} = d_i \quad \forall i \in I \tag{10}$$

1075	7.	$\sum_{j \in I^+} P_{ij} - \sum_{j \in I^+} P_{ji} = p_i$	$\forall i \in I$	(11)
1076	8.	$P_{ij} + D_{ij} \leq \sum_{k=1}^m x_{ij}^k Q^k$	$\forall i, j \in I^+$	(12)
1077	9.	$t_0^k = 0$	$\forall k \in K$	(13)
1078	10.	$x_{ij}^k (t_i^k + s_i^k + t_{ij}^k - t_j^k) \leq 0$	$\forall i, j \in I^+, \forall k \in K$	(14)
1079	11.	$t_i^k \geq 0$	$\forall i \in I, \forall k \in K$	(15)
1080	12.	$x_{ij}^k \in \{0,1\}$	$\forall i, j \in I^+, \forall k \in K$	(16)
1081	13.	$D_{ij} \geq 0$	$\forall i, j \in I^+$	(17)
1082	14.	$P_{ij} \geq 0$	$\forall i, j \in I^+$	(18)

1083 La función objetivo (3) se encarga de minimizar la distancia de recorrido, mientras
1084 que la (4) el tiempo de recorrido. La restricción (5) asegura que todos los puntos de
1085 recolección sean visitados una vez. La continuidad del recorrido desde un punto se
1086 garantiza con la restricción (6). Con (7) se asegura que cada vehículo sea utilizado
1087 sólo una vez, debido a que la flota de vehículos es heterogénea. Las restricciones
1088 (8) y (9) aseguran que el AVR recolectado se lleve hasta el centro de acopio y que
1089 todos los contenedores que se debe entregar se encuentren en el centro de acopio.
1090 Las restricciones (10) y (11) aseguran que las demandas de recolección y entrega
1091 en cada punto de recolección sea cubierta. En el caso de (12) indica que entrega y
1092 recolección de AVR sólo puede realizarse por el arco incluido en la solución. Con
1093 (13) se garantiza que todos los vehículos parten del centro de acopio en el instante
1094 inicial. La relación entre los tiempos de arribo de los vehículos a los puntos de
1095 recolección en una ruta se define en la restricción (14). La ecuación (15) hace que
1096 el tiempo de arribo sea un valor no negativo. Por último, (16) está asociado al
1097 dominio y (17) y (18) son las condiciones de no negatividad.

1098 La red está compuesta por puntos de generación donde los vehículos realizarán sus
1099 paradas, cada punto tiene una cantidad de recipientes que entregar y otra que
1100 recibir y cada vehículo tiene una capacidad limitada de recipientes a transportar. El
1101 objetivo principal es asignar a los vehículos un conjunto de los puntos de recolección
1102 y establecer la secuencia de entregas de manera que se optimicen las variables
1103 definidas en el modelo. Se parte de un problema de entregas y recolección en una
1104 sola visita para los grupos SS_50, SS_20 y SS_M20 y un problema de solo
1105 recolección para los grupos SI_1000, SR_200 y SS_200.

1106 Se considera la capacidad de transporte de la flota de vehículos y las ventanas de
1107 tiempo para realizar las visitas, por lo tanto, es un problema de enrutamiento de
1108 vehículo con entrega y recolección simultánea con ventanas de tiempo
1109 (VRPSPDTW) y un problema de enrutamiento de vehículos con capacidad limitada
1110 y ventanas de tiempo (CVRPTW).

1111 El objetivo del modelo es minimizar la distancia total de viaje y el tiempo de recorrido,
1112 al satisfacer la demanda de todos los clientes atendiendo sus restricciones. La red
1113 comienza en el centro de acopio y termina en el mismo. Atendiendo a la clasificación
1114 de las fuentes de generación se utilizó una flota de vehículos con diferentes diseños
1115 y capacidades de transporte (heterogénea).

1116 **3.6. Quinta etapa: Rutas de recolección**

1117 El proceso de recolección de AVR tiene gran cantidad de datos y un modelo de
1118 optimización complejo, por lo que se utiliza *ArcGIS* como herramienta para resolver
1119 el problema, específicamente en la herramienta *Network Analyst*. Esta herramienta
1120 permite planificar rutas desde la construcción del modelo de optimización. *ArcGIS*
1121 agrupa las redes en dos categorías: las redes geométricas y *Datasets* de red. En
1122 este trabajo se aplica un *Datasets* de red el cual es capaz de construir un modelo
1123 de transporte por carretera. En resumen, lo que se necesita para solucionar el
1124 problema en *ArcGIS* son las capas con los datos de atributos y restricciones del
1125 modelo matemático, la creación del *Network Dataset* de Red y ejecutar el *Network*
1126 *Analyst*.

1127 **3.6.1. Crear capas con los datos de entrada del modelo**

1128 El modelo se alimentó de capas con información de las variables a optimizar. Las
1129 capas de entidades utilizaron datos de entidades vectoriales de puntos, polilíneas y
1130 polígonos. Fueron creadas 6 capas de puntos y 2 capas de líneas. Una capa de
1131 puntos para cada estrato según el tipo de recipiente (*SI_1000*, *SR_200*, *SS_200*,
1132 *SS_50*, *SS_20*, *SS_M20*) y otra para el centro de acopio (*CA_Mxl*). Las capas de
1133 líneas contienen las vialidades por donde viajarán los vehículos en la red
1134 (*Vias_Mxl_SL*) y los giros prohibidos (*GirosP_Mxl*).

1135 Cada capa tiene los atributos que permitieron crear las impedancias de costo
 1136 (variables de optimización) y las restricciones del modelo (variables restrictivas)
 1137 (figura 5). En las capas *SI_1000*, *SR_200*, *SS_200*, *SS_50*, *SS_20* y *SS_M20* los
 1138 atributos imprescindibles en estas capas son: la localización, generación de AVR,
 1139 tipo de recipiente a recolectar, cantidad de recipientes a recolectar, tiempo de
 1140 servicio, frecuencia de acopio, horario de apertura y cierre del establecimiento.

FID	Shape *	FID_	ID	ObjectID	Name	FolderPath	DemandCoun	Generacion	Gen_VH
0	Point	0	1	154	Costco	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	55	23	1100
1	Point	1	2	155	Sams	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	50	36.714286	1000
2	Point	2	3	156	Liverpool		4	35.357143	80
3	Point	3	4	157	Walmart Lazaro Card	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	42	36.714286	840
4	Point	4	5	158	Walmart GalerÃa	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	74	36.714286	1480
5	Point	5	6	159	Walmart Plaza San P	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	298	36.714286	5960
6	Point	6	7	160	Walmart Calle Noven	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	382	36.714286	7640
7	Point	7	8	161	Walmart Nuevo Mexic	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	173	36.714286	3460
8	Point	8	9	162	Soriana HÃa-per PI	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	210	30	4200
9	Point	9	10	163	Soriana Hiper Calz In	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	36	12	720
10	Point	10	11	164	Soriana SÃa-per L	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	148	10	2960
11	Point	11	12	165	Soriana HÃa-per Ja	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	270	32	5400
12	Point	12	13	166	Soriana HÃa-per C	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	105	26	2100
13	Point	13	14	167	Soriana HÃa-per A	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	110	101	2200
14	Point	14	15	168	Ley Plaza Cachanilla	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	65	36.714286	1300
15	Point	15	16	169	Ley Pueblo Nuevo	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	131	36.714286	2620
16	Point	16	17	170	Ley SÃa-per GÃa	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	444	36.714286	8880
17	Point	17	18	171	Ley Independencia	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	101	36.714286	2020
18	Point	18	19	172	Ley Villafontana	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	224	36.714286	4480
19	Point	19	20	173	Ley Plaza Nuevo Mex	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	22	36.714286	440
20	Point	20	21	174	Ley SÃa-per Juven	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	73	36.714286	1460
21	Point	21	22	175	Ley Express Calle No	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	357	36.714286	7140
22	Point	22	23	176	Ley Express Quinta d	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	47	36.714286	940
23	Point	23	24	177	Ley Express Mision d	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	126	36.714286	2520
24	Point	24	25	178	Ley Express Feunte	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	273	36.714286	5460
25	Point	25	26	179	Ley Express Pedrega	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	110	36.714286	2200
26	Point	26	27	180	Ley Plaza Senderos	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	19	36.714286	380
27	Point	27	28	181	Ley Super Express L	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	63	36.714286	1260
28	Point	28	29	182	Ley Super Express Ã	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	190	36.714286	3800
29	Point	29	30	183	Ley Periferico	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	191	36.714286	3820
30	Point	30	31	184	Calimax Xochimilco	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	31	10	620
31	Point	31	32	185	Calimax Hidalgo	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	197	41.222222	3940
32	Point	32	33	186	Calimax Lazaro Card	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	1	41.222222	20
33	Point	33	34	187	Calimax Independenci	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	324	12	6480
34	Point	34	35	188	Calimax Zaragoza	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	188	41.222222	3760
35	Point	35	36	189	Caliax Santa Barbara	Etablecimientos Comerciales.kml/Eta	269	2	5380

1141 SR_200
 1142 Figura 4. Ejemplo de capas de puntos con la informaci3n de los puntos de
 1143 recolecci3n SR_200

1144 La capa *Vias_Mxl_SL* (figura 6) se descarg3 del sitio del Instituto Nacional de
 1145 Estadística y Geografía (INEGI). El archivo solo tenía la localizaci3n, el sentido de
 1146 tránsito y la longitud de cada uno de los segmentos de calle, por lo que fue necesario

1147 incluir los atributos de velocidad, tiempo de viaje, prioridad y pasos a nivel. La capa
 1148 CA_Mxl (figura 7) tiene como atributos la localización, horario de apertura y cierre
 1149 del centro de acopio. La capa GirosP_Mxl (figura 8) fue descargada del sitio de
 1150 OpenStreetMap y se agregaron las restricciones vehiculares por obras constructivas
 1151 en carreteras de la ciudad.

OBJECTID*	Shape*	osm_id	code	fclass	name	ref	oneway	maxspeed	layer	bridge	tunnel	Dista
1	Polyline	10351481	5122	residential			B	0	0	F	F	162.8
2	Polyline	10352304	5122	residential			B	0	0	F	F	4.0
3	Polyline	10352367	5122	residential			B	0	0	F	F	30.2
4	Polyline	10356075	5115	tertiary	Heffernan Avenue	US 99 Historic	B	0	0	F	F	4.4
5	Polyline	10356488	5122	residential	Andrade Avenue		B	0	0	F	F	0.3
6	Polyline	16949217	5147	track_grade5			B	0	0	F	F	1061.2
7	Polyline	16949528	5121	unclassified	Lechiquilla Road		B	0	0	F	F	18.8
8	Polyline	16950027	5147	track_grade5			B	0	0	F	F	0.4
9	Polyline	16950343	5121	unclassified	Border Road		B	0	0	F	F	6692.8
10	Polyline	16953319	5121	unclassified			B	0	0	F	F	446.8
11	Polyline	17503290	5112	trunk	Carretera Mexicali-San Felipe	MEX 5	F	0	-1	F	T	55.3
12	Polyline	17503301	5113	primary	Boulevard Benito Juárez		F	0	0	F	F	791
13	Polyline	17503302	5132	trunk_link			F	0	0	F	F	62.4
14	Polyline	17503304	5112	trunk	Calzada Rodolfo Sánchez	MEX 2	F	0	0	F	F	1637.2
15	Polyline	17503305	5115	tertiary	Calzada Chetumal		F	0	0	F	F	972.8
16	Polyline	17503306	5114	secondary			F	0	0	F	F	76.0
17	Polyline	17503307	5114	secondary	Calle Agustín Melgar		F	0	0	F	F	148.8
18	Polyline	17503308	5122	residential	Avenida Benito Juárez		B	0	0	F	F	422.8
19	Polyline	17503309	5114	secondary	Calle José Azueta		B	0	0	F	F	238.8
20	Polyline	17503310	5115	tertiary	Calle Ignacio Manuel Altamirano		B	0	0	F	F	323.8
21	Polyline	17503311	5115	tertiary	Avenida Reforma		F	0	0	F	F	262.8
22	Polyline	17503312	5115	tertiary	Avenida Jalisco		B	0	0	F	F	1986.4
23	Polyline	17503313	5141	service	Boulevard Adolfo López Mateos		B	0	0	F	F	146.8
24	Polyline	17503315	5114	secondary	Avenida Reforma		F	0	0	F	F	44.8
25	Polyline	17948509	5113	primary	Calzada Justo Sierra		F	0	0	F	F	578.4
26	Polyline	17948598	5133	primary_link			F	0	0	F	F	110.2
27	Polyline	17948740	5114	secondary	Avenida República de Brasil		F	0	0	F	F	918.4
28	Polyline	17948956	5114	secondary	Calzada Ignacio Zaragoza		B	0	0	F	F	304.8
29	Polyline	17955549	5114	secondary	Calzada Francisco López		F	0	0	F	F	1126.8
30	Polyline	17955592	5114	secondary	Calzada Francisco López		F	0	0	F	F	549.8
31	Polyline	17955774	5113	primary	Calzada Independencia		F	0	0	F	F	380.8
32	Polyline	17956075	5114	secondary	Calzada Francisco López		B	0	0	F	F	5.8

1152

1153

Figura 5. Capa de vialidades (Vias_Mx_SLR).

FID	Shape*	Nombre	Abierto	Cerrado	Latitud	Longitud
0	Point	Centro de Acopio	08:00:00	18:00:00	32.61214	-115.432595

1154

1155

Figura 6. Centro de Acopio de AVR (CA_Mxl).

OBJECTID *	Shape *	Edge1End	Edge1FCID	Edge1FID	Edge1Pos	Edge2FCID	Edge2FID	Edge2Pos	Edge3FCID	Edge3FID	Edge3Pos	Ed
1	Polyline	Y	1	41	0.5	1	25	0.5	1	28	0.5	
2	Polyline	N	1	4	0.5	1	4	0.5	0	0	0	
3	Polyline	N	1	10	0.5	1	10	0.5	0	0	0	
4	Polyline	Y	1	50	0.5	1	50	0.5	0	0	0	
5	Polyline	Y	1	51	0.5	1	51	0.5	0	0	0	
6	Polyline	N	1	6	0.5	1	6	0.5	0	0	0	
7	Polyline	N	1	94	0.5	1	37	0.5	0	0	0	
8	Polyline	N	1	51	0.5	1	51	0.5	0	0	0	
9	Polyline	N	1	20	0.5	1	20	0.5	0	0	0	
10	Polyline	Y	1	137	0.5	1	137	0.5	0	0	0	
11	Polyline	Y	1	136	0.5	1	136	0.5	0	0	0	
12	Polyline	Y	1	160	0.5	1	160	0.5	0	0	0	
13	Polyline	N	1	160	0.5	1	160	0.5	0	0	0	
14	Polyline	Y	1	181	0.5	1	181	0.5	0	0	0	
15	Polyline	Y	1	202	0.5	1	202	0.5	0	0	0	
16	Polyline	N	1	170	0.5	1	170	0.5	0	0	0	
17	Polyline	N	1	221	0.5	1	221	0.5	0	0	0	
18	Polyline	N	1	296	0.5	1	296	0.5	0	0	0	
19	Polyline	Y	1	388	0.5	1	389	0.5	0	0	0	
20	Polyline	N	1	220	0.5	1	388	0.5	0	0	0	
21	Polyline	N	1	220	0.5	1	453	0.5	0	0	0	
22	Polyline	Y	1	398	0.5	1	398	0.5	0	0	0	
23	Polyline	Y	1	396	0.5	1	396	0.5	0	0	0	
24	Polyline	Y	1	404	0.5	1	405	0.5	0	0	0	
25	Polyline	Y	1	475	0.5	1	405	0.5	0	0	0	
26	Polyline	Y	1	459	0.5	1	460	0.5	0	0	0	
27	Polyline	N	1	359	0.5	1	359	0.5	0	0	0	
28	Polyline	N	1	181	0.5	1	181	0.5	0	0	0	
29	Polyline	Y	1	506	0.5	1	505	0.5	1	541	0.5	
30	Polyline	Y	1	512	0.5	1	512	0.5	0	0	0	
31	Polyline	Y	1	540	0.5	1	540	0.5	0	0	0	
32	Polyline	N	1	475	0.5	1	404	0.5	0	0	0	

1156

1157

Figura 7. Capa de giros prohibidos (GirosP_Mxl).

1158

3.6.2. Creación del Dataset de Red

1159

Las capas son entidades simples que se conectan mediante el *Network Dataset* (ND) para realizar el análisis de red. La creación del ND consiste en configurar las políticas de giro, conectividad, los pasos a nivel y las impedancias que son la base para el análisis de red.

1163

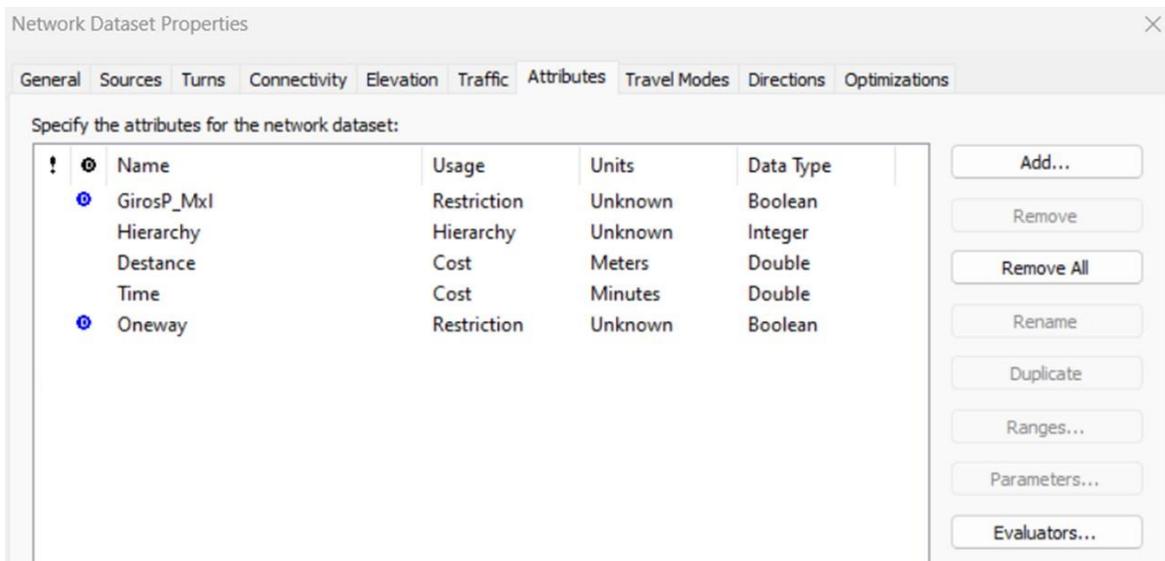
Se crearon impedancias de costo, prioridad y restrictivas. Las impedancias de costo son los operadores que optimizan el sistema como: la distancia de las rutas (*Distance*) y el tiempo de viaje (*Time*). Los giros prohibidos, restricciones de tránsito (*GirosP_Mxl*) y sentido de las calles (*Oneway*) se definieron como impedancias de restricción. Como impedancia de jerarquía se estableció la prioridad en la circulación (*Hierarchy*) la cual se definió con base en el tráfico de la ciudad y sus horarios pico.

1169

Se creó el *Dataset de red* con la capa *Vias_Mxl_SL*, se configuró la política de giros con la capa *GirosP_Mxl*, se definen los pasos a nivel utilizando el atributo *Hierarchy*

1170

1171 de la capa de *Vias_Mxl_SL*. Finalmente, se establecen los operadores: *Distance*,
1172 *Time*, *GirosP_Mxl*, *Oneway*, *Hierarchy*. En la figura 9 se muestra la configuración
1173 del Dataset de red.



1174

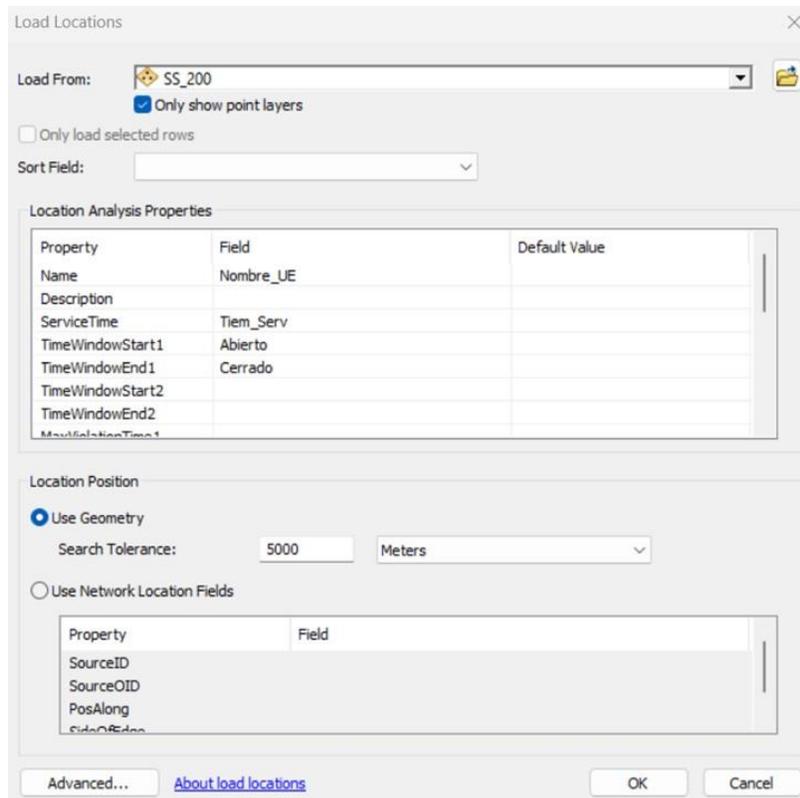
1175

Figura 8. Ventana de atributos del Dataset de red.

1176 3.6.3. Ejecutar el Network Analyst

1177 Este operador permitió encontrar las rutas que deben tomar los vehículos para
1178 optimizar las impedancias del modelo, al tiempo que cumple con las exigencias del
1179 cliente.

1180 Esta ventana tiene 3 apartados de información *Orders*, *Depots*, *Routes*. En *Orders*
1181 se cargó la localización de los puntos de recolección, los tiempos de carga y
1182 descarga, su demanda y las ventanas de tiempo. Dicha información se encuentra
1183 en las capas *SI_1000*, *SR_200*, *SS_200*, *SS_50*, *SS_20* y *SS_M20*. En la figura 10
1184 se muestra un ejemplo de la ventana donde se cargan la localización de los puntos
1185 de recolección y los atributos para evaluar las impedancias.



1186

1187

Figura 9. Ventana para cargar a los puntos de recolección.

1188

En *Depots* se cargó la localización del centro de recolección, los tiempos de carga

1189

y descarga y el horario de apertura y cierre, información que se encuentra en la

1190

capa *CA_Mxl*. En *Routes* se cargó la información de todos los vehículos utilizados

1191

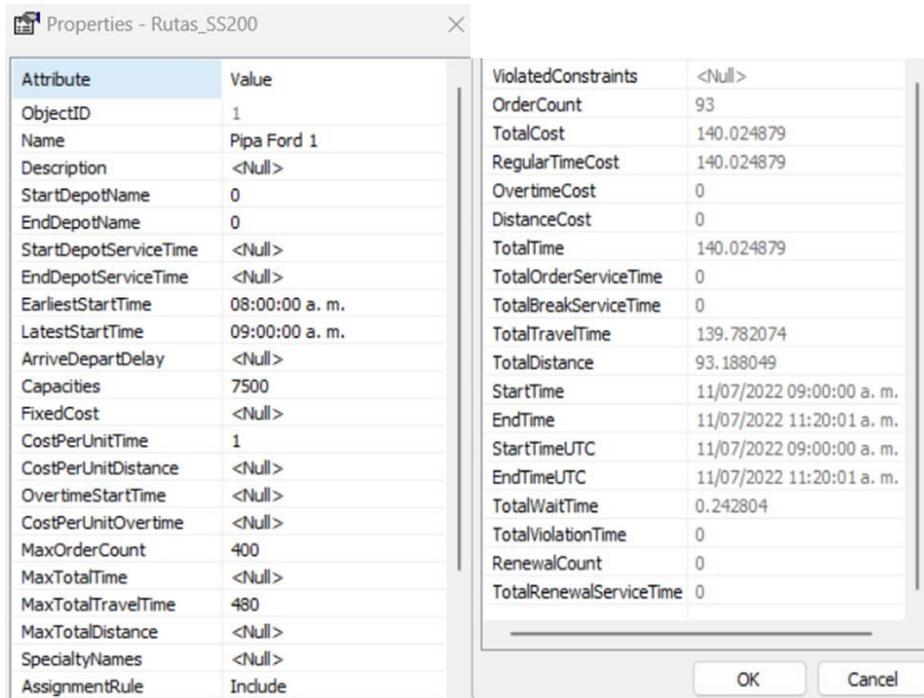
en las visitas: jornada laboral, capacidad, costos de transportación, punto de salida

1192

y retorno. En la figura 11 se ilustra una de las ventanas donde se carga la

1193

información de los vehículos y los recorridos de las rutas.



1194

1195

Figura 10. Ventana de propiedades de los vehículos y los recorridos.

1196

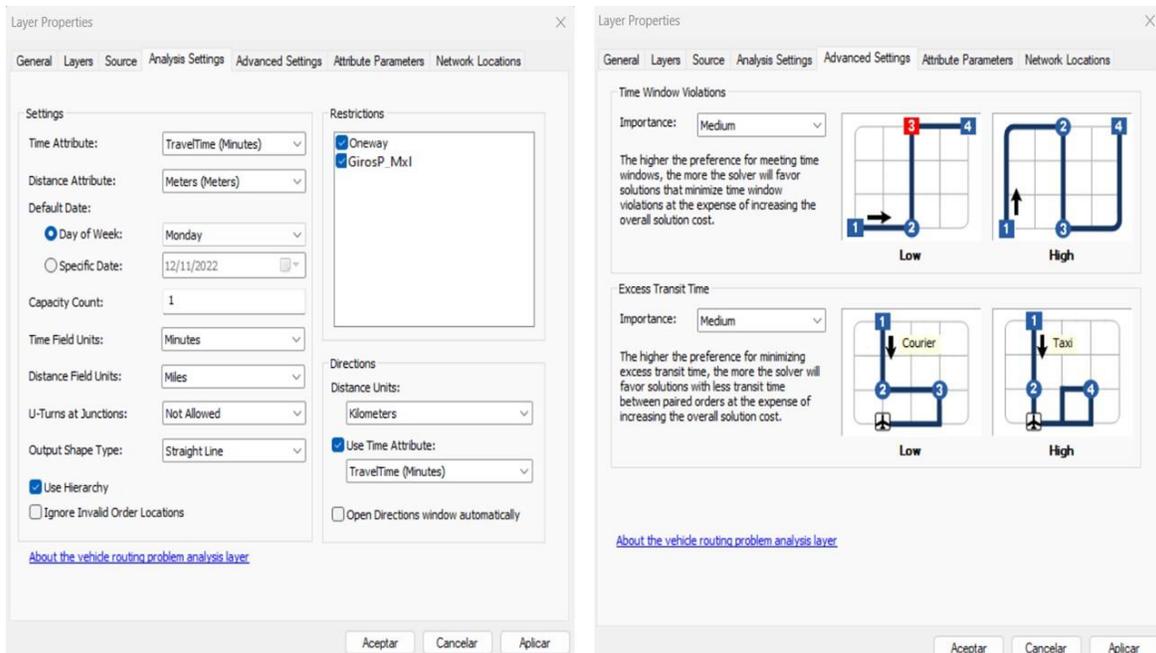
1197

1198

1199

1200

Finalmente se estableció la configuración de análisis, la cual resuelve el VPRSPDTW. Se definieron como impedancias el tiempo de viaje y la distancia de recorrido, lo cual permitirá minimizar la generación de CO₂ en las rutas y los costos de transportación. Se definieron las restricciones del modelo con los operadores establecidos en el ND (figura 12).



1201

1202

Figura 11. Ventana de propiedades del Network Analyst.

1203

1204

1205

1206

1207

1208

Una vez lista la configuración del *Network Analyst* se compiló el problema. Como resultado se obtuvieron las rutas con las indicaciones para visitar cada punto de recolección. En cada ruta se generó una tabla de atributos con la siguiente información: tiempo de viaje (duración de la ruta), distancia de viaje (longitud de la ruta), costo del recorrido, cantidad de clientes visitados, demanda servida (cantidad de contenedores entregados y cantidad de contenedores con AVR recolectados).

1209

3.7. Sexta Fase. Medición de impacto

1210

1211

1212

1213

1214

1215

1216

1217

1218

Con los resultados obtenidos del *Network Analyst* se calcularon indicadores que permitieron medir el impacto ambiental y económico del SLR-AVR. Los indicadores se dividieron en indicadores logísticos de recolección e indicadores ambientales. Los indicadores logísticos de recolección midieron la eficiencia según la gestión de los recursos logísticos. Los indicadores ambientales midieron el impacto de la generación de AVR al medioambiente y la huella de carbono que deja el proceso de recolección. La huella de carbono es una métrica ambiental que calcula la totalidad de las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nítrico). En la tabla 12 se muestran los indicadores medidos.

Tabla 12. Indicadores de gestión y medioambientales

Tipo de Indicador	Nombre	Descripción
Indicadores logísticos de recolección	Utilización de la capacidad vehicular.	Relación entre el volumen de AVR recolectados en la ruta y la capacidad del vehículo en porcentaje.
	Utilización de la Jornada Laboral.	Relación entre el tiempo realmente trabajadas y el tiempo que se debe trabajar por contrato (%)
	Consumo de Combustible.	Consumo de combustible promedio por rutas en litros.
	Tiempo de servicio por visitas.	Tiempo promedio de viaje más tiempo de carga o descarga entre el número de puntos de recolección visitados en la ruta. Se expresa en minutos.
	Eficiencia en la recolección.	Demanda servida en la ruta entre la distancia recorrida (L/km)
	Costo de transportación por rutas.	Costo del combustible, el costo del mantenimiento por km recorrido y el salario de los choferes que ejecutan la ruta. Todo eso se divide entre la cantidad de rutas (\$)
	Ingresos por recolección de AVR.	Precio del litro de AVR recolectado por la cantidad de AVR recolectado (\$)
	Correlación costo/ingresos por recolección.	Relación entre los costos de transporte con los ingresos por recolección (%)
	Indicadores medioambientales	Emisiones
Volumen de AVR recolectado por CO ₂ e		Volumen recolectado por cada CO ₂ e emitido en el proceso de recolección (L/kg)
Contaminación del agua		Volumen de agua contaminada por el desecho del AVR por el drenaje en L
Cantidad de residual recuperado		Cantidad de AVR que se genera en Mexicali en litros.

1220

Fuente: Elaboración propia.

1221

El impacto ambiental que tiene la implementación del SLR-AVR se dividen en el

1222

impacto provocado por el vertimiento del AVR al medio ambiente y el impacto

1223

ambiental provocado en el proceso de recolección de AVR. Ambos impactos se

1224

miden mediante la evaluación de variables ambientales que dependen de la

1225

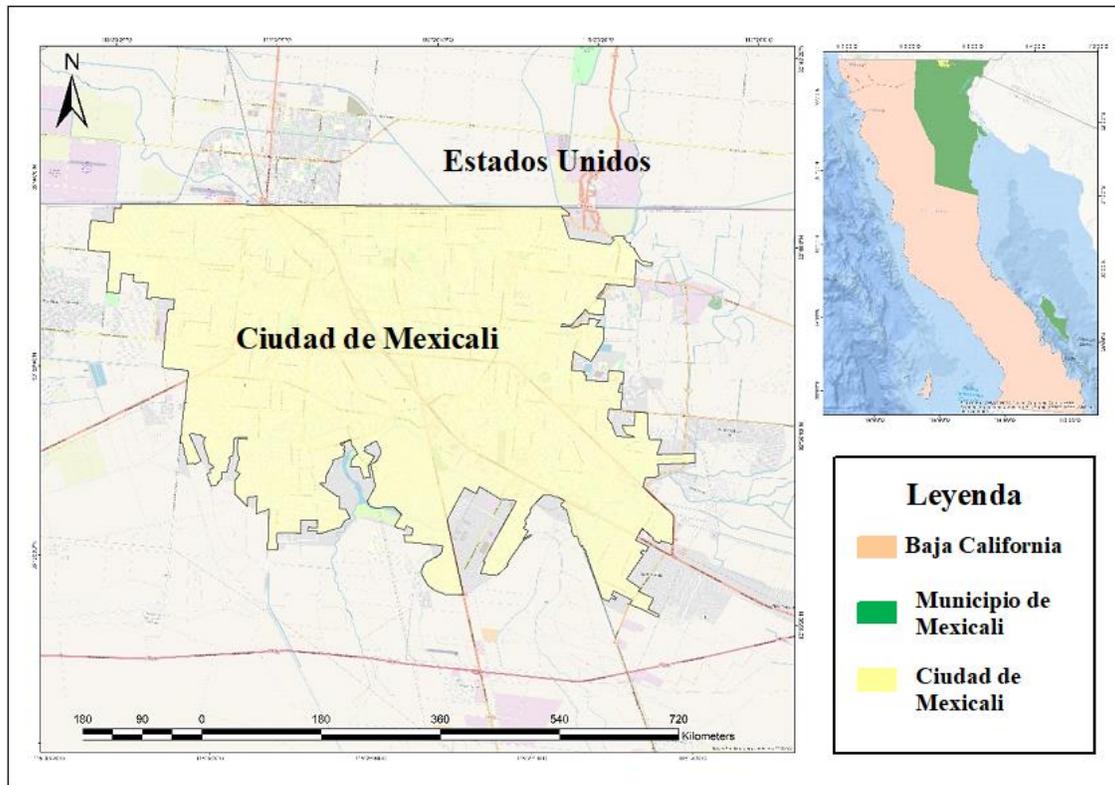
estrategia de recolección del AVR o en su defecto la ausencia de éstas.

1226 La huella de carbono se mide en masa de CO₂e y esto se debe a que el CO₂ es el
1227 gas más abundante entre el resto de los gases que se emiten como resultado del
1228 proceso de combustión del combustible. Las emisiones de CO₂e se calcularon en
1229 función de los litros de combustible consumidos para la recolección del AVR en un
1230 año de trabajo. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de
1231 América (EPA) se generan 10.180×10^{-3} t de CO₂/galón de diésel consumido (EPA,
1232 2022).

1233

1234 **Capítulo IV: Resultados**

1235 Mexicali se encuentra en el estado de Baja California al norte del país (figura 13).



1236

1237

Figura 12. Mapa de Mexicali.

1238 **4.1. Generación de aceite vegetal residual en Mexicali**

1239 **4.1.1. Sector industrial**

1240 Se realizó una búsqueda en la plataforma del DENU del INEGI. La búsqueda fue
1241 realizada en el apartado de Industrias Alimentarias y dentro de este solo se
1242 seleccionaron las industrias procesadoras de alimentos que utilizan grandes
1243 volúmenes de aceite vegetal en sus procesos productivos, específicamente
1244 productores de botanas y panaderías. Mediante consulta a la Secretaría de
1245 Protección Ambiental en la Plataforma Nacional de Transparencia se obtuvo el
1246 volumen de generación de AVR de las 13 industrias generadoras de AVR. En la
1247 tabla 13 se muestra el volumen de generación por cada industrial.

1248

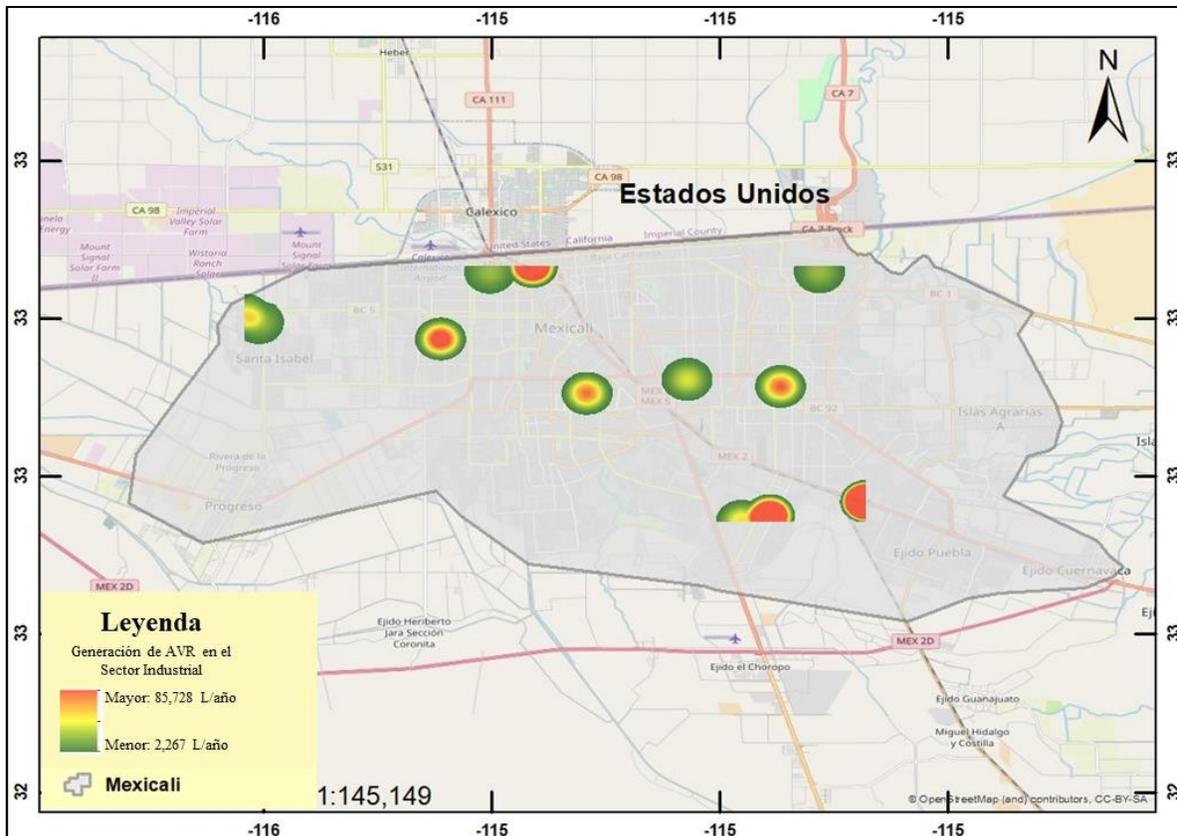
1249
1250

Tabla 13. Generación de aceite vegetal residual en las Industrias procesadoras de alimentos.

Industria	Razón Social	Generación_AVR (L/año)
Bimbo	Panificación industrial	8,565.35
Barcel	Elaboración de botanas	29,122.18
Frituras el Muñeco	Elaboración de botanas	8,072.33
Hola	Elaboración de botanas	28,701.56
Kellogg's	Elaboración de cereales para el desayuno	5,127.96
Sabritas	Elaboración de botanas	85,728.00
Churros los Campeones	Elaboración de botanas	2,266.67
Distribuciones Kris	Elaboración de botanas	3,777.78
Distribuidora comercial San Antonio	Elaboración de botanas	2,266.67
Empacadora de alimentos Taily	Elaboración de botanas	2,266.67
Frituras del Sol	Elaboración de botanas	2,266.67
Las sombrillas	Elaboración de botanas	11,333.33
Productos RR churros	Panificación tradicional	2,266.67
	Total	191,761.83

1251
1252
1253
1254

La figura 14 detalla de manera geográfica dónde se ubica la generación de AVR del sector industrial. En el mapa se representa la generación con una paleta de colores que va del verde al rojo, donde el color rojo representa el mayor volumen de generación y el color verde menor volumen de generación.



1255

1256

1257

Figura 13. Generación de aceite vegetal residual en el sector industrial en Mexicali.

1258

4.1.2. Sector servicios

1259

Coronado (2010) concluye que la generación de AVR depende del crecimiento poblacional y de los establecimientos generadores de AVR, basado en tales conclusiones, se estima la generación de AVR en el periodo del 2010 al 2017, los cuales se muestran en la tabla 14.

1262

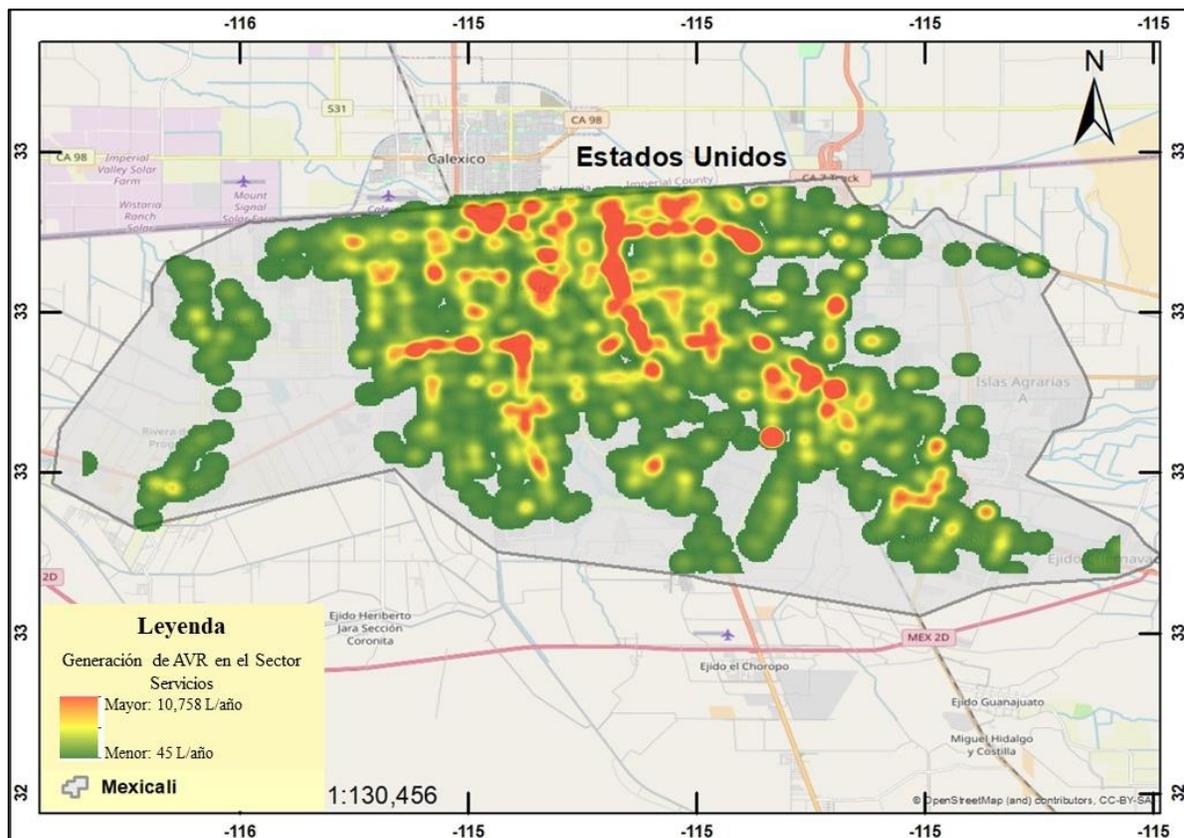
1263

Tabla 14. Volúmenes de generación del sector servicios proyectados a futuro

Años	Volumen de AVR (L/año)
2008	2,339,584.16
2009	3,142,546.12
2010	3,151,567.04
2011	3,153,958.00
2012	3,154,293.91
2013	3,154,002.44
2014	3,153,509.05

Años	Volumen de AVR (L/año)
2015	3,152,961.67
2016	3,152,392.46
2017	3,151,816.52

1264 Del 2010 al 2019 el crecimiento poblacional es de aproximadamente 13% y el
1265 crecimiento de los establecimientos comerciales en de 215%. Las tasas de
1266 crecimiento de la población y de la cantidad de restaurante tienen una relación
1267 directa. De igual forma, la generación de AVR tiene una razón de crecimiento del
1268 3.47% en el periodo del 2010 al 2017. Siendo factible utilizar los resultados de
1269 simulación realizados por Coronado (2010), se actualiza el volumen de generación
1270 para 2019 siendo aproximadamente de 3,375,047.62 L/año de AVR. Se estima
1271 hasta el 2019 debido a que en 2020 y 2021 han sido años atípicos por la pandemia.
1272 Asimismo, en la figura 15 se ilustra la generación de AVR del sector servicios en
1273 Mexicali. Se utiliza la misma paleta de colores de verde a rojo.



1274

1275 Figura 14. Generación de aceite vegetal residual en el sector servicios en Mexicali.

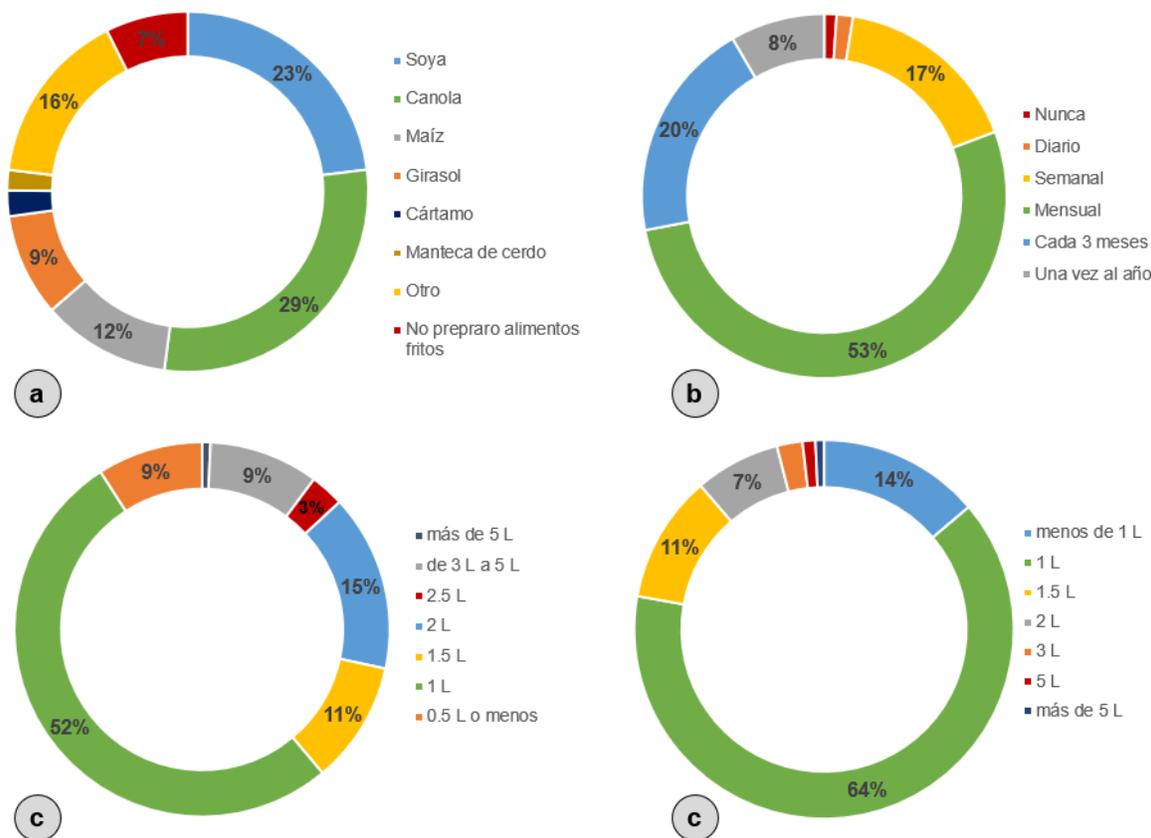
1276 **4.1.3. Sector residencial**

1277 Se aplicó el cuestionario a las 275 viviendas que conforman la muestra utilizando la
1278 plataforma Survio. Los resultados se documentaron de forma cuantitativa y
1279 cualitativa agrupándola en 4 elementos:

- 1280 1. Caracterización del consumo de aceite vegetal en las viviendas de
1281 Mexicali.
- 1282 2. Conocimiento de los habitantes de Mexicali sobre: los usos que tiene el
1283 aceite vegetal residual, los efectos negativos que tienen su incorrecta
1284 disposición y los mecanismos legales que regulan la generación de
1285 residuos.
- 1286 3. Caracterización de la generación de AVR en las viviendas de Mexicali.
- 1287 4. Disponibilidad de los habitantes para recolectar el AVR.

1288 *Caracterización el consumo de aceite vegetal en Mexicali*

1289 El consumo de aceite se caracteriza por la frecuencia de compra, el tipo de aceite,
1290 el formato de compra y el volumen que se compra de aceite. Más del 50% de las
1291 viviendas encuestadas en Mexicali consumen aceite de canola y de soya, compran
1292 1 L cada mes en formato de 1 L. La figura 16 muestra el porcentaje de la población
1293 que consume cada tipo de aceite, la frecuencia, la cantidad y formato en que
1294 regularmente se compra el aceite vegetal en una vivienda en Mexicali.



1295

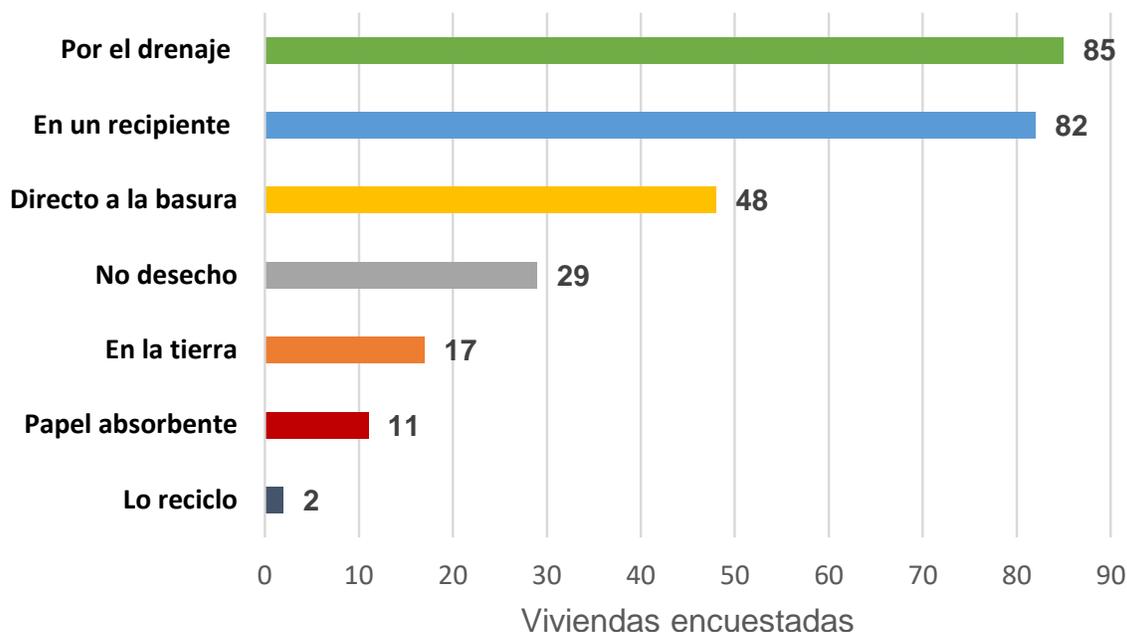
1296 **Figura 15. Caracterización del consumo de aceite vegetal en Mexicali, a) Tipo de**
 1297 **aceite vegetal que compran b) Frecuencia de compra, c) Volumen de compra, d)**
 1298 **Formato de compra.**

1299 ***Conocimiento de los habitantes de Mexicali sobre el aceite vegetal residual***

1300 Más del 90% de los encuestados afirman que no conocen establecimientos que
 1301 reciban el AVR del sector residencial. Mientras que, sí existen en la ciudad dos
 1302 pequeños negocios que mediante su página de Facebook anuncian sus actividades
 1303 en apoyo a la recuperación de residuos, dentro de las que se incluyen la recepción
 1304 de AVR. Los resultados afirman que estos establecimientos no han alcanzado la
 1305 visibilidad necesaria como para generar un impacto en la cultura de reciclaje de los
 1306 habitantes de la ciudad. Por otra parte, el 75% de los encuestados refieren que no
 1307 conocen los usos que tienen el AVR como residuo, pero sabe que es un residual
 1308 dañino ya que el 69% de los encuestados así lo afirman. Finalmente, el 80% de la
 1309 población no conoce la existencia de mecanismos legales que impulsen la
 1310 recuperación de AVR.

1311 *Caracterización de la generación de aceite vegetal residual en Mexicali*

1312 El 52% de las viviendas encuestadas afirman que desechan al AVR luego de usarlo
1313 1 vez, solo el 5% refiere que lo desechan cuando está quemado. Así mismo el 13%
1314 refieren no usar aceite para freír alimentos. De las viviendas que afirman usar aceite
1315 para freír alimentos, más del 50% realizan una disposición incorrecta del residual al
1316 verterlo en la tierra, tirarlo directamente a la basura o por el drenaje. En la figura 17
1317 se expone el número de viviendas por forma en las que se desecha el AVR.



1318

1319 **Figura 16. Formas en las que se desecha el aceite vegetal residual en las**
1320 **viviendas de Mexicali.**

1321 De las 275 viviendas encuestas se desecha AVR en 272, 3 de ellas manifiestan no
1322 consumir alimentos fritos. Al ser la muestra representativa de la población, se puede
1323 hacer inferencia estadística sobre los resultados de la muestra con un nivel de
1324 confianza del 90% y un error del 5%. Por lo tanto, se infiere que, si en 272 viviendas
1325 se desechan 6,205 L/año de AVR, entonces en las 223,962 viviendas habitadas de
1326 Mexicali se generan aproximadamente 5,053,397.13 L/año de AVR. Para los
1327 cálculos se asume que una semana tiene 7 días y que un año tiene 365 días. En la
1328 tabla 15 se observan estos resultados.

1329

1330 Tabla 15. Generación de aceite vegetal residual en la ciudad de Mexicali

Volumen de AVR	Viviendas encuestadas	Generación (L/semana)	Correlación
0.25	156	39	6,205 L/año → 275 viviendas (muestra) 5,053,397 L/año ← 223,962 viviendas (población)
0.5	86	43	
1	23	23	
2	5	10	
más de 2	2	4	
Total de generación semanal (L/semana)		119	Con 90% de confianza y un error del 5%
Total de generación anual (L/año)		6,205	

1331

Fuente: Elaboración propia.

1332

1333 En la figura 18 se ilustran las áreas en las que se concentra la generación de AVR
 1334 en Mexicali. La paleta de colores utilizada va del color verde al rojo, donde el verde
 1335 representa las zonas donde se genera menos volumen de AVR y el color rojo donde
 la generación es mayor.

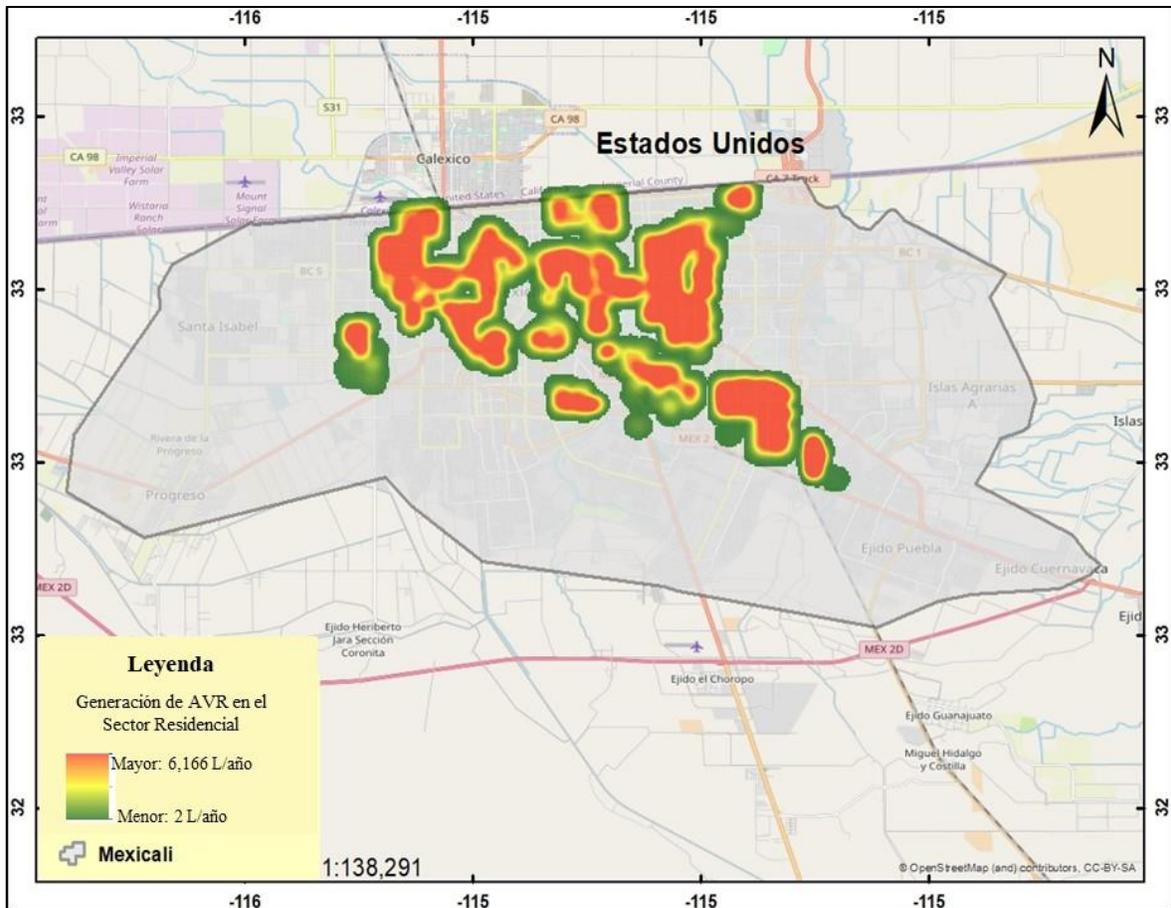


Figura 17. Generación de AVR en el sector residencial en Mexicali.

1336
1337

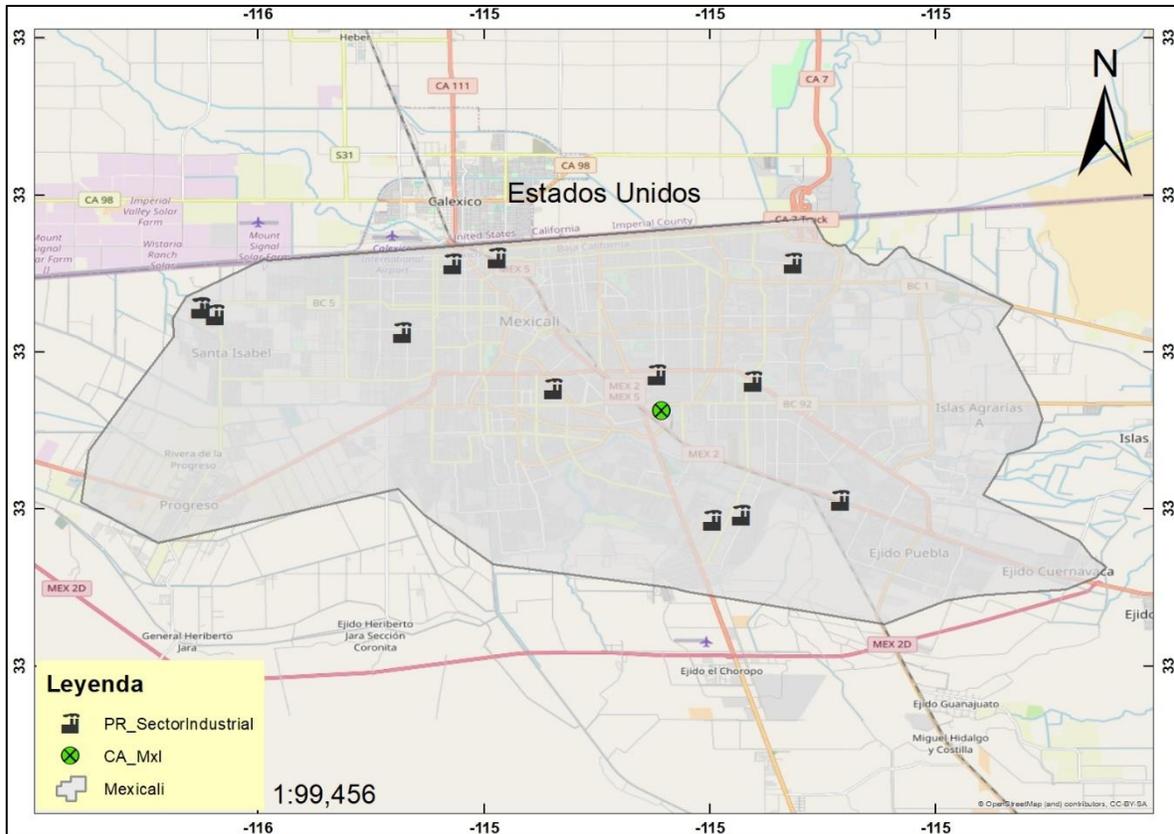
1338 ***Disponibilidad de los habitantes de Mexicali para recolectar el aceite vegetal residual***

1339 Para que la estrategia de recuperación de residuos sea exitosa es necesario que
 1340 los generadores tengan la disposición para recolectarlo. En Mexicali
 1341 aproximadamente el 90% de las viviendas habitadas están en la disposición de
 1342 recolectar el AVR, 10% restante manifiestan que solo recolectarían el residual si
 1343 reciben una compensación por ello. El 60% coinciden en que solo necesitarían un
 1344 depósito ubicado en su colonia o en un lugar cercano a ella para depositar el AVR.
 1345 Es importante destacar que el 30% reconoce que necesitan orientación o
 1346 capacitación sobre reciclaje y reutilización de residuos.

1347 **4.2. Aplicación del modelo de optimización**

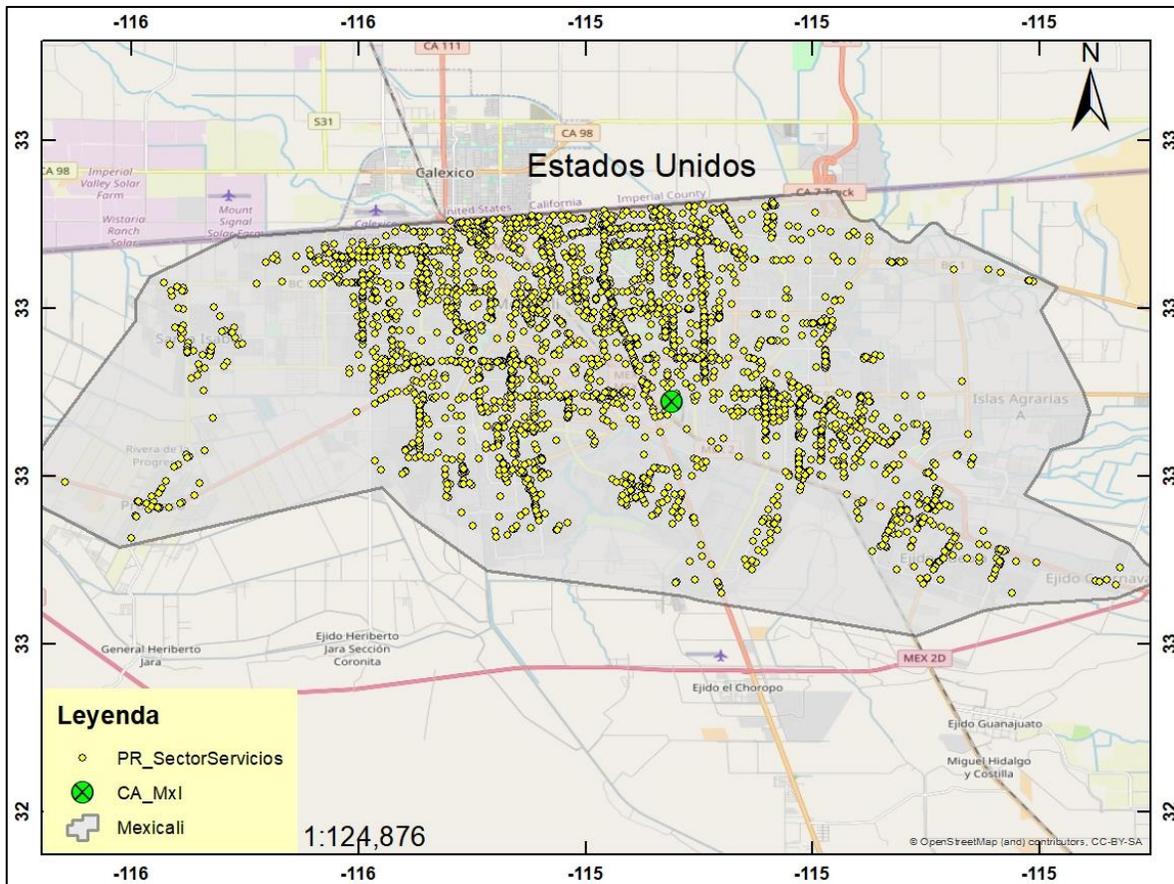
1348 El SLR-AVR fue diseñado para recuperar el AVR generado por las 227,400 fuentes
 1349 de generación, los cuales se agrupan en 3,516 puntos de recolección, 13 del sector

1350 industrial (figura 19), 3,425 del sector servicios (figura 20) y 78 del sector residencial
1351 (figura 21). Los puntos de recolección del sector residencial tienen asignados
1352 223,962 viviendas habitadas (figura 22).



1353
1354
1355

Figura 18. Puntos de recolección de aceite vegetal residual que pertenecen al sector industrial.

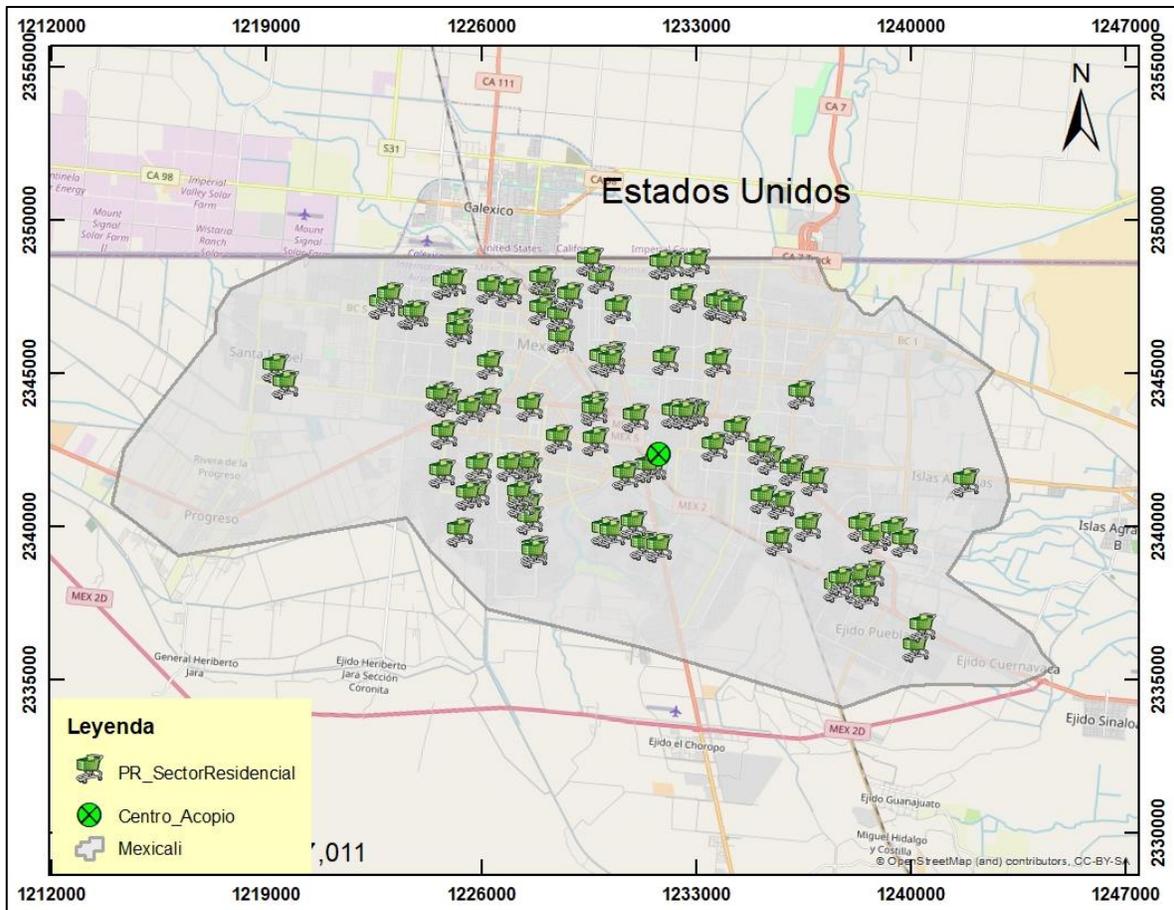


1356

1357

1358

Figura 19. Puntos de recolección de aceite vegetal residual que pertenecen al sector servicios.

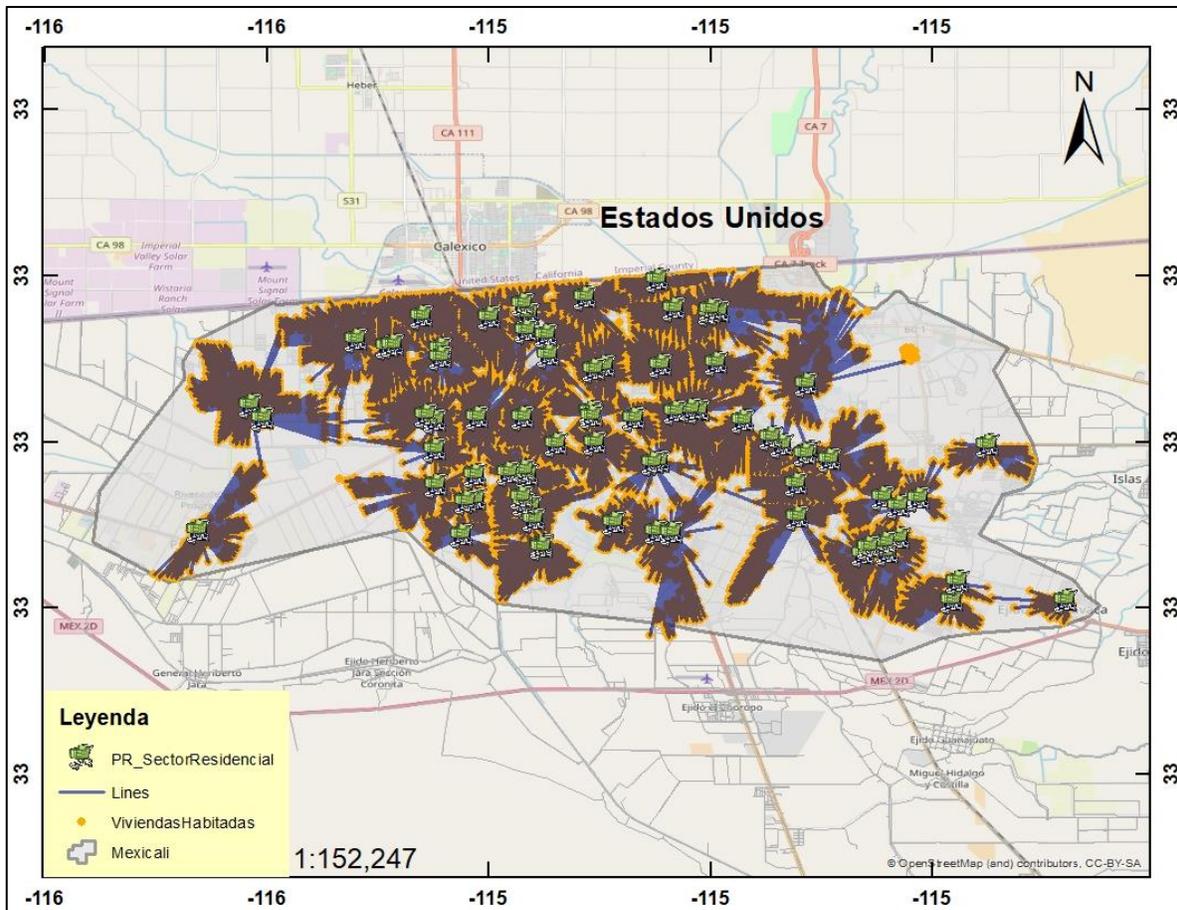


1359

1360

1361

Figura 20. Puntos de recolección de aceite vegetal residual que pertenecen al sector residencial.



1362

1363 Figura 21. Asignación de viviendas habitadas a puntos de recolección del sector
1364 residencial.

1365 Los 3 vehículos (Pipa Ford F550, Ford Transit Panel y Nissan NP300) ejecutan 65
1366 rutas para recolectar 5,804,492.34 L/año. En la tabla 16 se detallan los parámetros
1367 de las 65 rutas propuestas.

1368 Tabla 16. Parámetros de las rutas propuestas con el SLR-AVR.

Rutas	Puntos de Recolección	Duración de la ruta (min)	Distancia recorrida (km)	Demanda Servida (L)
SI_1000_1	2	21.88	14.59	2,854.18
SI_1000_2	1	25.44	16.96	7,144.00
SI_1000_3	10	83.43	55.62	5,981.97
SR_200_1	9	73.93	22.68	4,789.85
SR_200_2	7	72.43	17.64	5,515.39
SR_200_3	10	73.41	24.14	4,463.89
SR_200_4	7	78.26	22.12	5,409.85
SR_200_5	7	90.77	29.48	5,585.72
SR_200_6	13	141.62	63.27	5,606.51

Rutas	Puntos de Recolección	Duración de la ruta (min)	Distancia recorrida (km)	Demanda Servida (L)
SR_200_7	7	76.61	20.27	5,544.83
SR_200_8	8	87.47	27.22	5,596.51
SR_200_9	4	89.02	28.90	5,480.95
SR_200_10	6	140.26	62.12	5,583.88
SS_200_1	93	140.02	93.19	6,633.77
SS_200_2	105	190.79	126.94	6,947.21
SS_200_3	109	226.58	109.57	7,485.27
SS_200_4	78	309.53	147.61	4,883.34
SS_50_1	61	123.58	81.30	3,939
SS_50_2	71	135.86	83.78	3,980
SS_50_3	63	133.17	78.87	3,686
SS_50_4	77	138.57	16.59	3,988
SS_50_5	82	145.48	23.10	4,015
SS_50_6	85	168.00	37.78	4,033
SS_50_7	76	145.02	19.37	4,012
SS_50_8	78	148.11	23.30	4,033
SS_50_9	68	142.94	22.15	4,018
SS_50_10	77	144.68	20.47	3,952
SS_50_11	76	147.88	24.92	4,033
SS_50_12	68	148.52	25.63	4,006
SS_50_13	80	168.87	35.78	4,033
SS_50_14	86	167.66	40.23	4,033
SS_50_15	70	147.75	28.63	4,037
SS_50_16	67	146.57	23.93	3,603
SS_50_17	77	144.43	21.75	4,033
SS_50_18	69	163.09	33.80	3,927
SS_50_19	72	161.81	37.69	4,037
SS_50_20	80	169.47	39.26	4,033
SS_50_21	66	144.55	23.11	4,022
SS_50_22	77	142.68	22.92	3,979
SS_50_23	78	152.60	32.23	4,016
SS_50_24	85	167.92	41.44	4,033
SS_50_25	75	166.69	38.35	4,033
SS_50_26	85	166.97	40.47	4,033
SS_50_27	70	160.69	37.69	4,039
SS_50_28	76	146.08	26.45	4,033
SS_50_29	72	170.69	48.21	4,041
SS_50_30	82	228.74	84.41	4,033
SS_50_31	75	153.14	32.81	4,048
SS_50_32	81	153.73	35.58	4,038
SS_50_33	79	164.33	40.98	4,043

Rutas	Puntos de Recolección	Duración de la ruta (min)	Distancia recorrida (km)	Demanda Servida (L)
SS_50_34	83	174.01	55.96	3,943
SS_50_35	39	169.05	50.80	1,925
SS_20_1	26	31.46	20.97	2,200
SS_20_2	25	33.91	22.61	860
SS_20_3	28	53.27	35.51	1,000
SS_20_4	28	50.43	33.62	980
SS_20_5	28	47.59	31.73	1,000
SS_20_6	28	44.08	29.38	1,000
SS_20_7	29	65.49	43.66	1,000
SS_20_8	30	113.40	75.60	1,000
SS_20_9	27	77.57	51.71	1,000
SS_20_10	36	145.11	93.17	1,000
SS_20_11	47	210.15	76.58	1,000
SS_20_12	41	210.13	119.57	1,000
SS_20M_1	29	38.08	25.39	960
SS_20M_2	29	32.34	21.56	980
SS_20M_3	29	47.25	31.50	1,000
SS_20M_4	28	46.39	30.93	1,000
SS_20M_5	29	49.47	32.98	1,000
SS_20M_6	32	66.19	44.12	1,000
SS_20M_7	27	55.40	36.93	1,000
SS_20M_8	31	62.72	41.81	1,000
SS_20M_9	30	79.48	52.99	1,000
SS_20M_10	32	134.05	71.47	1,000
SS_20M_11	45	172.39	62.52	1,000
SS_20M_12	46	195.14	78.31	1,000
SS_20M_13	47	241.53	115.39	1,000

1369 Del total de rutas, 3 corresponden al sector industrial (figura 23), 10 al sector
1370 residencial (figura 24) y 52 al sector servicios (figura 25). Las rutas del sector
1371 servicios se dividieron en 4 grupos, SS_200 de 4 rutas, SS_50 de 35 rutas, SS_20
1372 de 12 rutas y SS_M20 de 13 rutas.

1373

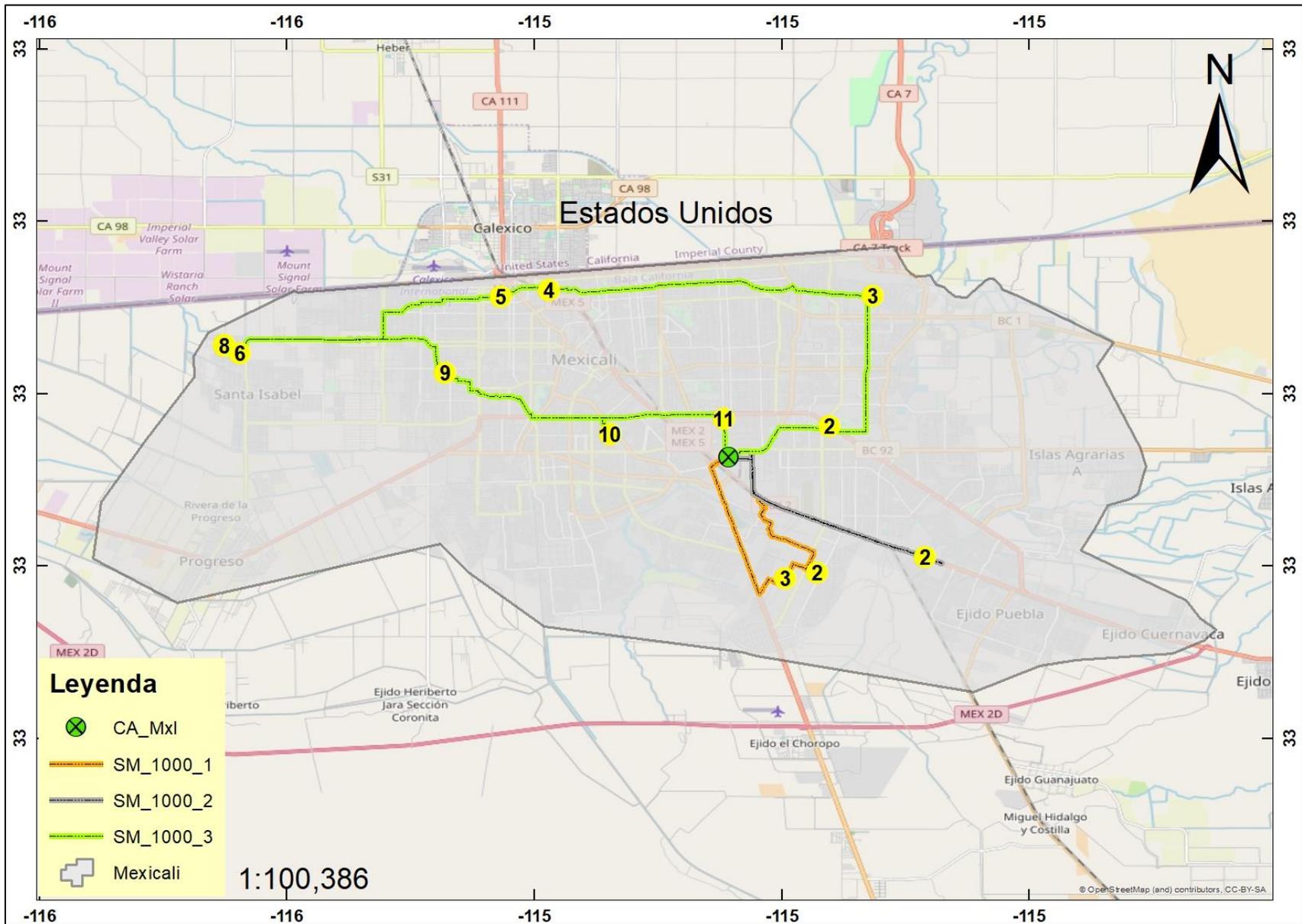


Figura 22. Sistema de rutas de recolección de AVR para el sector industrial.

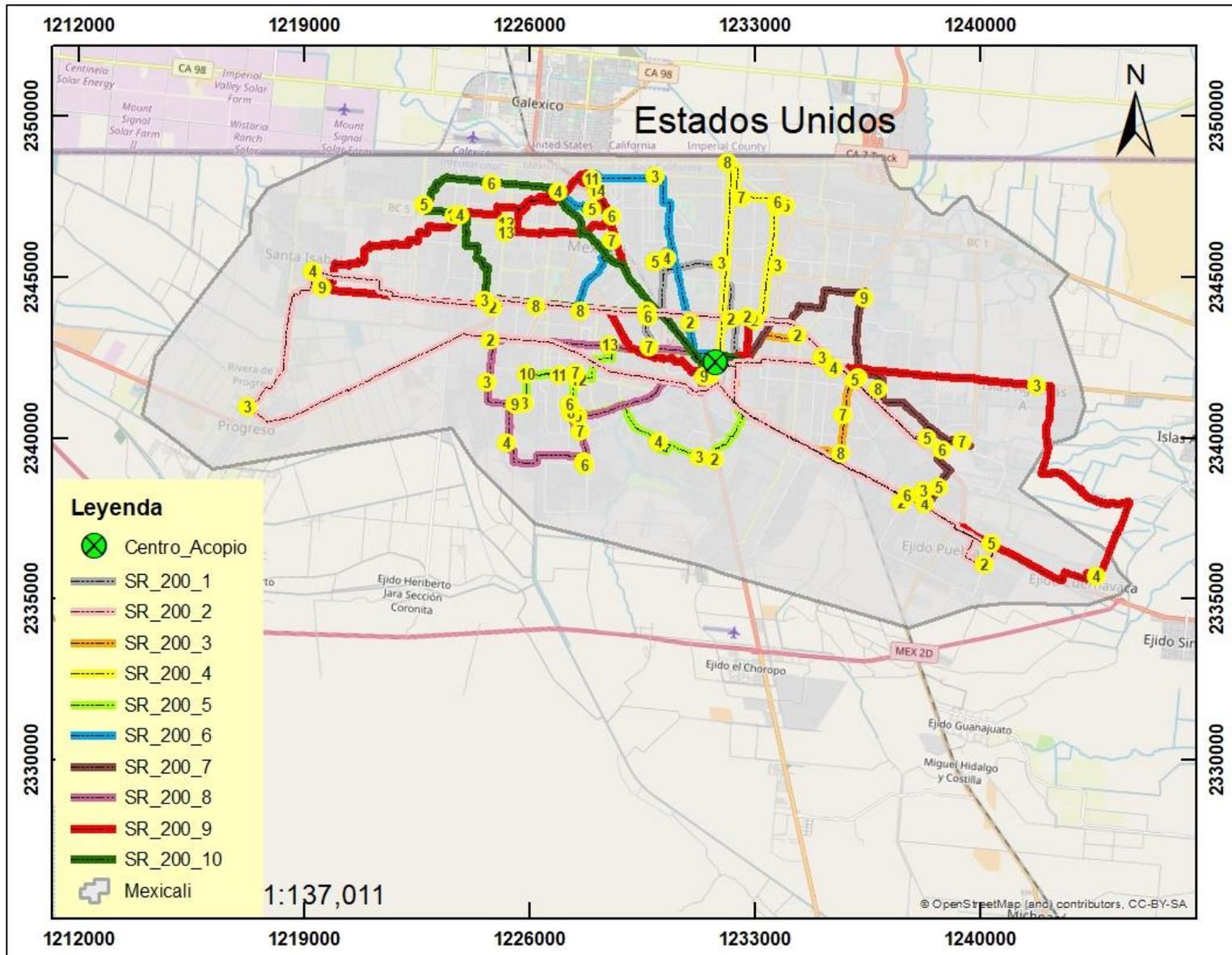


Figura 23. Sistema de rutas de recolección de AVR para el sector residencial.

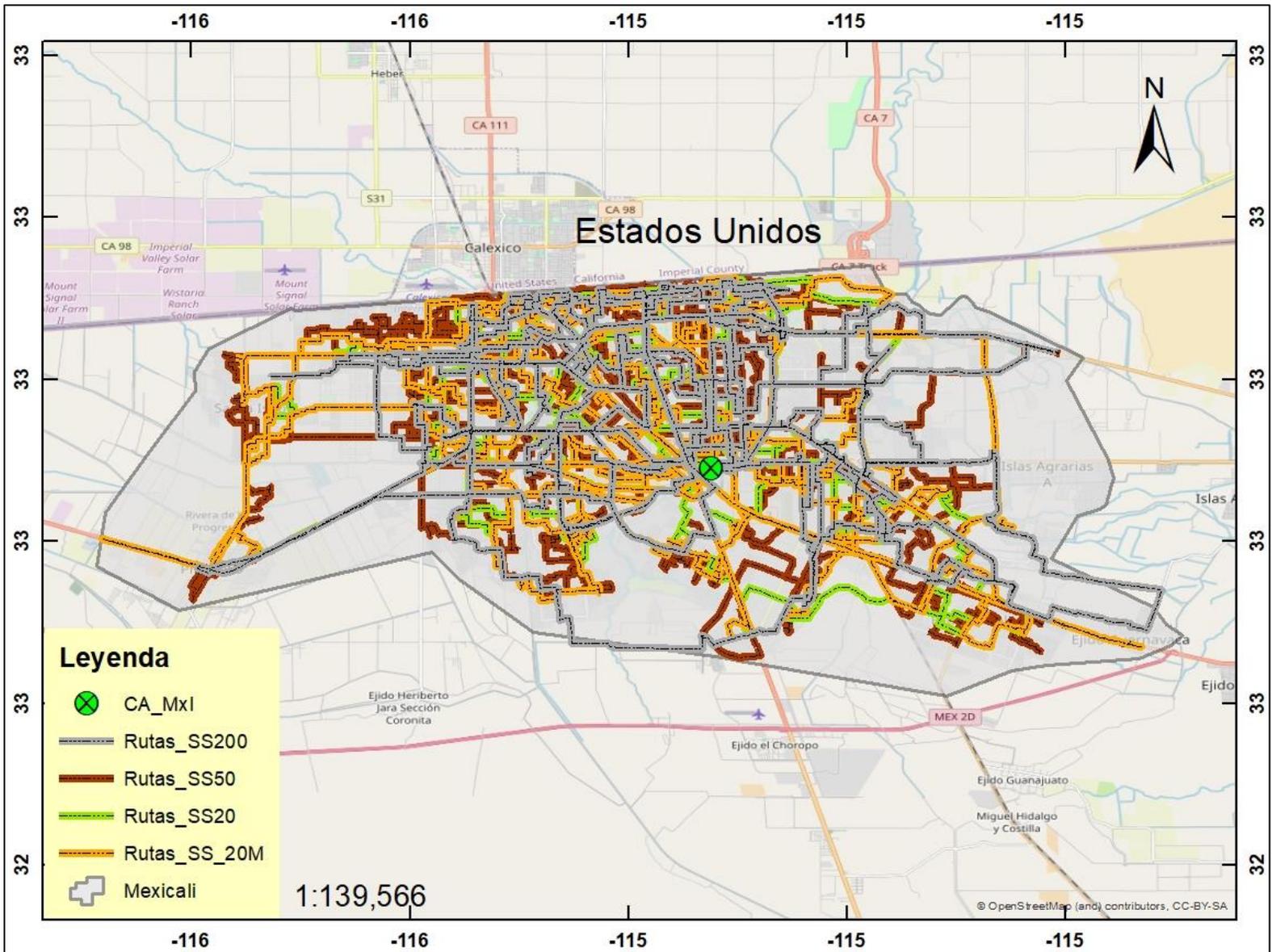


Figura 24. Sistema de rutas de recolección de AVR para el sector servicios.

Luego de diseñadas las rutas, el software permite descargar las indicaciones para recorrer cada una ellas. En la figura 26 se muestra la vista de impresión de una parte de la hoja de indicaciones para la ejecución de la ruta.

Driving Directions		Page 1 of 2	
Route: PipaFord550 1	14.6 km	22 min	
1: Start at Location 1 Time Window: 10/11/2022 08:00 a. m. - 10/11/2022 06:00 p. m.			
2: Go southeast on Calle Asociación de Periodistas de Mexicali toward Calle 2 de Abril	17 m	< 1 min	
3: Bear left on Privada Columnistas	677 m	1 min	
4: Turn right on Gobernador Braulio Maldonado	1.1 km	2 min	
5: Turn left on Calzada Rodolfo Sánchez Taboada	257 m	< 1 min	
6: Turn right	306 m	< 1 min	
7: Turn right	70 m	< 1 min	
8: Turn right	70 m	< 1 min	
9: Turn left	58 m	< 1 min	
10: Turn right on Calle Topacio	270 m	< 1 min	
11: Turn left on Calzada de la Plata	432 m	< 1 min	
12: Turn right on Alejandrina	225 m	< 1 min	
13: Turn left on Avenida Zinc	99 m	< 1 min	
14: Turn right on Calle Esmeralda	59 m	< 1 min	
15: Continue on Esmeralda	10 m	< 1 min	
16: Continue on Calle Esmeralda	136 m	< 1 min	
17: Turn left on Largo del Norte	1.4 km	2 min	
18: Turn right on Avenida Venustiano Carranza	643 m	< 1 min	
19: Turn left	518 m	< 1 min	
20: Turn left on Calzada Robledo Industrial and immediately turn left	152 m	< 1 min	
21: Arrive at 2, on the right Time Window: 10/11/2022 09:00 a. m. - 10/11/2022 03:00 p. m.			
22: Depart 2			
23: Continue west	839 m	1 min	
24: Turn left on Calle Siderurgia	541 m	< 1 min	
25: Arrive at 5, on the left Time Window: 10/11/2022 09:00 a. m. - 10/11/2022 03:00 p. m.			
26: Depart 5			
27: Continue southwest on Calle Siderurgia	224 m	< 1 min	
28: Turn right on Avenida Manzanilla	488 m	< 1 min	
29: Turn left	567 m	< 1 min	
30: Make sharp right on Carretera San Felipe-Mexicali	3.8 km	6 min	
file:///C:/Users/Lisy/AppData/Local/Temp/arcAC83/htmB4E4.tmp.htm		10/11/2022	

Figura 25. Hoja de indicaciones para la ejecución de una ruta.

El documento muestra la hora de inicio de la ruta, tiempo de viaje entre cada punto de recolección, orden en que deben ser visitados, hora de llegada a cada punto y el tiempo que dispone para la carga y descarga, las vialidades por las que deberá transitar y la ubicación exacta del punto de recolección. Estas indicaciones son muy útiles tanto para el chofer del vehículo asignado a la ruta como para el cliente, porque puede saber el día y la venta de tiempo en la que se realizará la recolección.

4.3. Comparación del SR-Actual con el SLR-AVR

El SR-Actual recolecta 492,708 L/mes de AVR, ejecuta 25 rutas que atienden 354 puntos de recolección. Los puntos de recolección incluyen 2 establecimientos del sector industrial y 352 establecimientos del sector servicios, la recolección a nivel residencial es inexistente. Actualmente, solo se encuentran en funcionamiento 3 de los 5 vehículos disponibles para la recolección. En la tabla 17 se muestra la planificación de rutas por día que actualmente se realiza por la empresa recolectora de AVR (SR-Actual).

Tabla 17. Planificación actual de rutas de la empresa recolectora de AVR.

Días	Rutas ejecutadas	Puntos Visitados	Duración de la ruta (h)	Distancia recorrida en la ruta (km)	Demanda Servida (L)
Día 1	1	9	01:27:00	57.98	1,036
Día 2	2	24	03:31:00	140.96	2,280
Día 3	1	9	02:16:00	90.48	1,476
Día 4	1	20	02:59:00	119.15	1,706
Día 5	1	15	03:32:00	141.30	1,060
Día 6	1	7	01:25:00	56.82	420
Día 7	1	10	01:35:00	63.61	1,113
Día 8	1	15	13:19:00	532.46	1,420
Día 9	1	17	02:47:00	111.12	1,549
Día 10	1	9	01:47:00	71.59	1,048
Día 11	1	15	02:40:00	106.96	2,471
Día 12	1	12	02:22:00	94.98	1,156
Día 13	1	24	04:15:00	169.86	1,627
Día 14	1	19	03:10:00	126.97	1,403
Día 15	1	19	20:32:00	821.54	1,628

Días	Rutas ejecutadas	Puntos Visitados	Duración de la ruta (h)	Distancia recorrida en la ruta (km)	Demanda Servida (L)
Día 16	1	5	00:29:00	19.05	960
Día 17	1	16	02:00:00	80.01	1,266
Día 18	2	19	02:22:00	95.07	2,973
Día 19	1	28	04:21:00	173.69	4,260
Día 20	1	9	08:46:00	350.85	2,724
Día 21	1	18	03:56:00	157.39	2,079
Día 22	1	13	03:11:00	127.27	2,257
Día 23	1	22	03:04:00	122.51	3,147

La tabla 18 reporta los parámetros de las rutas que conforman el SLR-AVR y el SR-Actual. También muestra la evaluación de los indicadores logísticos, lo que permite realizar un análisis comparativo entre ambos sistemas.

Tabla 18. Resultado de las rutas obtenidas con el SLR-AVR y SR-Actual

		SR-Actual	SLR-AVR
Resultados del diseño	No. de Rutas	25	65
	No. Puntos de recolección visitados	354	3,516
	Demanda Servida (L/año)	492,708	5,804,492.34
	Distancia recorrida (km/año)	45,979.44	69,167.04
	Duración de las rutas (min/año)	68,952.00	166,505.12
Indicadores logísticos de recolección	Utilización de la capacidad vehicular (%).	26%	93%
	Utilización de la Jornada Laboral (%).	52%	45%
	Consumo de Combustible (L).	11.79	7.46
	Tiempo de servicio por visitas (min).	16.23	3.97
	Eficiencia en la recolección (L/km).	10.72	85.77
	Costo de transportación por rutas (\$).	10,470.80	1,089.47
	Ingresos por recolección de AVR (\$).	6,815.79	30,882.88
Correlación costo/ingresos por recolección (%).	1.54	0.04	

Se observa en la tabla 18 que el SLR-AVR tiene 3,162 clientes más que el SLR-Actual aumentando solamente en un 27% la distancia de recorrido y en un 59% el tiempo de viaje. El SLR-AVR aumenta la utilización de la capacidad de transportación a 93% ya que

se asignan los vehículos de mayor capacidad a los puntos de recolección con mayor volumen de generación de AVR. A pesar de que el consumo de combustible aumenta en 10,449 L/año en el SLR-AVR, el consumo de combustible por ruta disminuye en un 63% y el costo de transportación en un 73%. Asimismo, aumentan los ingresos por concepto de recolección de AVR y disminuye la relación costo ingresos. Con el SLR-AVR se logran recolectar 85.77 L de AVR/km, mientras que en el SR-Actual solo se recolectan 10.72 L/km. En promedio una ruta del SL-Actual recorre 153 km y visita aproximadamente 14 puntos en 230 min, mientras que el SLR-AVR recorre 44 km y visita aproximadamente 54 puntos en 132 min.

Por lo tanto, la solución propuesta es eficiente al disminuir el tiempo y la distancia, aumentando el número de visitas. También se logra disminuir en un 85% el tiempo promedio por visita, lo cual permite que se aprovechen mejor los tiempos de trabajo y se ejecuta más de 1 ruta en un día. Al disminuir la utilización del tiempo de trabajo se libera el tiempo de uso de los vehículos en un 55%, permitiendo una mejor conservación de la flota vehicular.

4.4. Evaluación ambiental

Actualmente, en Mexicali, solo se recupera el 6% del AVR generado. El SLR-AVR tiene un impacto sobre la cantidad de AVR no recuperado, ya que tiene una capacidad para recolectar el 67% del AVR generado. En la figura 27 se presenta el AVR no recuperado en Mexicali. Se utiliza una paleta de colores que va desde el color marrón al amarillo. El marrón representa las zonas de la ciudad donde hay mayor cantidad de AVR no recuperado y el amarillo donde hay menor cantidad de AVR no recuperado.

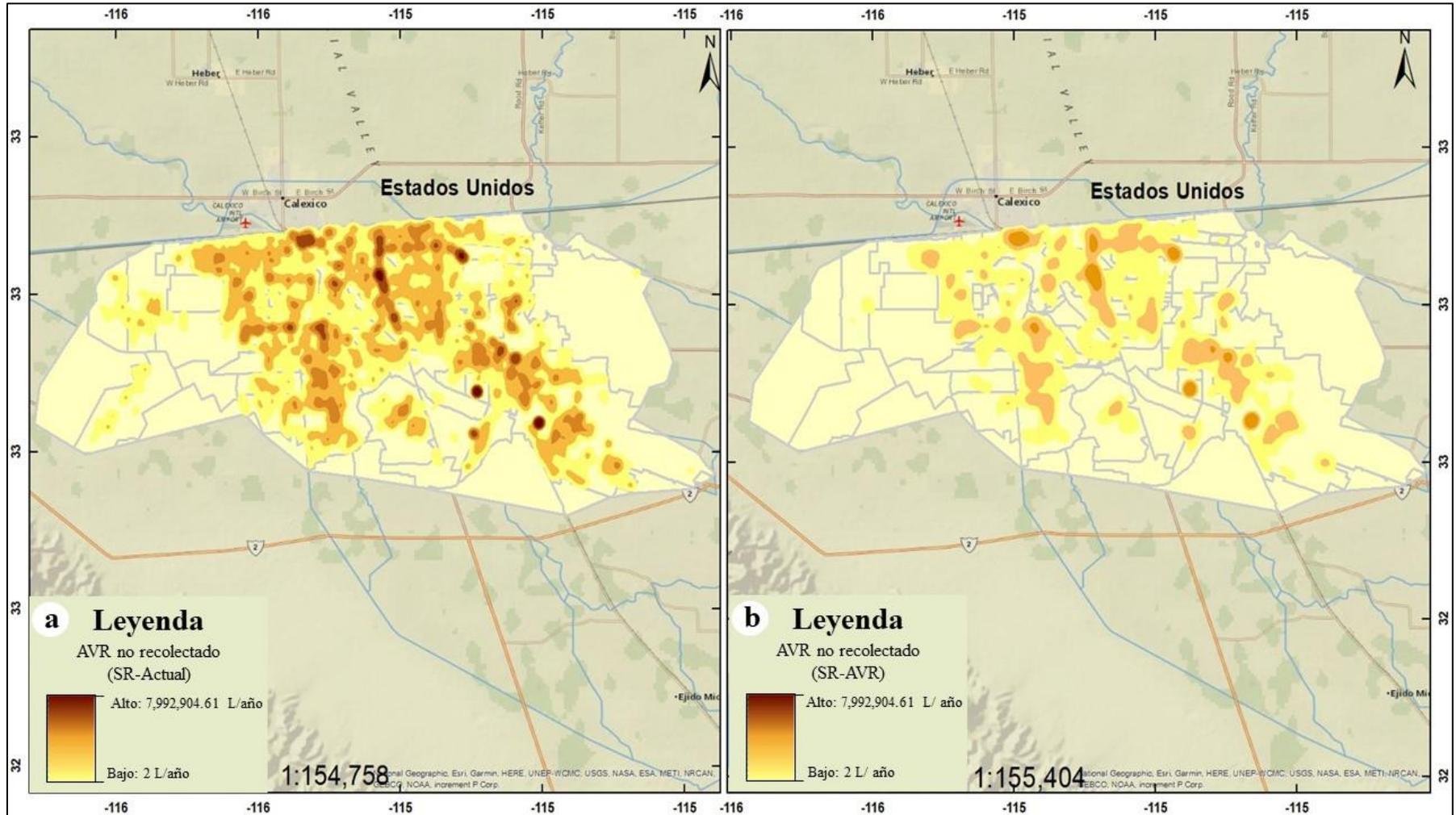


Figura 26. Cantidad de AVR no recuperado, a) Volumen de AVR no recolectado con el SR-Actual, b) Volumen de AVR no recolectado con el SLR-AVR.

La figura 27a ilustra el volumen de AVR no recuperado por el SR-Actual, que representa el 88% del AVR que se genera actualmente. El volumen de AVR no recuperado por el SLR-AVR, que representaría el 27%, se observa en la figura 27b. El AVR no recuperado por el SLR-AVR es el volumen que la población genera y que no está dispuesta a depositarlo en un punto de recolección.

Es una práctica común para los habitantes de Mexicali verter el AVR por el drenaje, directamente al suelo o en la basura con el resto de los residuos sólidos. Aproximadamente el 31% del AVR que se genera en el sector residencial termina en la red de alcantarillado sanitario, lo cual puede llegar a contaminar hasta 1,623 millones de L de agua al año. Al aplicar el SLR-AVR se estaría reduciendo en un 78% la contaminación por este concepto.

El proceso de recolección de AVR también es una fuente de contaminante, ya que su ejecución genera una huella de carbono producida por los vehículos que operan las rutas. Las emisiones de CO_{2e} se calcularon en función del volumen de combustible consumidos para la recolección del AVR en un año de trabajo. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (EPA) se generan 10.180×10^{-3} t de CO₂/galón de diésel consumido (EPA, 2022).

Las emisiones de CO_{2e} se calcularon con el factor de emisión del vehículo que opera la ruta en función de la distancia recorrida. Las emisiones son directamente proporcionales a la distancia recorrida en la ruta, por lo que en total el SR-Actual emite menos carga contaminante que el SLR-AVR. Sin embargo, en promedio por ruta el SLR-AVR emite 468.91 kg de CO_{2e} en un año y el SR-Actual 543.99 kg de CO_{2e} en un año. Siendo más eficiente el SLR-AVR al disminuir en 14% las emisiones de CO_{2e} por ruta.

El indicador *volumen de AVR recolectado por CO_{2e} emitido* corrobora la eficiencia del SLR-AVR, ya que se recolectan 190.87 L de AVR por cada kg de CO_{2e} emitido, mientras que el SR-Actual 39.37 L de AVR por cada kg de CO_{2e} emitido.

Conclusiones

En este trabajo se desarrolló un sistema logístico para la recuperación de aceite vegetal residual generado en Mexicali, Baja California. El sistema permite identificar las fuentes de generación del residual, diseñar una estrategia de recolección basada en las condiciones actuales de recuperación de AVR en la ciudad y finalmente generar las rutas e indicaciones que permiten recuperar el AVR en cada punto de recolección.

Para el desarrollo del SLR-AVR se localizaron geográficamente las 227,400 fuentes de generación existentes en la ciudad y se estimó la generación de 8,562,702.55 L/año de AVR. El SLR-AVR permite clasificar las fuentes de generación en 3 sectores: sector industrial, sector servicios y sector residencial. Con el SLR-AVR se estimó que el sector industrial genera en promedio 14,750 L/año por industrial, el sector servicios genera 978 L/año por establecimiento y el sector residencial 22 L/año por vivienda.

El sistema incluye un modelo de optimización basado en los principios de un VRPSPDTW y se solucionó utilizando la herramienta Network Analyst de ArcGIS, la cual permitió procesar un gran volumen de datos. De tal forma que el SLR-AVR aumentó su capacidad de recolección de un 6% a un 67%, utilizando los mismos recursos con los que se realiza actualmente la recolección de AVR. El consumo de combustible disminuyó en un 63% por ruta y el costo de transportación en un 73%. Se mejoró la capacidad de transportación en un 93%. También se optimizaron los indicadores ambientales al reducir en un 78% la contaminación del agua y recolectar un 20% más de AVR por cada kg de CO_{2e} emitido.

El SLR-AVR es un sistema dinámico porque permite modificar las rutas recolección si se cambian las condiciones iniciales, tales como la cantidad y tipo de medio de transporte que ejecuta la recolección, el volumen de AVR a recolectar y la frecuencia de recolección. Tiene flexibilidad para modificar el tráfico vehicular o las restricciones de tránsito cuando sea necesario. Asimismo, se ajusta a las condiciones y necesidades del lugar donde se desarrolle porque con el análisis del entorno identifica las oportunidades y amenazas para su aplicación.

También es un modelo generalizable, ya que se ajusta a las necesidades y características de cualquier ciudad y residuo. Para ello es necesario caracterizar el residual que se necesita recuperar, conocer el volumen de generación y su localización geográfica. También se debe contar con un archivo tipo *shp* con la información de los segmentos de calle y otro archivo *shp* con las restricciones de tránsito de la región objeto de análisis.

Los retos para aplicar el SLR-AVR se centran en la ausencia de normas mexicanas que regulen la generación de AVR a nivel residencial. La coordinación entre generadores y recolectores como actores principales del sistema es otro reto importante, así como crear la conciencia en la población de los efectos contaminantes y para la salud que tiene el AVR.

Finalmente, el SLR-AVR es una herramienta que resuelve el problema de disponibilidad y disposición del AVR en los 3 sectores más importantes de la sociedad. Esto permite una mejor toma de decisiones en la iniciativa privada, así como en todos los niveles gubernamentales.

Referencias

1. Abdulbari, H. A., & Zuhan, N. (2018). Grease formulation de palm oil industry Wastes. *Waste and Biomass Valorization*, 9(12), 2447–2457. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0237-6>.
2. Acevedo, J. (2014). *El desarrollo de la Logística*. Editorial CUJAE, La Habana.
3. Acevedo, J. A. (2008). *Modelos y estrategias de desarrollo de la logística y las redes de Valor en el entorno de Cuba y Latinoamérica*. La Habana: CUJAE.
4. Acevedo, J. A., & Gómez, M. I. (2010). *La Logística moderna y la competitividad empresarial* (Felix Varela, Ed.; 3era ed.). <https://es.scribd.com/document/156247470/La-Logistica-moderna-y-la-competitividad-empresarial-pdf>.
5. Acevedo, J., & Gómez, M. (2016). *La logística competitiva en la empresa*. La Habana: Felix Varela.
6. Ameri Research Inc. (2018). *Global oleochemicals market size, share | Industry Report 2025*. Ameri Research Inc. <https://www.ameriresearch.com/product/oleochemicals-market/>.
7. Artún-Callaba, J. a.-T. (2004). Benchmarking de procesos logísticos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 56-76.
8. Ballou, R. H. (2004). *Logística y administración de la cadena de suministros*. (5ta ed.). México: Pearson Educación.
9. Ballesteros, P., & Escobar, A. (2015). Revisión del estado del arte del problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega (VRPPD). *Ingeniería y Desarrollo*, 33(2), 260–280. <https://doi.org/10.14482/inde.33.2.6368>.
10. Bioils. Única empresa certificada. <https://www.bioilslatam.com/servicios/>.
11. Biofuels de México. Recuperado el 18 de noviembre de 2022, de <http://www.recoleccionaceite.com/somos.html>.
12. Bottani, E., Vignali, G., Mosna, D., & Montanari, R. (2019). Economic and environmental assessment of different reverse logistics scenarios for food waste recovery. *Sustainable Production and Consumption*, 20, 289–303. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.07.007>.

13. Buenos Aires. Aceite de cocina usado. Agencia de Protección Ambiental de Buenos Aires. <https://www.buenosaires.gob.ar/agenciaambiental/residuos/aceite-vegetal-usado>.
14. Cámara de Diputados del Congreso de la Unión. (1917). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_150519.pdf.
15. Casal, J., & Mateu, E. (2003). Tipos de Muestreo. *Rev. Epidem. Med. Prev*, 1, 3–7. [http://mat.uson.mx/~ftapia/Lecturas%20Adicionales%20\(C%C3%B3mo%20dise%C3%B1ar%20una%20encuesta\)/TiposMuestreo1.pdf](http://mat.uson.mx/~ftapia/Lecturas%20Adicionales%20(C%C3%B3mo%20dise%C3%B1ar%20una%20encuesta)/TiposMuestreo1.pdf).
16. Chávez, Á., Palacio, O., & Guarín, N. L. (2013). Unidad logística de recuperación de residuos de construcción y demolición: Estudio de caso Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 23(2), 95–118. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91130493006>.
17. CIHEAM. (2015). Mediterranean food consumption patterns - Diet, environment, society, economy, and health. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/9104aa92-4561-4375-abb2-2651260fdaca/>.
18. Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Baja California, Dirección de Procesos Parlamentarios (1953). https://www.congresobc.gob.mx/Documentos/ProcesoParlamentario/Leyes/TOM_O_I/20200214_CONSTBC.PDF.
19. Cruz-Rivera, R. and Ertel, J. (2009) Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*, 196, 930-939. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.04.041>.
20. Cooking Oil Recycling Program. Recuperado el 17 de noviembre de 2022, de <http://cookingoilrecycling.org/>.
21. Coronado, M. A. (2010). Estudio de factibilidad de producción de energía a partir del aceite vegetal residual. Universidad Autónoma de Baja California.

22. Coronado, M. A., Montero, G., & Garcia, C. (2018). Biodiesel una oportunidad de negocios para Baja California. In Izcandé (Ed.), *Estudios Empresariales: retos y oportunidades para México* (1era ed., Issue August, pp. 196–208).
23. Cortez, A. S. (2014). Inventario de emisiones en los principales corredores de transporte carretero en México (Issue 400). <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt400.pdf>
24. Dekker, R., Fleischman, M., & Inderfurt, K. (2004). *Reverse logistic*. UK: Springer.
25. Dehghanian, F., & Mansour, S. (2009). Designing sustainable recovery network of end-of-life products using genetic algorithm. *Resources Conservation and Recycling*, 53, 559-570.
26. Diaz, O. G. (2014). Sistema De Recolección De Aceite Usado Para Conversión De Biodiesel. In Universidad Nacional Autónoma de México (Vol. 1). <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5965/Tesis.pdf?sequence=1>.
27. EPA. (2022). Emisiones de dióxido de carbono. United States Environmental Protection Agency. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono#:~:text=La principal actividad del ser,tierra también emiten CO2>.
28. ESRI. (2021). ¿Qué es ArcGIS? ArcGIS Resource Center. <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>.
29. Félix, S., Araújo, J., Pires, A. M., & Sousa, A. C. (2017). Soap production: A green prospective. *Waste Management*, 66, 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.036>.
30. Fernández, A. (2013). Modelos y Métodos para el Problema de Enrutamiento de Vehículos con Recogida y Entrega Simultánea.
31. Fernández, A., & Allende, S. (2017). Estrategia GRASP para el problema de enrutamiento de vehículos con recogida y entrega simultánea. *Revista Investigación Operacional*, 38(4), 424–435.
32. Figueiredo, João Neiva & Mayerle, Sérgio Fernando, 2008. Designing minimum-cost recycling collection networks with required throughput, *Transportation*

- Research Part E: Logistics and Transportation Review, Elsevier, vol. 44(5), pages 731-752, September.
33. Flórez, L., Toro, E., & Granada, M. (2012). Diseño de redes de logística inversa: Una revisión del estado del arte y aplicación práctica. *Ciencias e Ingeniería Neogranadina*, 153-177.
 34. Frota Neto, J. Q., Bloemhof-Ruwaard, J. M., van Nunen, J. A. E. E., & van Heck, E. (2008). Designing and evaluating sustainable logistics networks. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 195–208. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.10.014>.
 35. Gobierno España. Aceites de cocina Usados. Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Demográfico. Recuperado el 14 de enero de 2022, de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/aceites-cocina/>.
 36. González, A. (2016). Plan de acciones para la implementación de las bases para la organización logística en el grupo Empresarial Ganadero. La Habana: CUJAE.
 37. González, I., & González, J. A. (2015). Aceites usados de cocina. problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras. *Aguasresiduales.Info*, 1–8. <http://www.rafrinor.com>.
 38. Gómez, R., Zuluaga, A., Correa, A. (2014). Propuesta de sistema de logística inversa para el sector hospitalario: Un enfoque teórico y práctico en Colombia. In *Ing. USBMed* (Vol. 5, Issue 1).
 39. Hevia, F. (2008). Metodología de diseño de las Cadenas de Suministro Inversa. La Habana: CUJAE.
 40. Hu, T. L., Sheu, J. B., & Huang, K. H. (2002). A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 38(6), 457–473. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(02\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(02)00020-0).
 41. Hussain, M. N., Samad, T. Al, & Janajreh, I. (2016). Economic feasibility of biodiesel production de waste cooking oil in the UAE. *Sustainable Cities and Society*, 26, 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.06.010>.
 42. INDAMA. Coleta de óleo de fritura. <https://www.indama.com.br/>.

43. INEGI. (2011). Informe 2011: Estudio de análisis y resultados. https://www.inegi.org.mx/contenidos/transparencia/contenidos/doc/15_inf11.pdf.
44. Intelifuel.com is available at DomainMarket.com. Call 888-694-6735. Recuperado el 18 de noviembre de 2022, de <https://www.domainmarket.com/buynow/intelifuel.com>.
45. Juárez, M. D., & Sammán, N. (2007). Revisión El deterioro de los aceites durante la fritura. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 13(2), 82–94. <https://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/0032007.pdf>
46. Kara, S.A., Rugrungruang, F. and Kaebernick, H. (2007) Simulation Modelling of Reverse Logistics Networks. *International Journal of Production Economics*, 106, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.04.009>.
47. Kamilah, H., Al-Gheethi, A., Yang, T. A., & Sudesh, K. (2018). The Use of Palm Oil-Based Waste Cooking Oil to Enhance the Production of Polyhydroxybutyrate [P(3HB)] by *Cupriavidus necator* H16 Strain. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(7), 3453–3463. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3118-1>.
48. Kearney, J. (2010). Food consumption trends and drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2793–2807. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0149>.
49. Kim, J. H., Oh, Y. R., Hwang, J., Kang, J., Kim, H., Jang, Y. A., Lee, S. S., Hwang, S. Y., Park, J., & Eom, G. T. (2021). Valorization of waste-cooking oil into sophorolipids and application of their methyl hydroxyl branched fatty acid derivatives to produce engineering bioplastics. *Waste Management*, 124, 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.003>.
50. Lambert, A. J. D., Boelaarts, H. M., & Splinter, M. A. M. (2004). Optimal Recycling System Design: With an application to sophisticated packaging tools. In *Environmental and Resource Economics* (Vol. 28).
51. Lopes, M., Miranda, S. M., & Belo, I. (2019). Microbial valorization of waste cooking oils for valuable compounds production – a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(24), 2583–2616.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10643389.2019.1704602?scroll=top&needAccess=true>.

52. López, Pedro Luis. (2004). Población, muestra y muestreo. Punto Cero, 09(08), 69-74. Recuperado en 17 de noviembre de 2022, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&tlng=es.
53. Ley de Aguas Nacionales, Congreso de la Unión (2016). http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LEY_DE_AGUAS_NACIONALES.pdf.
54. Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, Congreso de la Unión (2014). <http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/Ley%20de%20la%20Agencia%20Nacional%20de%20Seguridad%20Industrial%20y%20de%20Proteccion%20al%20Medio%20Ambiente%20del%20Sector%20Hidrocarburos%20DOF%2011-08-2~1.pdf>.
55. Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas, Congreso de la Unión (2016). http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LEY_DE_OBRAS_PUBLICAS_Y_SERVICIOS.pdf.
56. Ley de planeación, Congreso de la Unión (2018). http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LEY_DE_PLANEACION.pdf.
57. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, Congreso de la Unión (2008). http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LEY_DE_PROMOCION_Y_DESARROLLO_DE_LOS_BIOENERGETICOS.pdf.
58. Ley de Protección al Ambiente para el Estado de Baja California, Congreso del Estado (2001). <https://docs.mexico.justia.com/estatales/baja-california/ley-de-proteccion-al-ambiente-para-el-estado-de-baja-california.pdf>.
59. Ley del Régimen Municipal para el Estado de Baja California, Dirección de Procesos Parlamentarios (2001).

http://www.congresobc.gob.mx/Parlamentarias/TomosPDF/Leyes/TOMO_I/22062018_Leyregimenmpal.pdf.

60. Ley de Vertimientos en las Zonas Marinas Mexicanas, Congreso de la Unión (2014).

http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LEY_DE_VERTIMIENTOS_EN_LAS_ZMM.pdf.

61. Ley Federal de Sanidad Animal, Congreso de la Unión (2007).

http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LF_DE_SANIDAD_ANIMAL.pdf.

62. Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, Congreso de la Unión (2013).

http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LF_DE_RESPONSABILIDAD_AMBIENTAL.pdf.

63. Ley Federal de Variedades Vegetales, Congreso de la Unión (2022).

<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFVV.pdf>.

64. Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública, Congreso de la Unión (2016).

http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LF_DE_TRANSPARENCIA_Y_ACCESO_A_LA_INFORMACION_PUBLICA.pdf.

65. Ley General de Cambio Climático, Congreso de la Unión (2012).

http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LG_DE_CAMBIO_CLIMATICO.pdf.

66. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, Congreso de la Unión (2018).

http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LG_DE_DESARROLLO_FORESTAL_SUSTENTABLE.pdf.

67. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Congreso de la Unión (2003). http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf.

68. Luis, M., & Farbán. (2013). Diseño de un sistema para la gestión de aceites vegetales Usados en cañete para producir biodiesel. Repositorio Institucional PIRHUA, 2–125.

69. Mauricio, H., Ararat, C., & Zapata, U. P. (2019). Diseño de rutas con VRP solver 3.0: caso de una empresa transportadora de mercancía. Programa Ingeniería Industrial.
70. Macassi, S. (1991). Cómo elaborar muestras para los sondeos de audiencias. (Aler, Vol. 5). Cuaderno de Investigación.
71. Min, H. (1989). The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points. *Transportation Research Part A: General*, 23(5), 377–386. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(89\)90085-X](https://doi.org/10.1016/0191-2607(89)90085-X).
72. MircroBaja. 2013. “Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos en el estado de BC.” https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187450/Baja_California.pdf.
73. Mutha, A. and Pokharel, S. (2009) Strategic network design for reverse logistics and remanufacturing using new and old product modules. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 334-346. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2008.06.006>.
74. NMX-F-808-SCFI-2018, Secretaría de Economía (2018). https://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-F-808-SCFI-2018_aceite_vegetal.pdf.
75. NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-161-SEMARNAT-2011, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/134113/20.-_NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-161-SEMARNAT-2011.pdf.
76. Orjuela, A., & Clark, J. (2020). Green chemicals de used cooking oils: Trends, challenges, and opportunities. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 26(361), 100369. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100369>.
77. Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio Sampling Techniques on a Population Study. In *Int. J. Morphol* (Vol. 35, Issue 1).
78. Para, O., Catalao, M., Tsoutsos, T., Tournaki, S., Antunes, D., Magnolfi Uggè, C., Cocchi, M., Brescia, C., Giglio, F., Quero, P., Braga, J., Kyriakopoulos, G., Adrianos, H., Filice, M., & Johnson, L. (2015). Promotion of Used Cooking Oil

- Recycling for Sustainable Biodiesel Production. Intelligent Energy Europe.
<https://www.semanticscholar.org/paper/RECOIL-Project%3A-Promotion-of-Used-Cooking-Oil-for-ParaCatalao/87782853b3174bb37994d1a56421c09e24bd3ec6#related-papers>.
79. Peiró, L. T., Méndez, G. V., & Durany, X. G. I. (2008). Exergy analysis of integrated waste management in the recovery and recycling of used cooking oils. *Environmental Science and Technology*, 42(13), 4977–4981. <https://doi.org/10.1021/es071972a>.
80. Pokharel, S., & Mutha, A. (2009). Perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 175-182.
81. Ramos, T. R. P., Gomes, M. I., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2013). Planning waste cooking oil collection systems. *Waste Management*, 33(8), 1691–1703. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.04.005>.
82. RBA Ambiental - Transformamos Aceite de Cocina Usado en Bioenergía. Recuperado el 18 de noviembre de 2022, de <http://www.rba-ambiental.com.ar/>.
83. Reciclar aceite usado: para qué y cómo | Consumer. Recuperado el 18 de noviembre de 2022, de <https://www.consumer.es/medio-ambiente/reciclar-aceite-usado-para-que-y-como.html>.
84. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, 10 Congreso de la Unión (1988). http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/reglamentos/Reg_LGEEPA_M_PCCA.pdf.
85. Reglamento de Ley de Aguas Nacionales, Congreso de la Unión (1994). http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/reglamentos/REG_LAN.PDF.
86. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, Congreso de la Unión (2004). http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/reglamentos/Reg_LGEEPA_M_RETC.pdf.

87. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Congreso de la Unión 31 (2006).
http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/reglamentos/Reg_LGPGIR.pdf.
88. Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones, Congreso de la Unión (2014).
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGCC_MRNE_281014.pdf.
89. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Autorregulación y Auditorías Ambientales, Congreso de la Unión (2010).
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MAAA_311014.pdf.
90. Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos Capítulo II de los programas, Congreso de la Unión (2009).
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LPDB.pdf.
91. Reglamento de la Ley Federal de Sanidad Animal, Congreso de la Unión (2012).
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LFSA.pdf.
92. Reglamento en Materia de Registros, Autorizaciones de Importación y Exportación y Certificados de Exportación de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Sustancias y Materiales Tóxicos o Peligrosos., Congreso de la Unión (2004).
http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/reglamentos/REG_PLAGUICIDAS,_NUTRIENTES_VEGETALES_Y_SUSTANCIAS_ToXICAS.pdf.
93. Reglamento Interior de la Comisión Nacional del Agua, Congreso de la Unión (2006).
http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/reglamentos/Reg_Interior_CONAGUA_.pdf.
94. Reglamento Interior de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, Congreso de la Unión (2022). https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5366654&fecha=31/10/2014.
95. Reoil México | Colección de RAUC & Producción de Biodiésel. Recuperado el 18 de noviembre de 2022, de <http://www.reoil.net/rauc.html>.

96. Rico, J. (2019, November 20). España solo recoge el diez por ciento del aceite de cocina usado y Europa importa millones de litros para producir biodiésel. *Energía Renovable*. <https://www.energias-renovables.com/bioenergia/espana-solo-recoge-el-10-del-aceite-20191120>.
97. Ríos, R. G., & Sánchez, C. G. (2009). DRSOFT: Un soporte computacional para el diseño de rutas de distribución. *Revista Investigación Operacional Vol. 25: Editorial Universitaria*.
98. Rubio, S. (2003). *El sistema de logística inversa en la empresa: Análisis y aplicaciones*. Cáceres: Universidad de Extremadura Servicio de Publicaciones.
99. Ruiz, S. C., & García Aldrete, M. (2009). *Análisis de decisiones II. Solución de problemas de líneas de espera mediante WinQSB*.
100. Ruiz, R., & Moreno, E. (2021). México, cuarto lugar mundial en el consumo de alimentos ultra procesados. Secretaria de Educación, Ciencia e Innovación. <https://sectei.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/mexico-cuarto-lugar-mundial-en-el-consumo-de-alimentos-ultra-procesados>.
101. Sarno, M., Iuliano, M., & Cirillo, C. (2019). Optimized procedure for the preparation of an enzymatic nanocatalyst to produce a bio-lubricant de waste cooking oil. *Chemical Engineering Journal*, 377(October 2018), 120273. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.210>.
102. Sarno, M., Iuliano, M., & Cirillo, C. (2019). Optimized procedure for the preparation of an enzymatic nanocatalyst to produce a bio-lubricant de waste cooking oil. *Chemical Engineering Journal*, 377(October 2018), 120273. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.210>.
103. SPA. (2018). Padrón estatal de prestadores de servicio para el manejo integral de residuos de manejo integral razón social. <http://www.spabc.gob.mx/wp-content/uploads/2018/02/PADRON-DE-PRESTADORES-RME-NOV-20.pdf>
104. Secretaria de Medio Ambiente. (2018). NADF012-AMBT-2015, <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/NADF-012-AMBT-2015.pdf>
105. SEMARNAT. (2010). Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México.

https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/directorio_residuos.pdf

106. SEMARNAT. (2020). Prevención y gestión integral de los residuos. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos>.
107. SEMARNAT. (2021). Leyes y normas del sector medio ambiente. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/leyes-y-normas-del-sector-medio-ambiente>.
108. Sergio, R., Chamorro, A. & Miranda, F. J. (2008) Characteristics of the research on reverse logistics (1995–2005), *International Journal of Production Research*, 46:4, 1099-1120, DOI: 10.1080/00207540600943977.
109. Servicios | MORECO. Recuperado el 18 de noviembre de 2022, de <http://moreco.com.mx/servicios/>.
110. Serrano, D. V. (2019). Evaluación del uso y disposición final del aceite vegetal residual proveniente de comedores en General Villamil Playas, Ecuador. In Universidad de Guayaquil.
111. Singh-Ackbarali, D., Maharaj, R., Mohamed, N., & Ramjattan-Harry, V. (2017). Potential of used frying oil in paving material: solution to environmental pollution problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(13), 12220–12226. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8793-z>.
112. Solarte Burbano, N., & Vargas Dorado, M. C. (2013). Diseño de las estrategias de recolección del aceite de cocina usado para su reutilización en la producción de biodiesel en cuatro barrios de la ciudad de Cali (Issue 4). <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/5196/TIA01580.pdf;jsessionid=1646D907C0468AC31A79564BA7894556?sequence=1>.
113. Tecnológico de Monterrey. (2005). Metodología para llevar a cabo una encuesta. Diplomado de gobierno abierto y participativo institucional. http://www.cca.org.mx/funcionarios/cursos/ap066/material/m2met_enc.pdf.
114. Teixeira, M. R., Nogueira, R., & Nunes, L. M. (2018). Quantitative assessment of the valorisation of used cooking oils in 23 countries. *Waste Management*, 78, 611–620. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.039>.

115. Urquiaga, A. (2007). Fundamentos teóricos de gestión de la producción. La Habana: Educación.
116. Valdivieso Taborga, C. E., Valdivieso Castellón, R., & Valdivieso Taborga, O. Á. (2011). Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión. *Investigación & Desarrollo*, 11(1), 53–80. <https://doi.org/10.23881/idupbo.011.1-4e>.
117. Wiltsee, G. (1998). Urban waste grease resource assessment. In *National Renewable Energy Laboratory* (Issue 11). <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1975.tb10222.x>.
118. Xiong, Y., Miao, W. feng, Wang, N. na, Chen, H. mei, Wang, X. ran, Wang, J. yi, Tan, Q. lan, & Chen, S. ping. (2019). Solid alcohol based on waste cooking oil: Synthesis, properties, micromorphology, and simultaneous synthesis of biodiesel. *Waste Management*, 85, 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.036>.
119. Zanivan, J., Pollon, R., Stefanski, F. S., Mulinari, J., Scapini, T., Venturin, B., Preczeski, K. P., & Treichel, H. (2018). Pre-treatment and recycling of cooking waste oil. In *Recycled Cooking Oil: Processing and Uses* (pp. 45–68). Nova Science Publishers, Inc. <https://novapublishers.com/shop/recycled-cooking-oil-processing-and-uses/>.
120. Zhang, Y., Bao, X., Ren, G., Cai, X., & Li, J. (2012). Analysing the status, obstacles, and recommendations for WCOs of restaurants as biodiesel feedstocks in China de supply chain' perspectives. *Resources, Conservation and Recycling*, 60, 20–37. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.11.014>.

Anexos

Anexo 1: Entidades que se dedican al tratamiento y recolección de residuos en Baja California.

No.	Unidad Económica	Actividad Autorizada	Municipio
1	Almacen ECO Management	Manejo de residuos peligrosos y servicios de remediación a zonas dañadas por materiales o residuos peligrosos	Mexicali
2	Baja Wastewater Solution	Manejo de residuos peligrosos y servicios de remediación a zonas dañadas por materiales o residuos peligrosos	Tijuana
3	Biosea	Manejo de residuos peligrosos y servicios de remediación a zonas dañadas por materiales o residuos peligrosos	TIJUANA
4	GEN Industrial	Servicios de remediación de residuos por el sector privado	Mexicali
5	Grupo Ambiental del Noroeste	Manejo de residuos peligrosos y servicios de remediación a zonas dañadas por materiales o residuos peligrosos	Mexicali y Tijuana
6	Jack Engle de México S de RL de CV	Recuperación de residuos por el sector privado Metales, Papel, Cartón y Plásticos	Tijuana
7	Pacific Treatment Environmental Services	Manejo de residuos peligrosos y servicios de remediación a zonas dañadas por materiales o residuos peligrosos	Mexicali y Tijuana
8	Pala Mexicali	Recuperación de residuos por el sector privado	Mexicali
9	Proveedora Ambiental del Noroeste SA de CV	RECOLECCIÓN,TRANSPORTE Y ACOPIO TEMPORAL y tratamiento DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL	Tijuana
10	Recicladora Temarry de México, SA de CV	Manejo de residuos peligrosos y servicios de remediación a zonas dañadas por materiales o residuos peligrosos	Tecate
11	Reciklan	Manejo de residuos peligrosos y servicios de remediación a zonas dañadas por materiales o residuos peligrosos	Mexicali
12	Samex Almacen	Tratamiento y disposición final de residuos peligrosos por el sector privado	Mexicali
13	Servicios Ambientales Mexicanos	Manejo de residuos peligrosos y servicios de remediación a zonas dañadas por materiales o residuos peligrosos	Tijuana
14	Taller Fibrasan	Otros servicios de manejo de residuos por el sector privado	Mexicali
15	TG Pacifico	Manejo de residuos peligrosos y servicios de remediación a zonas dañadas por materiales o residuos peligrosos	Ensenada
16	Tratamiento Ecologico de Residuos	Servicios de remediación de residuos por el sector privado	Ensenada
17	Industria Cachora S.A de C.V	Recolección de AVU, producción y comercialización de biodiesel	Tijuana
18	Servicio Internacional del Medio Ambiente, S.A de C.V	Recolección y transporte de agua residual con grasas y aceites, y desechos de las trampas	Tijuana
19	Industria de Grasas y Derivados S.A de C.V	Recolección de AVU, sebo, huesos, desperdicios cárnicos, sangre animal, aguas (para grasas y arinas)	Tijuana
20	Rendimiento Proteico (Renpro) S.A de C.V	Recolección de Sebo hueso, pellejos y AVU (para grasas y arinas)	Tijuana
21	AISA de México S.A de C.V	Recuperación de lamparas fluerecentes fuera de uso	Tijuana
22	Alan Recycling	Recolección de metales	Tijuana y Tecate
23	Metales Halcones	Recolección de metales	Mexicali
24	Metales azteca	Recolección de metales	Mexicali
25	Procesadora Sacome	Recolección de toda clase de matalas, servicio a domicilio	Tijuana
26	Recicladora cachanilla	Recolección de metales	Tijuana
27	Recicladora Pichardo	Recolección de metales	Tijuana
28	Recicladora TNT	Recolección de metales	Mexicali
29	SA Recycling del Noroeste	Recolección de metales	Mexicali
30	Yarda Lupita	Recolección de metales	Mexicali

No.	Unidad Económica	Actividad Autorizada	Municipio
31	Centro de Acopio de metales González	Recolección de metales	Ensenada
32	Eco Recycling	Recolección de metales	Tijuana
33	La Centinela Recicladora	Recolección de metales	Ensenada
34	Grupo Empresarial Cimarrón S.A de C.V	Recolección de metales	Tijuana
35	Recicladora de Materiales El Rubí S.A de C.V	Comercializadora de materiales ferrosos y ferrosos	Tijuana
36	Metales S.A de C.V	Recolección de metales	Tijuana
37	Baja Recycling, S de R.L de C.V	Recolección de metales	Tijuana
38	Industria Recicladora de Tijuana S.A de C.V	Recolección de metales	Tijuana
39	Recicladora Parral	Recolección de metales	Tijuana
40	Yanke Materiales Unidos	Recolección de metales	Tijuana
41	Recicladora de Baja Industrial Nacional de Cartón S.A de C.V	Reciclado de papel y carton	Tijuana
42	Universidad Autónoma de California	Reciclado de pilas y baterías	Tijuana
43	California Metals and Electronics de México S.A de C.V	Reciclado de pilas y baterías	Mexicali
44	Recicladora Visa S.A de C.V	Reciclado de acumuladores	Mexicali
45	AISA de México S.A de C.V	Reciclado de pilas y baterías	Tijuana
46	Winjetinc	Reciclado de plásticos y resinas	Tijuana
47	Mecoxim México S.A de C.V	Reciclado de plásticos y resinas	Tecate
48	DAE DUK PLATECK S.A de C.V	Reciclado de plásticos	Tecate
49	Gold Plateck S.A de C.V	Reciclado de plásticos	Tecate
50	Felipe González Sala	Reciclado de plásticos	Tijuana
51	Joaquín Armando González	Reciclado de plásticos	Tijuana
52	ECOCE	Reciclado de plásticos	Mexicali
53	ECOCE	Reciclado de plásticos	Tijuana
54	TEK MAX S.A de C.V	Reciclado de electrónicos	Tijuana
55	Cali Resources S.A de C.V	Reciclado de electrónicos	Tijuana
56	HP Planet Partners	Reciclado de electrónicos	Tijuana
57	Recicladora Ramos	Recolección de Papel, Cartón y Plásticos	Tecate
58	Centro de Reciclaje de Mexicali	Servicios a domicilio	Mexicali (Valle)
59	Peisal S.A de C.V	Servicios a domicilio	Tijuana
60	Administración de residuos Eco-ambiente S. de R.L de C.V	Recolección de Metales, Papel, Cartón y Plásticos	Tijuana
61	Juan Ramón Ángeles	Recolección de Metales, Papel, Cartón y Plásticos	Tecate
62	Cactus Recicladora de México S. de R.L de C.V	Recolección de Metales, Papel, Cartón y Plásticos	Tijuana
63	Recycling y/o Gustavo Ortiz Maklis	Recolección de Metales, Papel, Cartón, Plásticos y Vidrio	Tijuana
64	Fernando Angulo Lozano	Recolección de Metales, Papel, Cartón, Plásticos y Vidrio	Tijuana
65	Suga Bestmex S.A de C.V	Recolección de Metales, Papel, Cartón, Plásticos y Vidrio	Tijuana
66	Materiales Reciclables de Mexicali S.A de C.V	Recolección de Metales, Papel, Cartón, Plásticos y Vidrio y Residuos Orgánicos	Carretera a San Luis
67	BIOR (BioRegeneradora)	Servicio de limpieza de trampas de grasa, campanas, sistemas de extraccion, cisternas. Servicio de recolección de aceite residual vegetal, merma alimenticia.	Tijuana, Ensenada y Mexicali
68	Eusebio Arena Cordova	Recolección y transporte de residuos de manejo especial en específico: aceite y grasa residual comestible.	Tijuana
69	COMERCIALIZADORA DE SERVICIOS INTEGRALES PEISAL, S.A. DE C.V.	Recoleccion, trasporte y acopio temporal de residuos	Tijuana
70	BAJA PROFESSIONAL CLEAN SERVICE, S. DE R.L DE C.V.	RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL	Tijuana
71	TRANSPORTES TEMARRY, S. DE R.L. DE C.V.	RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL ESPECIFICADOS EN EL TÉRMINO I	Tecate
72	SERVICIOS INTEGRALES PARA RESTAURANTES Y COCINAS INDUSTRIALES, S. DE R.L. DE C.V.	RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS DE GRASAS Y ACEITE DE ORIGEN VEGETAL Y/O ANIMAL	Tecate

No.	Unidad Económica	Actividad Autorizada	Municipio
73	EL ARROYO BAJA, S. DE R.L. DE C.V.	ACOPIO, VALORACAIÓN Y RECICLAJE DE RESIDUOS DE ACEITES Y GRASAS, Y RESIDUOS DE INTERCEPTORES/TRAMPAS DE GRASAS	Tecate
74	BAJA CLEAN SERVICE, S.A. DE C.V.	Recolección y transporte de grasa animal y vegetal	Mexicali
75	ACOSTA RUELAS ALFONSO HAZIEL	Recolección y transporte de aguas residuales (trampa de grasas) y aceite vegeta	Mexicali
76	RUIZ MARTÍNEZ FIDENCIO	Recolección y transporte de residuos de manejo especial	Mexicali
77	RODRÍGUEZ GONZÁLEZ JOSÉ OCTAVIO	Recolección transporte, acopio y almacenaje de aceites vegetales, sebo y hueso	Mexicali
78	BALDERRAMA COTA MOISÉS	Recolección, transporte, acopio, valorización y reciclaje de residuos de manejo especial	Mexicali
79	VALERO LÓPEZ FRANCISCO JAVIER	Recolección, transporte, acopio y valorización de residuos de manejo especial (grasas y aceites residuales de origen animal y vegetal)	Mexicali

Anexo 2: Cuestionario para aplicar en el sector residencial

<https://www.surveio.com/survey/d/N9X3T8R1Q6Y7M8G2R>

Encuesta sobre generación de aceite vegetal usado a nivel residencial

Estimado(a).

En la Universidad Autónoma de Baja California se lleva a cabo un estudio para conocer la cantidad de aceite vegetal residual que se genera en los hogares de la región. Por tal motivo se le solicita amablemente su apoyo respondiendo el siguiente cuestionario, lo cual le tomará 5 min aproximadamente. Tenga en cuenta que sus respuestas son de gran importancia para nuestra investigación, siendo este su aporte en la búsqueda de soluciones para recolectar dicho residual.

¡Importante! Solo debe ser llenado un cuestionario por hogar.

Gracias por su colaboración.

1. Colonia o Fraccionamiento donde reside

2. Número de personas que viven en su vivienda:

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Más de 5

3. Indique el tipo de aceite o grasa que utiliza para freír sus alimentos

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una o más respuestas*

- Soya
- Canola
- Maíz
- Girasol
- Cártamo
- Manteca de cerdo
- Otro
- No preparo alimentos fritos

4. ¿Cuántas veces usa el aceite vegetal para freír sus alimentos antes de desecharlo?

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- 1 vez
- 2 veces
- 3 veces
- Lo desecho cuando está muy quemado
- Nunca lo desecho
- No preparo alimentos fritos

5. Identifique los utensilios que utiliza para freír sus alimentos

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una o más respuestas*

- Sartén
- Freidora eléctrica
- Freidora al vapor
- Ninguno
- Otro..

6. ¿Realiza usted la clasificación de su basura?

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- Si
- No

7. ¿Cuál es el supermercado que más frecuenta?

8. ¿Dónde se encuentra ubicado?

9. Indique con qué frecuencia compra aceite vegetal

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una o más respuestas*

- Diario
- Semanal
- Mensual
- Cada 3 meses
- Una vez al año
- Nunca

10. Seleccione la cantidad de litros de aceite vegetal que regularmente compra

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- 0.5 l o menos
- 1 l
- 1.5 l
- 2 l
- 2.5 l
- de 3 l a 5 l
- más de 5 l

11. De los siguientes formatos en los que se vende el aceite vegetal, seleccione el que usted regularmente compra.

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- menos de 1 l
- 1 l
- 1.5 l
- 2 l
- 3 l
- 5 l
- más de 5 l

12. Seleccione la cantidad de aceite vegetal usado que se desecha semanalmente en su vivienda.

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- menos de 250 ml
- de 250 ml a 500 ml
- de 500 ml a 1 l
- de 1 l a 2 l
- más de 2 l
- No desecho

13. ¿Cómo y dónde desecha el aceite vegetal usado?

14. ¿Conoce si existe algún lugar en la ciudad donde reciban aceite vegetal usado?

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- Sí
- No

15. De haber contestado Sí en la respuesta anterior, por favor, diga dónde se encuentra:

16. ¿Conoce los usos que se le puede dar al aceite vegetal usado?

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- Sí
- No

17. De haber contestado Sí en la respuesta anterior, por favor, mencione un ejemplo:

18. ¿Considera que el aceite vegetal usado es un residual dañino?

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- Sí
- No

19. De haber contestado Sí en la respuesta anterior, por favor, diga por qué:

20. ¿Conoce si existen mecanismos legales para el manejo de residuos?

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- Sí
- No

21. De haber contestado Sí en la respuesta anterior, por favor, mencione un ejemplo:

22. ¿Está dispuesto(a) a coleccionar el aceite vegetal usado?

Instrucciones de pregunta: *Seleccione una respuesta*

- Sí
- No
- Solo si recibo una compensación
- No genero aceite vegetal usado

23. ¿Qué necesitaría en su vivienda/colonia/fraccionamiento para disponer adecuadamente del aceite vegetal usado?

Otros productos académicos

Artículo en revistas

1. Quintana, L., Herrera-Mena, Y., Martínez-Flores, J. L., Coronado, M. A., Montero, G., & Cano-Olivos, P. (2020). Design of waste vegetable oil collection networks applying vehicle routing problem and simultaneous pickup and delivery. *Acta Logistica*, 7(4), 261–268. <https://doi.org/10.22306/al.v7i4.188>.
2. León, J. A., Montero, G., Coronado, M. A., Ayala, J. R., Montes, D. G., Pérez, L. J., Quintana, L., & Armenta, J. M. (2022). Thermodynamic Analysis of Waste Vegetable Oil Conversion to Biodiesel with Solar Energy. *Energies*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/en15051834>.

Capítulo de Libro

1. Potential energy of bioethanol and biodiesel from residual biomass in Baja California, Daniela G. Montes, Lisandra Quintana, Jesús Armenta, Iracema Valenzuela and Edson Armenta, el cual será considerado para publicarse en el libro “Biomass: The novel green gold – Current trends and future uses of biomass resources”, Editores Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega and Dr. José Ramón Ayala Bautista, editorial Nova Science Publishing.

Propiedad Intelectual

1. Marcos Coronado, Conrado García, Gisela Montero, Daniela Montes, Lisandra Quintana, “Rol de la logística en la recuperación de residuos en las cadenas de suministro”, obra literaria, no. de registro INDAUTOR 03-2019-032810041100-01, abril 2019.
2. Marcos Coronado, Conrado García, Gisela Montero, Daniela Montes, Lisandra Quintana, “Evaluación multicriterio para el aprovechamiento de biomasa residual de Baja California”, obra literaria, no. de registro INDAUTOR 03-2019-032810121300-01, abril 2019.

Asistencia a cursos

1. Curso General de Propiedad Intelectual, Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.
2. Investigación de Operaciones, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.
3. Diseño de redes de distribución, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
4. Diplomado de formación emprendedora, TREPCAMP.
5. Train the Trainer for the Fresh Connection, Inchainge.

Asistencia a conferencias y eventos

1. Semana de Aniversario Trabajando para lograr un profesionalismo integral, Escuela de Ingeniería y Negocio “Guadalupe Victoria”.
2. Congreso Internacional de Investigación Morelia 2020, Academia Journals, Morelia, Michoacán, con las ponencias “Optimización de rutas de recolección de aceite vegetal para

una empresa recicladora de residuos, autores” y “Un estudio del riesgo en la cadena de suministro del sector automotriz”

3. 7mo Encuentro Estatal de Jóvenes Investigadores 2020, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, BC con la ponencia “Caracterización de la generación de aceite vegetal residual en el sector residencial en Mexicali”.
4. Ciclo de conferencias La Propiedad Intelectual y la Juventud: Innovar para un Futuro Mejor, Universidad Autónoma de Baja California.

Conferencias Impartidas

5. Conferencia sobre “Función de la Logística en la Administración de Procesos”, Tecnológico de Monterrey.
6. Conferencia sobre “Retos de la Logística en la era digital” en el Simposio Latinoamericano de Emprendimiento e Innovación en el Área Digital, Universidad de Cundinamarca.

Estancia de Investigación

1. Estancia en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (2020).

Artículo en revistas

DESIGN OF WASTE VEGETABLE OIL COLLECTION NETWORKS APPLYING VEHICLE ROUTING PROBLEM AND SIMULTANEOUS PICKUP AND DELIVERY

Lisandra Quintana

Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Calle de la Normal y Blvd. Benito Juárez S/N, 21280, Mexicali, B.C, Mexico, quintana.lisandra@uabc.edu.mx

Yalexá Herrera-Mena

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Calle 17 Sur 711, 72410, Puebla, Mexico, yalexá.herrera@upaep.edu.mx

José L. Martínez-Flores

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Calle 17 Sur 711, 72410, Puebla, Mexico, joseluis.martinez01@upaep.mx

Marcos A. Coronado

Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Calle de la Normal y Blvd. Benito Juárez S/N, 21280, Mexicali, B.C, Mexico, marcos.coronado@uabc.edu.mx (corresponding author)

Gisela Montero

Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Calle de la Normal y Blvd. Benito Juárez S/N, 21280, Mexicali, B.C, Mexico, gmontero@uabc.edu.mx

Patricia Cano-Olivos

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Calle 17 Sur 711, 72410, Puebla, Mexico, patricia.cano@upaep.mx

Keywords: Vehicle Routing Problem Simultaneous Pickup and Delivery - VRPSPD, waste vegetable oil, recovery logistics

Abstract: The growth of industrialization in Mexico has caused an increase in the demand for materials to satisfy the consumption of goods and services of a growing population. Given this scenario, there is a rise of the residual generation with affectations on the ecosystem and population health. Hence, the objective of this research was to design a network for waste vegetable oil collection based on vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, starting from a distribution centre to 49 restaurants, as the generation sources of waste vegetable oil. The Vehicle Routing Problem Simultaneous Pickup and Delivery with Time Windows was the variant used as a vehicle routing method to solve the problem. The free software VPRPD was the tool used to solve the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery that allowed to specify time restrictions. This software uses the simulated annealing metaheuristics in its syntax. As a result, it was obtained a total of 8 networks, for a vehicle capacity utilization of 70 percent in the 6 t vehicle and 46 percent in the 8 t vehicle.

1 Introduction

The growth for industrialization in Mexico has caused an increase in the demand of materials to satisfy the consumption of goods and services of a growing population. Given this scenario, the increase in residual generation at the national level is evident, with affectations on the ecosystem and population health. Therefore, it is everyone's responsibility to find solutions that help mitigate these damages [1]. Scientific and technical advances have made it possible to identify that many of these wastes can be a potential feedstock in several production processes [2-5].

An example of this waste generation is the vegetable oil supply chain, where the last user generates waste vegetable oil (WVO), a residue obtained from frying food. This waste

is recovered when it is subjected to a physical treatment process, becoming a good enough material that can be used in the production systems of the chemical industry for the production of biofuel as well as a food supplement for the livestock sector. The commercial value of the waste vegetable oil is evident, therefore, it is necessary to design logistic networks that transport the residual from the generation sources to a collection centre, where it can be treated and valorised. It would not only have a positive environmental and social impact; it would also open up new business opportunities with sustainable competitive advantages.

Residual management and products recovery are a complex problem that requires planning, management and control of the flow of materials and products [6]. Hence, the recovery logistics process has a fundamental role,

Article

Thermodynamic Analysis of Waste Vegetable Oil Conversion to Biodiesel with Solar Energy

José A. León , Gisela Montero *, Marcos A. Coronado , José R. Ayala , Daniela G. Montes ,
Laura J. Pérez , Lisandra Quintana  and Jesús M. Armenta

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Boulevard Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Colonia Insurgentes Este, Mexicali 21280, Mexico; jose.leon30@uabc.edu.mx (J.A.L.); marcos.coronado@uabc.edu.mx (M.A.C.); ramon.ayala@uabc.edu.mx (J.R.A.); dmontes35@uabc.edu.mx (D.G.M.); lperez7@uabc.edu.mx (L.J.P.); quintana.lisandra@uabc.edu.mx (L.Q.); a1174515@uabc.edu.mx (J.M.A.)

* Correspondence: gmontero@uabc.edu.mx

Abstract: Exergy and energy analyses of two biodiesel production processes that integrate solar energy as the main energy source were developed to determine the process with the higher efficiency from an energy and exergy approach. The biodiesel production processes were simulated in ASPEN PLUS[®], and the solar energy supply was studied in TRNSYS[®], using EXCEL[®] simultaneously for the exergetic analysis. The solar thermal energy collection system can supply 81% of the energy required by the alkali process in the Flash separation equipment. For the supercritical process, solar thermal energy can supply 74.5% of the energy in the preheating and separation stages. The energy efficiency of the supercritical process is higher; nevertheless, the exergetic efficiency of the alkaline process is higher than the supercritical one. Solar collection systems contribute from 85% to 93% of the exergy destroyed by the global process for both cases. The alkaline biodiesel production process has the highest advantages when using solar energy as the main source of energy, compared to a process in supercritical conditions that presents greater irreversibilities and requires more infrastructure to collect the solar resource. However, using solar energy as the foremost energy source offers an alternative to fossil fuels, and it provides an environmental benefit concurrently with the use of biodiesel.

Keywords: solar energy; energy analysis; exergy analysis; renewable energy; sustainability



Citation: León, J.A.; Montero, G.; Coronado, M.A.; Ayala, J.R.; Montes, D.G.; Pérez, L.J.; Quintana, L.; Armenta, J.M. Thermodynamic Analysis of Waste Vegetable Oil Conversion to Biodiesel with Solar Energy. *Energies* **2022**, *15*, 1834. <https://doi.org/10.3390/en15051834>

Academic Editor: Audrius Bagdanavicius

Received: 20 January 2022
Accepted: 24 February 2022
Published: 2 March 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Approximately 86.4% of the energy resources required by man are supplied by fossil fuels, which has increased environmental and health problems worldwide [1]. By 2030, the transport sector will consume the same amount of fossil fuels that all sectors consumed in 2003 worldwide, approximately 55,029 Mtoe [2].

The heating process constitutes more than 35% of the energy consumed industrially in the world, commonly the temperature of the heat supply of industrial processes is below 400 °C, and approximately 80% of the energy used to produce it comes from natural gas and petroleum derivatives [3]. Therefore, the consumption of renewable energies such as solar, wind, hydraulic, and biomass energy is very relevant. Solar energy has a great potential to produce clean and environmentally friendly heating.

Industry energy demand has been on the rise in recent decades; even as equipment specifications and process operation have improved, inefficiencies in the conversion and utilization of process energy remain a significant factor for the reduction in energy consumption [4]. Exergy represents the amount of useful work that can be obtained from a system when it is brought into thermodynamic equilibrium with the environment. Exergy analysis of a process allows focusing on the thermodynamic losses and inefficiencies of each unit or block in a production process. However, the number of studies based on the exergy of

Capítulo de libro

3.

ABSTRACT FOR CHAPTER PROPOSAL DECISION

Title: Potential energy of bioethanol and biodiesel from residual biomass in Baja California
Authors: Daniela G. Montes, Lisandra Quintana, Jesús M. Armenta, Iracema Valenzuela and Edson E. Armenta
Book Editors Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega and Dr. José Ramón Ayala Bautista

We are pleased to inform you that your book chapter proposal has

PRELIMINARY CONSIDERATION

To be included in the final book proposal:

Biomass: The novel green gold – Current trends and future uses of biomass resources
Under the section: (Energy applications or Non energy applications)

That will be submitted to Nova Science Publishing. You have until **June 3, 2022**, to send us your full chapter to the following email addresses:

marcos.coronado@uabc.edu.mx

ramon.ayala91@uabc.edu.mx

You are requested to strictly follow the authors guidelines to avoid unnecessary delays. We are looking forward to establish a long term professional relationship with you.

Best Regards,
The Editors



Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega



Dr. José Ramón Ayala Bautista

Propiedad Intelectual

5.

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO
GARCIA GONZALEZ CONRADO
MONTERO ALPIREZ GISELA
MONTES NUÑEZ DANIELA GUADALUPE LUCIA
QUINTANA ALVAREZ LISANDRA

TITULO: ROL DE LA LOGISTICA EN LA RECUPERACION DE RESIDUOS EN LAS
CADENAS DE SUMINISTRO

RAMA: LITERARIA

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL
ART. 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2019-032810041100-01

México D.F., a 4 de abril de 2019

SUBDIRECTOR DE REGISTRO DE OBRAS Y CONTRATOS

DANIEL RAMOS LOPEZ

SECRETARIA DE CULTURA
INSTITUTO NACIONAL DEL
DERECHO DE AUTOR
DIRECCIÓN DE REGISTRO PÚBLICO
DEL DERECHO DE AUTOR

CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO
GARCIA GONZALEZ CONRADO
MONTERO ALPIREZ GISELA
MONTES NUÑEZ DANIELA GUADALUPE LUCIA
QUINTANA ALVAREZ LISANDRA

TITULO: EVALUACION MULTICRITERIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA
RESIDUAL DE BAJA CALIFORNIA

RAMA: LITERARIA

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL
ART. 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracción I de la Ley Federal del Derecho de Autor, no es objeto de protección como derecho de autor: las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2019-032810121300-01

México D.F., a 4 de abril de 2019

SUBDIRECTOR DE REGISTRO DE OBRAS Y CONTRATOS

DANIEL RAMOS LOPEZ

SECRETARÍA DE CULTURA
INSTITUTO NACIONAL DEL
DERECHO DE AUTOR
DIRECCIÓN DE REGISTRO PÚBLICO
DEL DERECHO DE AUTOR

CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR
Instituto Nacional del Derecho de Autor

Cursos recibidos



Academia de la OMPI

CERTIFICADO

Por el presente se certifica que

Lisandra Quintana

ha completado satisfactoriamente
el curso de enseñanza a distancia titulado

CURSO GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

impartido del 2 de abril al 19 de mayo de 2019

Sherif Saadallah
Director Ejecutivo
Academia de la OMPI



Lqpi10Vz



Puebla, Pue., a 01 de junio del 2020

A QUIEN CORRESPONDA

Por este medio hago constar que la M.C. Lisandra Quintana Álvarez, como alumna visitante en estancia doctoral, cursó la materia: MAD554 Investigación de Operaciones en el Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro, en el periodo Primavera 2020 teniendo una calificación de 9 (base 10).

Sin más por el momento me despido de Ud., poniéndome a sus órdenes para cualquier aclaración al respecto.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Luis Martínez Flores', written in a cursive style.

Dr. José Luis Martínez Flores

Director Académico de Posgrados en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro.

Decanato de Posgrados en Ingeniería y Negocios

joseluis.martinez01@upaep.mx



Puebla, Pue., a 01 de septiembre del 2020

A QUIEN CORRESPONDA

Por este medio hago constar que la M.C. Lisandra Quintana Álvarez, como alumna visitante en estancia doctoral, cursó la materia: LOG554 Diseño de Redes de Distribución en el Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro, en el período Verano 2020 teniendo una calificación de 10 (base 10).

Sin más por el momento me despido de Ud., poniéndome a sus órdenes para cualquier aclaración al respecto.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Luis Martínez Flores', written over a faint horizontal line.

Dr. José Luis Martínez Flores
Director Académico de Posgrados en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro.
Decanato de Posgrados en Ingeniería y Negocios
joseluis.martinez01@upaep.mx



DIPLOMA DE FORMACIÓN EMPRENDEDORA

Este es un certificado de reconocimiento para

Lisandra Quintana Alvarez

quien ha completado satisfactoriamente 25 horas de estudio y aplicación de las seis metodologías emprendedoras más importantes para emprendedores de alto impacto.



Fernando Sepúlveda
CEO TrepCamp



Noviembre 2020
TC-02663



CERTIFICATE
of ACHIEVEMENT

The Board of Directors of Inchange B.V.
hereby acknowledges that

Lisandra Quintana

is a Certified Trainer, after successfully completing

the Train the Trainer course

for The Fresh Connection

This certificate grants its owner the right to use The Fresh Connection business simulation game in his/her courses for a period of 2 years as of the date mentioned below. Active implementation of this knowledge in the curriculum, apparent by renewed purchase of licenses, will extend the certification period for another 6 months.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Egge Haak'.

Egge Haak
Inchange B.V.

VERIFIED CERTIFICATE
Issued December 12th, 2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Corine van der Sloot'.

Corine van der Sloot
Inchange B.V.



VALID CERTIFICATE ID
4F982CD18C5849870A

Eventos y Conferencias



Universidad Autónoma de Baja California
Escuela de Ingeniería y Negocios, Guadalupe Victoria



Otorga la presente
CONSTANCIA

A la:

Mtra. Lisandra Quintana Álvarez

Por su participación como ponente en:
**Fomentar la internacionalización a través de la divulgación
de la cultura de su país**

*Dentro del marco de la 12ª Semana de Aniversario
"Trabajando para lograr un profesionalismo integral"*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA



ESCUELA DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS
GUADALUPE VICTORIA
Folio. 5229

Mexicali, B.C., a 16 de noviembre de 2018
"Por la realización plena del hombre"

[Firma]
Dra. Ana María Vázquez Espinoza
Directora

AÑOS



Universidad Nova Spania



CONGRESO
INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN
ACADEMIA JOURNALS MORELIA 2020

CERTIFICADO

otorgado a

MsC. Lisandra Quintana Alvarez
Dr. José Luis Martínez Flores
MsC. Yalixa Herrera Mena
Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega

por su artículo intitulado

Optimización de rutas de recolección de aceite vegetal residual para una empresa recicladora de residuos

(Artículo No. M376)

el cual fue presentado en el congreso que tuvo como sede la Universidad Nova Spania de Morelia, Michoacán, México los días 13 al 15 de mayo de 2020 y ha sido publicado en las siguientes modalidades: (1) en el portal de Internet *AcademiaJournals.com*, con ISSN 1946-5351, Vol. 12, #1, 2020 online e indización en la base de datos Fuente Académica Plus de EBSCOhost y (2) en el libro electrónico intitulado *Investigación en la Educación Superior: Morelia 2020*, mismo que tiene asignado el ISBN 978-1-939982-58-2 online.



Rector Gilberto Agatón
Universidad Nova Spania
Morelia, Michoacán



Rafael Moras, Ph.D., P.E.
Editor, Academia Journals
Profesor, St. Mary's University San
Antonio



Dr. Pedro López Eiroá
Director General
Centro de Investigación Pyseip



Universidad Nova Spania



CONGRESO
INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN
ACADEMIA JOURNALS MORELIA 2020

CERTIFICADO

otorgado a

Msc. Yalixa Herrera Mena
Dr. José Luis Martínez-Flores
Dra. Alejandra Aldrette-Malacara
Msc. Lisandra Quintana Álvarez

por su artículo intitulado

Un estudio del riesgo en la cadena de suministro del sector automotriz

(Artículo No. M377)

el cual fue presentado en el congreso que tuvo como sede la Universidad Nova Spania de Morelia, Michoacán, México los días 13 al 15 de mayo de 2020 y ha sido publicado en las siguientes modalidades: (1) en el portal de Internet *AcademiaJournals.com*, con ISSN 1946-5351, Vol. 12, #1, 2020 online e indexación en la base de datos Fuente Académica Plus de EBSCOhost y (2) en el libro electrónico intitulado *Investigación en la Educación Superior: Morelia 2020*, mismo que tiene asignado el ISBN 978-1-939982-58-2 online.



Rector Gilberto Agatón
Universidad Nova Spania
Morelia, Michoacán

Rafael Moras, Ph.D., P.E.
Editor, Academia Journals
Profesor, St. Mary's University San
Antonio

Dr. Pedro López Eiroá
Director General
Centro de Investigación Pyseip

Universidad Autónoma de Baja California

Coordinación General de Posgrado e Investigación

Otorga la siguiente constancia a:

LISANDRA QUINTANA ALVAREZ

Por su destacada participación con la ponencia oral:
**CARACTERIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL EN EL
SECTOR RESIDENCIAL EN MEXICALI**

En el área de: **Ingeniería e Industria**



ATENTAMENTE:
"POR REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE"
Mexicali, Baja California, a 30 de octubre de 2020
Coordinador general

DR. JUAN GUILLERMO VACA RODRÍGUEZ





Universidad
Autónoma de
Baja California

La Universidad Autónoma de Baja California a través
del Instituto de Ingeniería otorga la presente

CONSTANCIA

Lisandra Quintana Álvarez

Por haber asistido al ciclo de conferencias "La Propiedad Intelectual y la Juventud: Innovar para un Futuro Mejor".

Con motivo del Día Mundial de la Propiedad Intelectual celebrado por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), en el marco de actividades del Modelo de Vinculación Inteligente-Centro Inteligente de Innovación y Desarrollo Tecnológico de la UABC y el Ecosistema STEAM UABC.



Dr. Mario Alberto Curiel Álvarez
Director
del Instituto de Ingeniería



Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega
Responsable de Propiedad Intelectual
del Instituto de Ingeniería

POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE
Mexicali, Baja California, México a 26 de abril de 2022



#worldipday
wipo.int/ipday

**LA
PROPIEDAD
INTELLECTUAL
y la JUVENTUD:**

Innovar para un
Futuro Mejor



Conferencias impartidas



**Tecnológico
de Monterrey**

Otorga el presente

Reconocimiento

Mtra. Lisandra Quintana Álvarez

Por su valiosa participación con la ponencia "**Función de la Logística en la Administración de Procesos: Caso de estudio del sector empresarial cubano**" para alumnos de Administración Estratégica de Proyectos y Procesos.

Agradeciendo sus testimonios, experiencias y conocimientos compartidos con nuestra comunidad académica.

Puebla, Pue., a 26 de marzo 2021

Mtro. Miguel G. Díaz Sánchez
Director Asociado de Emprendimiento y Gestión y Liderazgo
Escuela de Negocios, Puebla

16

Soacha, 2021-10-14

Doctora:

LISANDRA QUINTANA
Universidad Autónoma Baja California.
quintana.lisandra@uabc.edu.mx
Ciudad

Asunto: Invitación Simposio Latinoamericano de Emprendimiento e Innovación en la era digital – Muestra Industrial 2021.

Respetada Doctora:

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cundinamarca, con el ánimo de Fomentar el espíritu emprendedor, la creación de empresas mediante la innovación tecnológica en el marco del covid-2019 aplicando el modelo educativo digital transmoderno – MEDIT y contribuyendo al mejoramiento de la calidad académica y al desarrollo productivo empresarial y cultural buscando la articulación gobierno, empresa y universidad.

Tiene el gusto de Invitarlo Simposio Latinoamericano de Emprendimiento e Innovación en la era digital – Muestra Industrial 2021 el cual se desarrollará de forma virtual el próximo 20 y 21 de octubre.

Evento que se encuentra enmarcado dentro del Frente Estratégicos II “**Cultura Académica, Científica y Formativa**” y el Frente Estratégico III “**Educación para la vida, los valores democráticos, la civilidad y la libertad**” del Plan de Desarrollo Institucional Ucuandamarca Generación Siglo 21, 2016-2019.

Su participación en el evento está confirmada para el **día 20 de octubre a las 10:00 Am.**

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



Otorga el presente

CERTIFICADO

A:

Lisandra Quintana Alvarez

Por su participación como ponente en el:

Simposio Latinoamericano de Emprendimiento e Innovación en el Área Digital

Realizado del 20 al 21 de octubre de 2021 de forma virtual

Se expide, firma y sella el presente certificado en la ciudad de Soacha, Cundinamarca, Colombia

En el mes de octubre de 2021

JESUS LEONARDO LARA FLORIAN.
Coordinador Programa Ingeniería Industrial.
Universidad De Cundinamarca
Extensión Soacha.



Estancia de Investigación



Puebla, Pue., a 09 de enero del 2020

Estimada Lisandra Quintana Álvarez
Estudiante del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California.

En respuesta a tu correo electrónico donde nos solicitas realizar una estancia de investigación en nuestro programa de Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro te informamos que hemos hecho una revisión de tu Kardex, de tu CV, así como de tus intereses de investigación en el área de Logística. Así, hemos decidido invitarte a que realices una estancia de investigación en nuestro posgrado en logística del 24 de febrero del 2020 al 24 de julio del 2020.

El objetivo de esta estancia es que desarrolles habilidades de investigación en el área de Diseño de Redes de Recuperación de Residuos. El tutor de tu estancia será el Dr. José Luis Martínez Flores y la producción de tu estancia será un artículo de investigación que tendrá que ser sometido a una revista indizada.

Cabe mencionar que de parte nuestra no existirá remuneración alguna, pero sí tendrás una credencial para el acceso a nuestras instalaciones y uso de la biblioteca.

Sin más por el momento, quedamos de usted.

Atentamente,


Dr. José Luis Martínez Flores
Director Académico de Posgrados en
Logística y Dirección de la Cadena de
Suministro.
Decanato de Posgrados en Ingeniería y
Negocios
jose Luis.martinez01@upaep.mx


Dra. Rosa María Cantón Croda
Decana de Posgrados en Ingeniería y
Negocios.
rosamaria.canton@upaep.mx

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
21 Sur 1103 Col. Santiago. C. P. 72410. Puebla, Puebla, México.
Tel. (222) 229 94 00 y 01 800 2242200