

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Tesis para obtener el grado de Maestra en Ingeniería**

**“Diseño de un plan de gestión integral de residuos de naranja generados por  
establecimientos comerciales en Mexicali”**

**PRESENTA**

Laura Duarte Jaramillo

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega

**CODIRECTOR DE TESIS**

Dr. José Ramón Ayala Bautista

Mexicali, Baja California junio del 2024

## **Dedicatoria**

A Beatriz y Edison, quienes han sido refugio, impulso y alas.

## **Agradecimientos**

A mi familia, por estar siempre presentes aun en la distancia, especialmente a la mujer que todo lo puede y al autoproclamado genio; sin ustedes nada sería posible.

A los doctores Marcos Coronado y Ramón Ayala, mi director y codirector de tesis respectivamente, por guiarme en esta investigación con sus correcciones oportunas y por su constante interés en mi bienestar integral. Agradezco también su paciencia y comprensión ante mis ocurrencias.

A la Dra. Daniela Montes por toda su ayuda y correcciones, a la Dra. Lisandra Quintana por atender mis preguntas y al Dr. Francisco Del Toro por sus horas de paciencia al enseñarme a manejar QGIS.

A mis compañeros del laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos, al Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, a todos los profesores que aportaron en mi educación y a CONAHCYT por todo su apoyo.

A todas las personas que han estado para mí y que han hecho algún esfuerzo para hacerme sentir parte de Mexicali estos dos años.

Y, por último, al que una vez fue luz y faro.

# Contenido

Resumen.....	11
CAPÍTULO I .....	12
Introducción .....	12
Planteamiento del problema.....	14
Justificación .....	15
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos .....	16
CAPÍTULO II.....	17
2. Marco teórico .....	17
2.1. Desarrollo sustentable.....	17
2.2. Economía circular .....	17
2.3. Gestión integral de residuos sólidos .....	17
2.4. Logística.....	19
2.5. Pasos para la creación de un canal de distribución inversa .....	20
2.6. Ciclo de vida .....	21
2.7. Residuos orgánicos .....	21
2.8. Marco normativo en México.....	22
2.9. Análisis de la oferta de naranja en el mundo .....	23
2.10. Importación y exportación de la naranja.....	24
2.11. Problemas de optimización combinatoria.....	25
2.12. Sistemas de información geográfica .....	27
2.13. Antecedentes .....	27
CAPÍTULO III.....	32
3. Metodología .....	32
3.1. Etapas para la formulación de un plan de gestión integral de cáscara de naranja (PGICN).....	32
3.2. Diagnóstico .....	33
3.2.1. Determinación de superficie cosechada de naranja .....	33
3.2.2. Empresas generadoras de jugo de naranja en Mexicali .....	33
3.2.3. Análisis de la demanda de naranja.....	35
3.2.4. Estimación de la cáscara de naranja residual .....	35
3.2.5. Sondeo a posibles generadores de cáscara de naranja .....	36
3.2.6. Geolocalización de los establecimientos generadores de cáscara de naranja .....	36

3.2.7.	Creación del instrumento para la recolección de información.....	39
3.2.8.	Aplicación de encuestas a establecimientos generadores de cáscara de naranja .....	39
3.2.9.	Rutas de recolección de información .....	41
3.2.10.	Corrección de las encuestas .....	42
3.2.11.	Segunda visita a establecimientos seleccionados .....	43
3.3.	Separación en la fuente .....	44
3.4.	Recolección y transporte.....	45
3.4.1.	Creación de mapa de los establecimientos generadores de cáscara de naranja en Mexicali .....	45
3.4.2.	Planteamiento de posibles escenarios para la recolección de cáscara de naranja.....	47
3.4.3.	Creación de rutas de recolección de cáscara de naranja .....	48
3.4.4.	Aplicación del TSP con programación abierta, mediante la herramienta <i>Solver</i> de Excel para el diseño de la ruta de menor distancia .....	58
3.4.5.	Vehículo para la recolección de cáscara de naranja en Mexicali.....	63
3.4.6.	Determinación del consumo de gasolina y emisiones de CO <sub>2</sub> por ruta .....	64
3.5.	Clasificación y Almacenamiento .....	66
3.6.	Aprovechamiento.....	66
CAPÍTULO IV.....		67
4.	Resultados.....	67
4.1.	Diagnóstico .....	67
4.1.1.	Determinación de la superficie cosechada de naranja .....	67
4.1.2.	Empresas productoras de jugo de naranja en Mexicali.....	68
4.1.3.	Sondeo a posibles generadores de cáscara de naranja .....	69
4.1.4.	Análisis de la información obtenida por las encuestas .....	70
4.1.5.	Estimación de la cáscara de naranja residual .....	71
4.1.6.	Distribución de la generación de cáscara de naranja en establecimientos comerciales en Mexicali.....	72
4.1.7.	Cambios en la generación de cáscara de naranja .....	74
4.2.	Creación de mapa de los establecimientos generadores de cáscara de naranja en Mexicali .....	74
4.2.1.	Posibles escenarios para la recolección de cáscara de naranja .....	75
4.2.2.	Rutas de recolección de cáscara de naranja .....	78
4.2.3.	Ruta optimizada con la Aplicación del TSP mediante la herramienta <i>Solver</i> .....	82
4.2.4.	Consumo de gasolina y emisiones de CO <sub>2</sub> por ruta de recolección.....	87
4.3.	Almacenamiento .....	88
4.4.	Aprovechamiento.....	89

CAPÍTULO V .....	91
5. Discusión de Resultados .....	91
6. Conclusiones .....	92
7. Productos académicos .....	94
8. Referencias.....	94

## Índice de Tablas

Tabla 1. Producción de naranja (t) por país en 2020 .....	23
Tabla 2. Valor de la producción de naranja por país en millones de dólares, 2020 .....	24
Tabla 3. generación anual de CN.....	36
Tabla 4. Organización de los establecimientos para QGIS.....	37
Tabla 5. 37 establecimientos generadores de CN .....	46
Tabla 6. Tramos modificados en la Ruta para los 37 establecimientos generadores.....	55
Tabla 7. Tramos modificados en la Ruta para los 18 establecimientos generadores.....	57
Tabla 8. Tramos modificados en la Ruta para 10 establecimientos generadores .....	58
Tabla 9. Tabla dinámica de distancias .....	59
Tabla 10. Modelo Solver para 36 puntos .....	60
Tabla 11. Modelo Solver para 18 puntos .....	63
Tabla 12. Densidad de combustibles .....	65
Tabla 13. Establecimientos comerciales generadores de productos a base de naranja.....	68
Tabla 14. Resultados del sondeo a comercios .....	69
Tabla 15. Estimación de CN residual para Mexicali .....	71
Tabla 16. Distribución de generación de CN en Mexicali.....	73
Tabla 17. Actualización de la generación de CN.....	74
Tabla 18. Primer escenario de establecimientos para ruta de recolección.....	76
Tabla 19. Segundo escenario de establecimientos para ruta de recolección.....	77
Tabla 20. Tercer escenario de establecimientos para ruta de recolección .....	78
Tabla 21. Ruta óptima Solver 37 puntos.....	82
Tabla 22. Ruta óptima Solver 18 puntos.....	83
Tabla 23. Ruta óptima Solver 10 puntos.....	85
Tabla 24. Consumo de gasolina y emisiones de CO <sub>2</sub> .....	87
Tabla 25. Peor escenario para 18 puntos .....	88
Tabla 26. Comparación consumo de gasolina y emisiones de CO <sub>2</sub> para 18 puntos.....	88

## Índice de Figuras

Figura 1. Red de logística integral .....	19
Figura 2. Clasificación de los residuos sólidos orgánicos .....	21
Figura 3. Código de colores SEMARNAT .....	22
Figura 4. Productos estudiados como posibles subproductos de valor agregado a partir del aprovechamiento de los residuos de naranja bajo el concepto de biorrefinería.....	30
Figura 5. Diagrama propuesto para la biorrefinería de CN .....	31
Figura 6. Etapas de un plan de gestión de residuos sólidos .....	32
Figura 7. Resultado de la búsqueda de establecimientos en el mapa de Mexicali.....	34
Figura 8. Encuesta de Google .....	39
Figura 9. Carga de información para creación de rutas .....	41
Figura 10. Rutas de recolección de la información.....	42
Figura 11. Costal de naranjas.....	43
Figura 12. Caja de naranjas.....	43
Figura 13. Canasta .....	44
Figura 14. Descarga de mapa base.....	48
Figura 15. Calles de dos sentidos en Mexicali.....	49
Figura 16. Establecimientos generadores de CN.....	50
Figura 17. Esquema de la ruta más corta .....	51
Figura 18. Distancias a todos los puntos.....	52
Figura 19. Tabla de atributos de la OD_Matrix.....	53
Figura 20. Tramo 32 .....	54
Figura 21. Ruta por distancia más corta para 37 puntos .....	55
Figura 22. Condicional para la selección de los 18 primeros generadores de CN en Mexicali...	56
Figura 23. Ruta por la distancia más corta para 18 puntos .....	57
Figura 24. Ruta por distancia más corta para 10 puntos .....	58
Figura 25. Parámetros de Solver .....	61
Figura 26. Parámetro de tiempo.....	62
Figura 27. Características del Ford F150.....	64
Figura 28. Superficie cosechada de naranja en Mexicali y Ensenada 2011-2021 .....	68
Figura 29. Muestra inicial de establecimientos comerciales .....	70

Figura 30. Establecimientos generadores de CN en Mexicali .....	71
Figura 31. Mapa de comparación de datos proporcionados por DENUE y puntos de generación	75
Figura 32. Mapa de la ruta 1 .....	79
Figura 33. Mapa de la ruta 2 .....	80
Figura 34. Mapa de la ruta 3 .....	81
Figura 35. Ruta optimizada por Solver 18 puntos .....	84
Figura 36. Ruta optimizada por Solver 10 puntos .....	86
Figura 37. Contenedor hermético .....	89
Figura 38. Productos de valor agregado producidos en el Laboratorio de Biomasa y Bioenergeticos con CN .....	90

## **Lista de abreviaturas**

CN: Cáscara de naranja.

Cp: Consumo per cápita promedio anual.

DENUE: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas.

Dn: Demanda anual.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

L: Litro

LI: Logística inversa.

LV: Logística verde.

Nh: Número de habitantes.

PGICN: Plan de gestión integral de cáscara de naranja

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SIG: Sistema de Información Geográfico.

t: Tonelada.

TSP: Problema del Viajante de Comercio, (por sus siglas en inglés, Traveling Salesman Problem).

UABC: Universidad Autónoma de Baja California.

## Resumen

La presente tesis tuvo como objetivo diseñar un plan de gestión integral de cáscara de naranja generada por establecimientos comerciales en Mexicali, Baja California, mediante el uso de sistemas de información geográfica, con el fin de aprovechar estos subproductos de manera sustentable. Se identificó que Mexicali produce el 85% de las naranjas en Baja California, generando una gran cantidad de cáscaras como subproducto. El estudio se centró en la recolección eficiente de estas cáscaras para su posterior aprovechamiento en la producción de aceite esencial y otros productos de valor agregado. Se realizó un diagnóstico de la producción de naranja y la generación de cáscaras en Mexicali, identificando 37 establecimientos comerciales generadores de 714.50 kg de este residuo. Se seleccionaron 18 puntos estratégicos para la recolección eficiente, los cuales generaban 689.50 kg de cáscaras de naranja, equivalente al 96.77% de la generación total por parte de establecimientos comerciales, creando una ruta óptima de recolección con la ayuda de QGIS y el problema de optimización combinatoria del Viajante de Comercio (TSP), en la que se disminuyó el 59.23% de la distancia de recolección, teniendo el mejor equilibrio entre cantidad de residuos recolectados, emisiones de CO<sub>2</sub> y costos asociados al consumo de gasolina. Se propuso un plan de gestión integral que incluye la separación en la fuente, recolección, transporte, almacenamiento y aprovechamiento de las cáscaras de naranja.

# CAPÍTULO I

## Introducción

Los residuos generados por los cítricos son un recurso inagotable que se puede utilizar para desarrollar productos energéticos y no energéticos. Los cítricos son importantes desde el punto de vista de la agroindustria. Éstos se encuentran entre las frutas más consumidas en el mundo y están presentes en diferentes industrias desde consumo fresco hasta la producción de jugos procesados.

La naranja es una fruta cítrica, perteneciente al género *Citrus* de la familia de las Rutáceas (Martínez, 2019); es originaria del sureste de China y norte de Birmania; se extendió a Japón e India y llegó a Occidente por la ruta de la seda. Los árabes la introdujeron en el sur de España en el siglo X y a partir de ese momento fue extendiéndose por toda Europa y América (FEN, 2018).

La naranja es un cultivo arbustivo de tipo perenne. Debido al clima heterogéneo en México, esta se produce en todo el año, sin embargo, en los meses de febrero a abril se concentra el 45 % del volumen total anual. La producción máxima se presenta en el mes de marzo y la mínima en julio ocasionando fuertes cambios en el precio (Martínez, 2019).

La naranja tiene un alto valor nutricional debido a que es fuente de ácido ascórbico (vitamina C): cada 100 g de porción comestible de naranja aporta 60 mg de vitamina C (Latham, 2002). También es fuente de folatos, que contribuyen a la formación normal de las células sanguíneas. Las naranjas presentan en su composición ácidos orgánicos, como el ácido málico y el ácido cítrico. Asimismo, contienen importantes cantidades de los ácidos hidroxicinámicos, ferúlico, cafeico y p-cumárico, los cuales presentan actividad antioxidante. Estas frutas son ricas en flavonoides, los más conocidos son hesperidina, neoshesperidina, naringina, narirutina, tangeretina y nobiletina (FEN, 2018).

Los subproductos generados a partir de la industria de la naranja son una fuente rica de compuestos bioactivos, incluidos los aceites esenciales, la pectina y los antioxidantes solubles e insolubles en agua. Sin embargo, los residuos generados se desechan al medio ambiente, lo cual causa una seria

amenaza de contaminación debido a la presencia de compuestos bioactivos. El adecuado manejo de los residuos en una región es de vital importancia debido al bajo impacto que generaría en los componentes social, económico y ambiental.

Mexicali es la capital de Baja California, se encuentra localizada en el extremo noroeste del valle de Mexicali, en la frontera con los Estados Unidos de América (IMIP, 2022). La generación de residuos sólidos municipales en la ciudad de Mexicali alcanza 900 toneladas diarias. El servicio de recolección de basura cubre 350 colonias y es importante señalar que existen empresas privadas para la recolección, transporte y reciclado de los residuos. La ciudad cuenta con una unidad de transferencia ubicada junto a la laguna Xochimilco para transportar los residuos sólidos al relleno sanitario: su disposición final (Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali, 2022). En el caso del valle de Mexicali, la cáscara residual de naranja posee potencial para ser reutilizada. Este material residual agroindustrial se aprovecha de manera parcial en la actualidad.

La técnica utilizada para la disposición de los desechos sólidos en el suelo se denomina relleno sanitario, con la que se evita perjudicar al medio ambiente y sin causar molestias a la población (Ministerio del Ambiente, 2015). Consiste en la construcción de celdas o áreas impermeabilizadas en las que se depositan los residuos, se compactan y se cubren con capas de tierra o material de cobertura. Esto ayuda a prevenir la contaminación del suelo y del agua subterránea, controlar los olores y reducir los riesgos para la salud pública (Díaz, 2012). El relleno sanitario al que van los residuos de Mexicali se localiza en el ejido Hipólito Rentería 20 km al sur de la ciudad (Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali, 2022).

Para esta tesis, se recopilaron y analizaron datos de producción de naranja en Baja California con el fin de elaborar series históricas. Se investigaron los establecimientos comerciales que venden productos a base de naranja, se analizó la oferta global de naranja y se evaluó la posición de México a nivel mundial en su producción. Además, se estimó la demanda de naranja en Mexicali y se calculó la cantidad teórica de cáscara generada en la ciudad por año. Posteriormente, se identificaron las fuentes potenciales de generación de cáscara de naranja (CN) en Mexicali y se diseñó el instrumento de recolección de información. Se consultaron los establecimientos

comerciales en el DENUE (Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas), se aplicó el instrumento de recolección y se presentaron los resultados de las encuestas a los posibles generadores de CN, con un análisis detallado de su ubicación en el mapa de Mexicali. El trabajo también examinó la variabilidad estacional en la generación de CN, calculó el porcentaje generado por cada establecimiento y propuso escenarios para rutas de recolección por medio de un sistema de optimización combinatoria y SIG, considerando la selección de la ruta con menor consumo de combustible y generación de CO<sub>2</sub>.

### **Planteamiento del problema**

Los cítricos son el principal producto frutícola en el mundo. En 2019, su producción obtuvo un récord de 143,755,000 t con un aumento interanual del 9% y un crecimiento sostenido de 3.1% anual en la última década (FAO, 2021). Del mercado total de cítricos para el mismo año, la naranja alcanzó 76,292,600 t; mandarina 37,429,300 t, limones y limas 20,529,000 t, y pomelo 9,504,100 t. De acuerdo con estos datos, el cultivo de la naranja es el de mayor producción a nivel mundial. En Latinoamérica (Centro y Sur América) se registró una producción anual (año 2019) de 27,900,000 t de naranjas; y de ésta, México participa con 4,736,000 t (FAO, 2021). El distrito de desarrollo rural 002 Río Colorado-del Valle de Mexicali reportó una producción de 2,910 t de naranja en el año 2019 (SIAP, 2020).

La naranja se consume como fruta fresca y se utiliza para preparar postres y ensaladas. En la agroindustria es la materia prima para la elaboración de jugos. De la cáscara se obtiene aceite esencial, pectina, harina, entre otros (SAGARPA, 2017). El principal uso en México es como consumo en fruta fresca o en producción de jugo. Estos usos generan un aumento de residuos orgánicos, tales como: cáscara, pulpa y semillas, que pueden llegar a representar hasta el 40 % del peso total del fruto; los residuos se descartan como desechos ocasionando un impacto alto en el medio ambiente. Actualmente, las cáscaras de cítricos representan un reto para la industria de residuos desde una perspectiva ambiental (Yadav et al., 2022). Los residuos mal manejados pueden generar contaminación en el suelo, agua, aire, afectando los recursos naturales. Usualmente, las cáscaras se depositan en vertederos, se incineran, se compostan o, en algunas regiones, se utilizan en parte como alimento para animales y para la producción de pectina (Teigiserova et al., 2021); sin embargo, existen varios factores que limitan el uso de residuos de naranja para el compostaje:

un contenido de nitrógeno muy bajo de descomposición rápida (Mahato et al., 2019), el del suelo debido a los de microorganismos patógenos que se forman como *Pseudomonas* sp y *Rhizotonia* sp., las cuales pueden generar enfermedades vegetales y, por tanto, puede limitar su empleo labores agrícolas, también podrían bajar el pH de los suelos, si estos son ácidos pueden hacer que los nutrientes como el calcio, el fósforo y el magnesio estén menos disponibles para la planta (Aguirre-Forero et al., 2022), contaminación potencial del agua por percolación, propiedades anti nutricionales y costos altos de transporte (Yadav et al., 2022).

## **Justificación**

La economía circular es un concepto que se está implementando a nivel mundial para alcanzar los objetivos de desarrollo sustentable. En este enfoque no se permite que ningún proceso genere residuos y contaminación. La economía circular busca el diseño de sistemas en los cuales, los productos y materiales que en un proceso son considerados residuos, sean la materia prima para algún otro y así no presentar ningún tipo de desecho (Ghosh & Ghosh, 2021).

La cáscara de naranja tienen un alto potencial de valoración si se utilizan como materia prima para la obtención de subproductos de valor agregado, ya que contienen sustancias de interés comercial que incluyen, entre otros, diversos metabolitos, compuestos bioactivos, enzimas, fibras, material proteínico, aceites esenciales, azúcares fermentables, complementos de alimentos para humanos y animales, incluyendo peces, cerdos, rumiantes, etc.; producción de biopolímeros para la industria alimentaria como la pectina; obtención de aceites esenciales para uso en perfumería, productos de aseo, etc. (Boukroufa et al., 2015). Estudios han demostrado que sus desechos podrían ser el 50% de la masa entera de fruta utilizada en su proceso (Castro et al., 2020).

En la literatura se encuentran diversas investigaciones sobre la obtención de productos de valor agregado a partir de los residuos de la industria de los cítricos, específicamente cáscaras de naranja, con una generación anual mundial estimada de 25 millones de toneladas. Los desechos son problemáticos de eliminar, pero pueden utilizarse para obtener una gama de elementos valiosos, buscando la integración de diferentes procesos y la obtención de varios productos a partir de la misma materia prima bajo el concepto de biorrefinería, y así minimizar los impactos negativos en el medio ambiente a la vez que se favorece la economía circular (Siddiqui et al., 2022). Por

ejemplo, Alvarado-Dávila (2018) reportó el uso de residuos como composta; (Pourbafrani *et al.*, 2010) estudiaron la producción simultánea, a escala piloto, de bioetanol (con rendimientos cercanos a 40 L), metano (produciendo cerca de 45 m<sup>3</sup>), limoneno (alrededor de 9 L) y pectina (cerca de 39 kg). Boukroufa *et al.*, 2015 propusieron la producción de terpenos, extractos fenólicos, pectina y monosacáridos. De la misma manera, otros autores han estudiado la extracción de aceite esencial, polifenoles y pectina utilizando técnicas y metodologías amigables con el medio ambiente (Teigiserova *et al.*, 2021, Siddiqui *et al.*, 2022). En cuanto a la viabilidad económica de estos procesos, se han reportado análisis económicos para biorrefinerías con capacidad de tratamiento integral de hasta 100 mil toneladas de Cáscara de naranja (CN) al año mediante procesos biotecnológicos, obteniendo como principales productos limoneno, pectina, etanol y metano, este último usado como fuente de energía en diversas etapas del mismo proceso de biorrefinería. (Bedoya-Betancurt *et al.*, 2021; Senit *et al.*, 2019).

### **Objetivo general**

Diseñar un plan de gestión integral de residuos de naranja generados por establecimientos comerciales en Mexicali (Baja California) mediante el uso de sistemas de información geográfica y una herramienta de optimización combinatoria.

### **Objetivos específicos**

1. Analizar el estado del arte asociado a la gestión integral de cáscara de naranja.
2. Adquirir información acerca de la oferta y demanda de la naranja, haciendo uso de herramientas como entrevistas o encuestas estructuradas dirigidas a generadores de cáscara de esta fruta y potenciales proveedores.
3. Localizar los puntos de generación de cáscara de naranja residual a través de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG).
4. Cuantificar la cáscara de naranja residual en Mexicali.
5. Establecer y comparar rutas de transporte para los residuos de naranja en lugares específicos mediante el uso de sistemas de información geográfica y problemas de optimización combinatoria para identificar la mejor ruta.
6. Estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de gasolina asociado a la ruta de recolección óptima.

## **CAPÍTULO II**

### **2. Marco teórico**

#### **2.1. Desarrollo sustentable**

El desarrollo sustentable se define como el desempeño económico, la inclusión y la resiliencia ambiental, para el beneficio actual y de futuras generaciones (Geissdoerfer et al., 2017). Los recursos naturales son elementos básicos de la economía y el bienestar en el planeta, de ellos, dependen los procesos de producción y consumo. Actualmente, el aumento de la demanda de recursos naturales ha encendido las alarmas debido al impacto que causa la extracción y agotamientos de recursos renovables y no renovables, las consecuencias ambientales de todo el proceso (contaminación, pérdidas de biodiversidad, disposición de residuos), y por último, la productividad y competitividad en la economía gracias a la variación en el precio de las materias primas (Ghosh & Ghosh, 2021).

#### **2.2. Economía circular**

El concepto de economía circular tiene dos variantes: la visión de ciclos cerrados y valor retenido. La economía circular es un sistema económico idealmente sustentable, basado en ciclos cerrados de recursos y flujos de energía en los que, después de cada uso original, el siguiente uso, mantiene o mejora el valor económico basado en los recursos, cuidando el medio ambiente y la sociedad. Es por lo anterior que la economía circular contribuye al desarrollo sustentable y que supone una ruptura con el estado actual de la economía lineal (del Río et al., 2021).

En los últimos años se está demandando a las empresas comportamientos medioambientales más positivos, derivados de la preocupación por el alto consumo de productos y el ineficiente manejo de los residuos generados (Miranda-Pegueros et al., 2022).

#### **2.3. Gestión integral de residuos sólidos**

La gestión integral de residuos sólidos es el conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, de

acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final (Jiménez, 2015).

Un Plan de Gestión se desarrolla considerando diversas alternativas para cada fase de la gestión integral de residuos (Rondon Toro et al., 2016). Inicialmente, se lleva a cabo un diagnóstico para evaluar el estado actual de la generación de residuos sólidos. Luego, se realiza una separación selectiva inicial de los residuos provenientes de diferentes fuentes, lo cual es crucial ya que la eficacia de los procesos posteriores depende en gran medida de la calidad de esta separación. Seguidamente, se establecen horarios y métodos de recolección para los residuos reciclables, no reciclables y orgánicos, con el fin de transportarlos a su lugar de disposición final, que puede ser un centro de acopio. En esta etapa, se realiza una clasificación adicional para determinar qué residuos son aprovechables y cuáles no. Los residuos aprovechables se almacenan temporalmente y luego se distribuyen a distintas entidades o clientes para su posterior transformación en materia prima o la obtención de nuevos materiales (García-Mondragón et al., 2023).

Por su parte, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) establece que la jerarquía deseable para el manejo de residuos es, en orden de preferencia: reducción en la fuente, la separación, la reutilización, el reciclaje, el co-procesamiento, el tratamiento, el acopio, el almacenamiento, el transporte y la disposición final como última opción (INECC, Semarnat, 2013). Para ello, se debe formular un sistema de gestión de residuos que abarque toda la cadena de abastecimiento: (Cabalé & Rodríguez, 2020; Encizo-Gomez, et al., 2019).

1. Diagnóstico.
2. Separación en la fuente.
3. Recolección y transporte
4. Clasificación.
5. Almacenamiento.
6. Aprovechamiento.

## 2.4. Logística

La logística se define como “el proceso de planificación, desarrollo y control eficiente del flujo de materiales, productos e información desde el lugar de origen hasta el de consumo satisfaciendo las necesidades del consumidor” (Chamorro & Rubio, 2004). La logística actual, incluye las actividades de reaprovisionamiento de materias primas, control de inventario, velocidad de entrega, servicio al cliente, y controlar tanto el flujo de materiales dentro de la cadena de suministros como integrar el flujo de información que ello conlleva (Sabrià, 2012). Es así como la logística actual debe considerar dos sentidos: primero, el flujo directo conformado por proveedores, productores, distribuidores, y consumidores. En segundo lugar, la logística inversa, es decir, la recuperación de materiales y productos al final de su vida útil, para reintroducirlos en la misma cadena o en una nueva (Flórez Calderón et al., 2012). El sistema de logística inversa no puede aislarse del de la logística directa, sino que deben coordinarse e integrarse en un mismo concepto como se muestra en la Figura 1 (Calpa-Oliva, 2020).

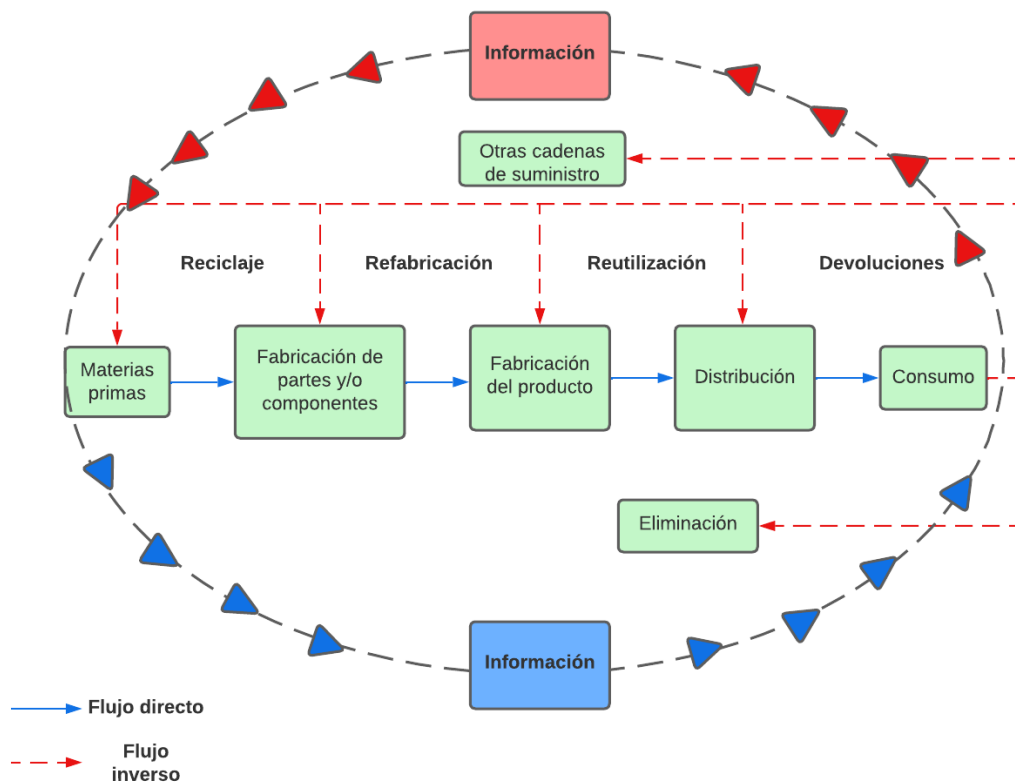


Figura 1. Red de logística integral (Calpa-Oliva,2020).

La logística inversa (LI) es reconocida como el área de la logística que planifica, opera y controla el flujo y las informaciones logísticas correspondiente al retorno de los bienes de post-venta y post-consumo al ciclo de producción a través de los canales de distribución inversos, agregándoles valor a los mismos de diversa naturaleza: económico, ecológico, legal, logística, de imagen corporativa, entre otros (Leite & Brito, 2010).

La logística verde (LV) se enfoca en disminuir el daño que las actividades realizadas durante la logística causen al medio ambiente. Actualmente, el término de logística verde se usa indiscriminadamente con logística inversa. La diferencia más importante es que LI se enfoca en ahorrar dinero y aumentar el valor mediante la reutilización o reventa de materiales para recuperar la inversión y reducir los costos operativos; mientras que, LV busca alternativas para reducir el impacto negativo de los procesos en el medio ambiente. Para ser sustentable, LV debe considerar factores ambientales como la contaminación, el ruido y el cambio climático, los cuales deben guardar un equilibrio con los factores económicos y sociales (Uriarte-Miranda et al., 2018).

## **2.5. Pasos para la creación de un canal de distribución inversa**

La distribución inversa constituye una categoría dentro de la logística inversa, en esta, el consumidor se transforma en proveedor o en el primer eslabón del canal de distribución del residuo. Estos son los pasos para la creación de un canal de distribución inversa (Chamorro & Rubio, 2004):

1. **Definir la gestión del sistema:** se debe decidir si se crea un sistema propio y exclusivo o si, por el contrario, busca alianzas con otras empresas para crear un sistema conjunto. Las actividades provenientes de la creación de un sistema (recolección, transporte, almacenamiento y tratamiento del residuo) se pueden realizar por entidad interesada en la creación del canal de distribución inversa o pueden ser subcontratadas a empresas especializadas.
2. **Incluir al generador del residuo:** Para que el sistema funcione es necesario contar con una oferta continuada del residuo, el consumidor debe actuar como proveedor entregando

los residuos de su consumo. Esta participación puede conseguirse mediante: un sistema gratuito, un sistema de compraventa, un sistema de incentivo económico, un sistema de depósito, devolución y retorno (SDDR).

3. **El medio de recolección del residuo:** se tendrá que poner a disposición del consumidor la infraestructura pertinente para el almacenamiento de los residuos. Los medios de recolección más utilizados son: contenedores públicos en las calles, disposición de centros de recolección y un sistema de recolección en el origen.

## 2.6. Ciclo de vida

El ciclo de vida de cualquier producto, se define como aquellas “etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema productivo, a partir de la adquisición de materia prima o de su generación hasta la disposición final” (ISO, 2015).

## 2.7. Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos son los desechos sólidos o semisólidos de origen animal, humano o vegetal que son susceptibles de biodegradación. Es común que los residuos sólidos orgánicos como tal no tengan ningún valor, de hecho, hoy en día son arrojados a los rellenos sanitarios, ocasionando problemas ambientales (Rodríguez, 2012). En el presente proyecto se trabajó con la CN, la cual según la clasificación presentada en la Figura 2, es un residuo orgánico (Rodríguez, 2012).

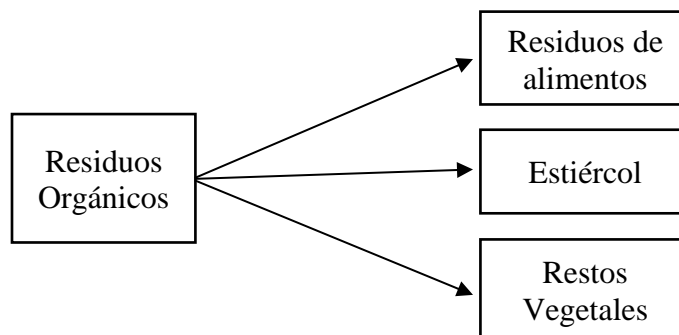


Figura 2. Clasificación de los residuos sólidos orgánicos (Rodríguez, 2012).

## 2.8. Marco normativo en México

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos fue publicada en octubre de 2003. Su última reforma fue en enero de 2021, su objetivo principal es mejorar la gestión de los residuos sólidos. Según el artículo 15 de dicha ley, en México los residuos se clasifican en: residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial y de acuerdo con el artículo 18, los residuos sólidos urbanos se subclasifican en orgánicos e inorgánicos (*Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, 2003).

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT) estableció el código de colores a nivel federal como se muestra en la Figura 3, a la cáscara de naranja le corresponde el color verde al ser un residuo orgánico (SEMARNAT, 2015).



Figura 3. Código de colores SEMARNAT (SEMARNAT, 2015).

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en México, clasifica los generadores de la siguiente forma (*Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, 2003):

**Microgenerador:** Establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta 400 kg de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

**Pequeño generador:** Persona física o moral que genere una cantidad igual o mayor a 400 kg y menor a 10 t en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

**Gran generador:** Persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a 10 t en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

## 2.9. Análisis de la oferta de naranja en el mundo

En 2020 la FAO reportó la participación de 87 países con producción de naranja, la producción reportada alcanzó los 75 millones de t, liderada por Brasil con una producción de 16.7 millones de t. La producción de India, China y Estados Unidos de América fue de 9.8, 7.6 y 4.7 millones de t respectivamente. México se ubicó en la quinta posición con una producción de 4.6 millones de t, aportando el 6 % de la producción mundial como se observa en la Tabla 1 (FAO, 2022a).

*Tabla 1. Producción de naranja (t) por país en 2020*

<i>Lugar</i>	<i>País</i>	<i>Producción (t)</i>	<i>Participación</i>
1	Brasil	16,707,897	22%
2	India	9,854,000	13%
3	China	7,641,167	10%
4	USA	4,766,350	6%
5	México	4,648,620	6%
6	España	3,343,960	4%
7	Egipto	3,157,960	4%
8	Indonesia	2,722,952	4%
9	Irán	2,225,615	3%
10	Italia	1,772,770	2%

En la Tabla 2 se observa que la producción de naranja en el mundo generó 39,503 millones de dólares en 2020. El país que aportó el mayor valor en esta actividad fue India con 20 %, seguido por China, Irán, Brasil y Estados Unidos de América. Estos 5 países en conjunto generaron 52 % del valor mundial de la producción de naranja. México se ubicó en el lugar 12 con un total de 650 millones de dólares (FAO, 2022b).

Tabla 2. Valor de la producción de naranja por país en millones de dólares, 2020

Lugar	País	Valor de la Producción (millones dólares)	Participación
1	India	8,027	20%
2	China	5,521	14%
3	Irán	3,025	8%
4	Brasil	2,114	5%
5	USA	1,720	4%
6	Indonesia	1,660	4%
7	Argelia	1,447	4%
8	Egipto	1,400	4%
9	Italia	1,356	3%
10	España	1,049	3%
11	Vietnam	1,046	3%
12	México	650	2%

### 2.9.1. Análisis de la oferta de naranja en México

En 2021 la producción de naranja en México fue de 4,646,344 t, con 347,645 ha sembradas y 334,715 ha cosechadas (SIAP, 2021). El destino de la producción nacional de naranja es principalmente para el consumo en fresco, llegando a representar el 67 % del total producido en el país y solo el 33 % de la misma es enviada a la industria para la extracción de jugos y aceites esenciales (USDA, 2017).

### 2.10. Importación y exportación de la naranja

En 2017 se importaron a México 16.4 miles de t, equivalente al 0.4 % del volumen total producido en el país, estas importaciones provienen principalmente de Estados Unidos de América y son mayormente de naranja orgánica. Asimismo, la exportación de naranja mexicana representó únicamente 75.5 miles de t, equivalente a 1.6 % del volumen total anual producido en México y tiene como principales destinos Estados Unidos de América, Reino Unido, Holanda, Japón y Argentina e Italia. El 54 % de las importaciones anuales se registran en los meses de enero a abril y el 52 % de las exportaciones se concentran en los meses de marzo a junio (Martínez, 2019).

## 2.11. Problemas de optimización combinatoria

La optimización combinatoria constituye una disciplina dentro de las matemáticas aplicadas y las ciencias de la computación, estrechamente ligada a la investigación de operaciones, la teoría algorítmica de la información y la teoría de la complejidad computacional. Los algoritmos diseñados para la optimización combinatoria se encargan de resolver problemas mediante la exploración sistemática del espacio de soluciones disponibles. Para lograrlo, estos algoritmos reducen el tamaño del espacio efectivo y exploran de manera eficiente las posibles soluciones dentro del espacio de búsqueda (Alancay & Villagra, 2016).

### 2.11.1. Problema del Viajante de Comercio (TSP)

El Problema del Viajante de Comercio, conocido también como TSP (por sus siglas en inglés, Traveling Salesman Problem), es uno de los problemas de optimización combinatoria más destacados en la literatura científica. Propuesto inicialmente por G. Dantzig, R. Fulkerson y S. Johnson en 1954, consiste en determinar el recorrido más eficiente para un comerciante que debe visitar una serie de ciudades, partiendo y finalizando en el mismo lugar. El objetivo es minimizar la distancia o tiempo total recorrido, asegurando que cada ciudad sea visitada exactamente una vez (Calvo, 2022).

A continuación, se enuncia el problema en dos fases:

Sea  $C=(c_{ij})$  una matriz de costos, donde  $c_{ij}$ ,  $i, j = 1, \dots, n$ , representa el costo de ir de la ciudad  $i$  a la ciudad  $j$ . Se trata de resolver:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^n (c_{ij}x_{ij}) \right) \quad (\text{Ecuación 1})$$

sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n (x_{ij}) = 1, \quad j=1,2,\dots,n. \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\sum_{j=1}^n (x_{ij}) = 1, \quad i = 1,2,\dots,n. \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad i,j = 1, 2, \dots, n. \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde  $x_{ij} = 1$  significa que el viajero va desde ciudad  $i$  a ciudad  $j$  ( $x_{ij} = 1$  entero  $i, j = 1, \dots, n$ )

Las ecuaciones (1-4) definen el problema de asignación (de cada ciudad de salida se llega a una sola ciudad o que exista una salida desde la ciudad 0), pero no evita los subcircuitos. Para ello, se añaden la siguiente restricción que obligan a que solo un camino sea el que recorre todas las ciudades y donde  $u_i$  son variables ficticias que representan el paso de una ciudad a otra.

$$u_i - u_j + nx_{ij} = 1, \quad 2 \leq i \neq j \leq n,$$

$$u_i \geq 0, \quad 1 \leq i \leq n.$$

El TSP se clasifica como un problema NP-Hard, lo que implica que encontrar soluciones conlleva una complejidad exponencial. En otras palabras, no existe un algoritmo de tiempo polinomial conocido que pueda resolverlo. Para una instancia de tamaño  $n$  en un problema simétrico, el número de posibles circuitos es de  $(n-1)!/2$ , lo que significa que incluso para 20 ciudades habría  $10^{18}$  circuitos posibles (Bernal, Hontoria & Aleksovski, 2015).

El aspecto del tiempo computacional constituye uno de los factores clave en la resolución del TSP, y se han realizado numerosos estudios para proporcionar soluciones eficientes. Estas soluciones pueden obtenerse mediante algoritmos exactos o mediante algoritmos aproximados o heurísticos (Laporte, 1992).

Para el diseño de una herramienta informática destinada a la resolución del TSP, se opta por utilizar el programa Excel incluido en Microsoft Office. Esta elección se fundamenta en la programación a través de las fórmulas de Excel y su complemento *Solver*, seleccionado por su asequibilidad y facilidad de uso. Sin embargo, es importante tener en cuenta la limitación de la herramienta *Solver* estándar incluida en Excel, que permite un máximo de 200 variables y hasta 100 restricciones (Bernal, Hontoria & Aleksovski, 2015).

## **2.12. Sistemas de información geográfica**

Los sistemas de información geográfica (SIG) permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos con referencia espacial, facilitando el acceso a información relativa a aspectos naturales, sociales y culturales (Alcántara & Medina, 2019). Un SIG conecta datos a un mapa integrando datos de ubicación con todo tipo de información descriptiva. Esto sirve como base para la representación cartográfica y el análisis que se utiliza en la ciencia y en prácticamente todos los sectores (Esri, 2023).

Los mapas son el contenedor geográfico para las capas de datos y análisis con los que se desea trabajar. Los SIG integran muchos tipos diferentes de capas de datos utilizando la ubicación espacial. La mayoría de los datos tiene un componente geográfico. Los datos de SIG incluyen imágenes, características y mapas base vinculados a hojas de cálculo y Tablas (Esri, 2023).

ArcGIS es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es el SIG más usado a nivel mundial (Esri, 2023). Este sistema incluye software, una infraestructura online basada en la nube, herramientas profesionales, recursos configurables como plantillas de aplicación y mapas base (Esri, 2018).

QGIS, también conocido como Quantum GIS, es un SIG de código abierto que ofrece herramientas poderosas y flexibles para el manejo de datos espaciales. Entre sus diversas aplicaciones, QGIS se destaca por ser especialmente útil en la planificación y creación de rutas de recolección eficientes, como en el caso de la gestión de residuos agrícolas, incluyendo cáscaras de naranja (QGIS, 2021).

## **2.13. Antecedentes**

En Corea se utilizó la logística inversa al definir rutas diarias óptimas teniendo en cuenta la cantidad de residuos de alimentos en cada área de recolección, para esto se aplicó un problema de enrutamiento de vehículos capacitados dinámico diario el cual tenía en cuenta información del peso diario de los residuos orgánicos generados en cada área de recolección, esto se comparó con el método actual y el resultado fue un 30.76 % en la disminución de la distancia total recorrida utilizando el método de logística inversa (Kim et al., 2014).

En São Paulo, Brasil se realizó un estudio de caso en 3 supermercados durante 6 meses, con el fin de analizar la eficacia de las prácticas de logística inversa. De esta investigación exploratoria, cuantitativa y cualitativa, se obtuvo como resultado que los supermercados estudiados dejaron de generar alrededor de 220 toneladas de materiales durante el período observado, lo que trae como consecuencia una gran cantidad de agua y aire que dejaron de ser contaminados (Pagán et al., 2017).

La empresa Control Ambiental de Colombia Ltda realizó una modelación matemática para la gestión logística del transporte de residuos orgánicos, debido a que, se evidenciaba la necesidad de un sistema óptimo de desplazamiento de los residuos orgánicos desde los lugares de producción hasta el lugar de aprovechamiento (Bermudez & Quecano, 2012). Por otro lado, en un estudio realizado en Salamanca, España, se investigó el Problema del Viajante de Comercio (TSP) utilizando tres métodos de resolución diferentes y comparándolos en un caso práctico con 20 estadios de fútbol. Se encontró que los algoritmos exactos proporcionan soluciones óptimas en términos de distancia recorrida, pero requieren más tiempo de cómputo que los algoritmos aproximados. A medida que disminuye el tiempo de cómputo del algoritmo, la calidad de la solución obtenida empeora, mostrando una distancia total recorrida mayor. Los resultados sugieren que los algoritmos exactos son más adecuados para problemas con un número pequeño de nodos, mientras que los aproximados son más apropiados para problemas con un número muy grande de nodos, donde los tiempos de cómputo de los algoritmos exactos son inviables (Calvo, 2022).

El transporte eficiente de alimentos es crucial para la sustentabilidad alimentaria. En Suecia, el transporte de pan bajo acuerdos de devolución presenta desafíos ambientales significativos. Un estudio reciente evaluó el impacto climático del transporte de pan y descubrió que las largas distancias son el principal factor de impacto. Además, el estudio exploró vías alternativas de transporte y encontró que un enfoque colaborativo podría reducir significativamente la huella ambiental, disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero en un porcentaje notable. Esto destaca la importancia de mejorar la eficiencia del transporte de alimentos y promover prácticas más sustentables en la cadena de suministro alimentaria (Weber, L., et al., 2023).

Actualmente están apareciendo nuevas tipologías de operadores y procesos, entre los que destacan los “carroñeros” y “descomponedores”, en referencia a empresas capaces de extraer recursos de los residuos mediante la aplicación de tecnologías de valorización innovadoras. Los carroñeros recolectan los residuos en las empresas o en otros lugares de eliminación, luego de esto, algunos de los carroñeros realizan el desmantelamiento, la clasificación y, por último, el transporte a los descomponedores. Los descomponedores preparan los recursos de desecho para su debido aprovechamiento (Ghisellini et al., 2016).

Se realizó un estudio exploratorio a través de la revisión de la literatura actual aplicado a la recuperación de los productos perecederos en México, se llegó a la conclusión de que la mayor parte del desperdicio de alimentos se genera en la cadena de abastecimiento (food loss) y en menor porcentaje en el usuario final. La aplicación de estrategias en el manejo adecuado y aprovechamiento de desperdicios de alimentos es un área de oportunidad en México, principalmente, por el ahorro para las empresas y los beneficios alimentarios para la población (Lezama León et al., 2021).

En la ciudad de Mexicali, Baja California, se diseñó una red para la recolección de aceite vegetal residual, utilizando un problema de enrutamiento de vehículos con recolección y entrega simultáneas, se tomaron como fuente de generación de residuos 49 restaurantes. El problema de enrutamiento de vehículos de recolección y entrega simultáneas con ventanas de tiempo fue la variante utilizada como método de enrutamiento de vehículos para resolver el problema. Como resultado se obtuvo un total de 8 redes, para una utilización de la capacidad vehicular del 70 % en el vehículo de 6 t y del 46 % en el de 8 t (Quintana et al., 2020).

De acuerdo con la revisión de la literatura, es claro que los residuos de naranja contienen gran cantidad de sustancias de valor agregado. Por lo tanto, el procesamiento de tales residuos pueden transformarlos en productos con valor económico (Carota et al., 2020; Teigiserova et al., 2021, 2022). En la Figura 4 se muestran algunos de los productos más comúnmente estudiados como posibles subproductos de valor agregado a partir del aprovechamiento de los residuos de naranja bajo el concepto de biorrefinería. No obstante, es importante considerar que no cualquier proceso puede ser fácilmente adaptado o no cualquier producto puede ser fácilmente comercializado si no

se consideran las condiciones específicas (incluyendo condiciones sociales, geográficas, culturales y demográficas) de la zona donde los residuos se encuentran disponibles (Bedoya-Betancur et al., 2022).

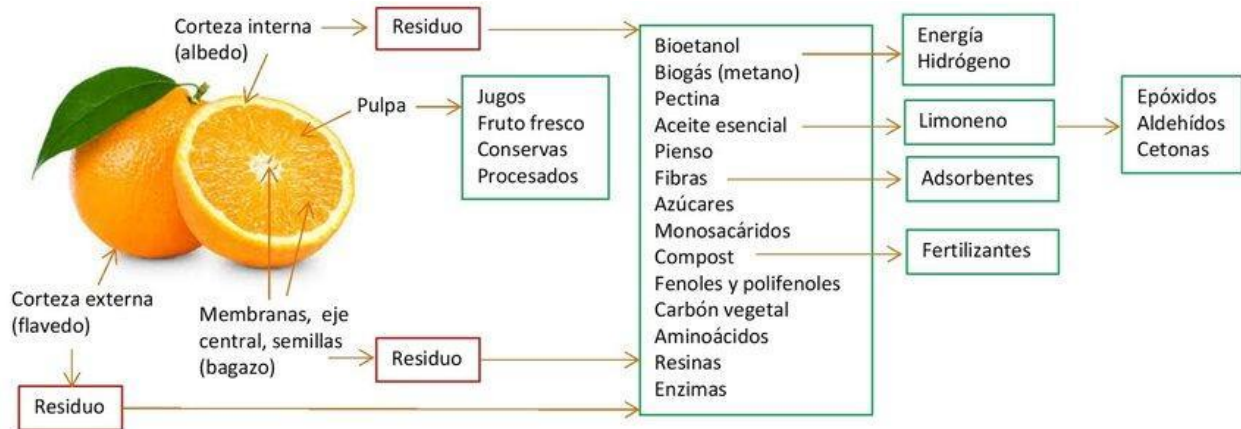


Figura 4. Productos estudiados como posibles subproductos de valor agregado a partir del aprovechamiento de los residuos de naranja bajo el concepto de biorrefinería (Bedoya-Betancur, 2021).

Los cítricos se componen de un 87% de agua y un 13% de otros constituyentes compuestos por grasas, aceites esenciales, minerales, glucósidos, fibras, pentosanos, ácidos cítricos y pectinas (Mahato et al., 2019).

En la Figura 5 se muestra un diagrama para el aprovechamiento integral de CN, los cuadros de texto en color rojo representan los residuos de la naranja y los cuadros de color verde representan los productos de valor agregado. Este es un problema logístico de residuos sólidos y al mismo tiempo, un área de oportunidad para procesos de revalorización (Bedoya-Betancur et al., 2022).

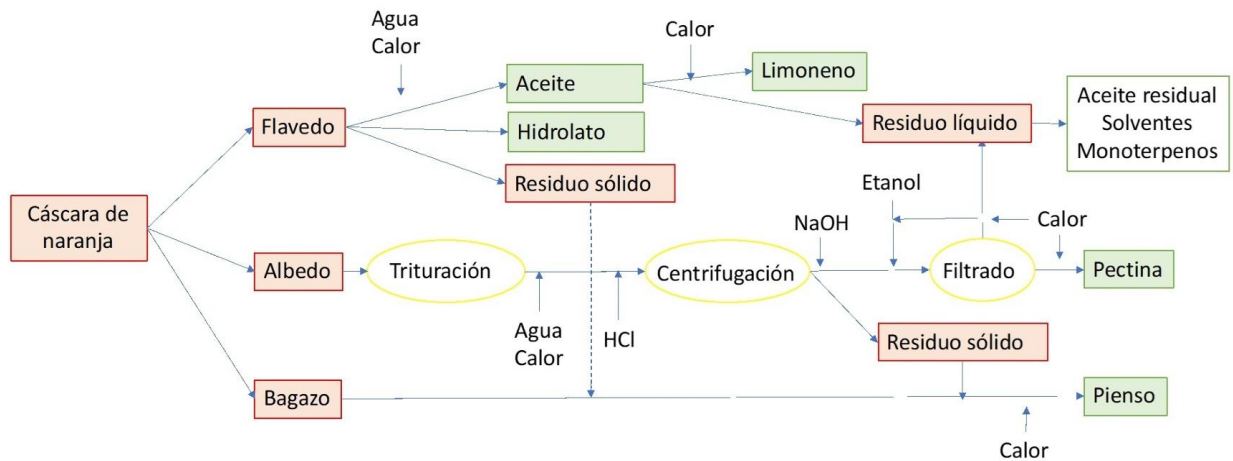


Figura 5. Diagrama propuesto para la biorrefinería de CN (Bedoya-Betancurt, 2021).

Un mejor uso de los subproductos de la naranja podría representar un aporte clave para una economía circular (Castro et al., 2020). Los desechos de la naranja se componen principalmente de flavedo y albedo, pulpa y semillas. A partir de su composición representan una fuente de grasa, entre ellos: ácidos grasos como el palmítico, oleico, linolénico, linoleico, esteárico; glicerina y fitoesteroles, azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa), ácidos (especialmente ácido cítrico y málico, tartárico, pero también, ácidos benzoico, oxálico y succínico), carbohidratos insolubles (celulosa, pectina), flavonoides (hesperidina, narirutina), enzimas (pectinesterasa, fosfatasa, peroxidasa), aceites esenciales (D-limoneno), pectinas y pigmentos (carotenoides, xantofilas) (Boukroufa et al., 2015; Siddiqui et al., 2022; Teigiserova et al., 2021).

En países en vías de desarrollo como México, con una baja cultura del reciclaje, es urgente formular soluciones que ayuden a enfrentar los desafíos y oportunidades que surgen de la creciente preocupación por los problemas ambientales y el manejo de los productos al final de su vida útil. Para el año 2009, México no contaba con muchas empresas que capitalizaran la logística inversa como un área de oportunidad para reducir costos operativos, incrementar sus utilidades y aumentar su clientela para ser más competitivo. Dentro de las industrias de manufactura y transporte, LI y LV se han vuelto muy importantes para reducir los contaminantes (residuos químicos, emisiones de CO<sub>2</sub>, etc.) (Uriarte-Miranda et al., 2018).

## CAPÍTULO III

En este capítulo se presenta la metodología para formular un Plan de Gestión Integral de Cáscara de Naranja (PGICN) en Mexicali, enfocándose en la gestión eficiente y sostenible de los residuos generados por la industria del jugo de naranja. El proceso incluye un diagnóstico detallado de la producción y demanda de naranja, la creación de herramientas para recolección de datos, y la geolocalización de los generadores de cáscara. Se diseñan rutas de recolección optimizadas mediante el Problema del Viajante de Comercio (TSP) y se evalúan aspectos como el consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>. Finalmente, se abordan la separación, recolección, clasificación, almacenamiento y aprovechamiento de la cáscara de naranja, promoviendo la valorización de estos residuos en una economía circular.

### 3. Metodología

#### 3.1. Etapas para la formulación de un plan de gestión integral de cáscara de naranja (PGICN)

La Figura 6 presenta las siete etapas para la gestión integral de residuos sólidos, las cuales fueron implementadas en el presente trabajo (García-Mondragón et al., 2023):

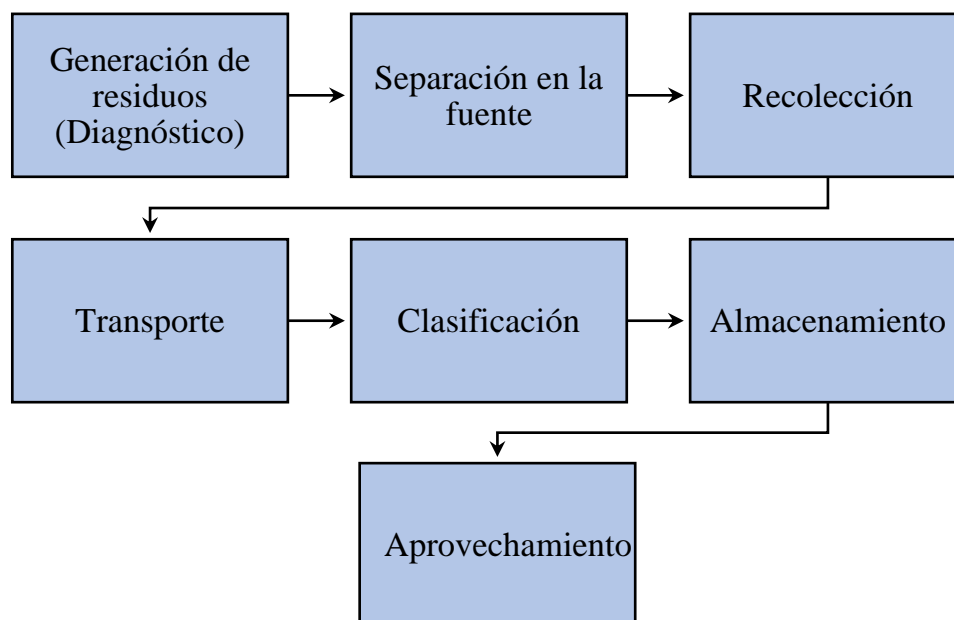


Figura 6. Etapas de un plan de gestión de residuos sólidos (elaboración propia)

## **3.2. Diagnóstico**

### **3.2.1. Determinación de superficie cosechada de naranja**

Para obtener información sobre la extensión de la producción de naranja a nivel global, se accedió a los informes de producción de la FAO, siendo los datos más recientes disponibles correspondientes al año 2021. Dado que el presente proyecto se llevó a cabo íntegramente en Mexicali, Baja California, se recurrió al Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta para analizar la distribución de la producción de naranja, comparando las hectáreas sembradas y cosechadas en los principales municipios del Estado, así como su producción para el año 2021, según los registros del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021).

### **3.2.2. Empresas generadoras de jugo de naranja en Mexicali**

Se identificaron las empresas productoras de derivados de la naranja mediante una búsqueda en la página del sistema de consultas del INEGI (INEGI, 2022). En el DENUÉ se definió el área geográfica en Mexicali, adicional a esto, se seleccionaron las actividades económicas que se pensaron idóneas para encontrar establecimientos con productos derivados de la naranja:

- Conservación de frutas, verduras y alimentos.
- Congelación de frutas y verduras.
- Producción de alimentos y bebidas no alcohólicas.
- Comercio de alimentos y bebidas.
- Preparación de alimentos y bebidas.
- Elaboración de refrescos y bebidas no alcohólicas.
- Industria de las bebidas.
- Comercio al por mayor de bebidas y hielo.
- Comercio al por menor de bebidas y hielo.
- Cafeterías, fuentes de sodas, neverías, refresquerías y similares.

Esta búsqueda dio más de 4,000 resultados, por lo tanto, se refinaron los criterios de búsqueda de tal manera que solo se consideraron las siguientes actividades económicas:

- Congelación de frutas y verduras.
- Elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas.

- Comercio al por mayor de bebidas no alcohólicas y hielo.
- Cafeterías, fuentes de sodas, neverías, refresquerías y similares.

La Figura 7 es una representación visual de los establecimientos encontrados, sobre el mapa de Mexicali. Estos resultados fueron descargados en un archivo de Excel.

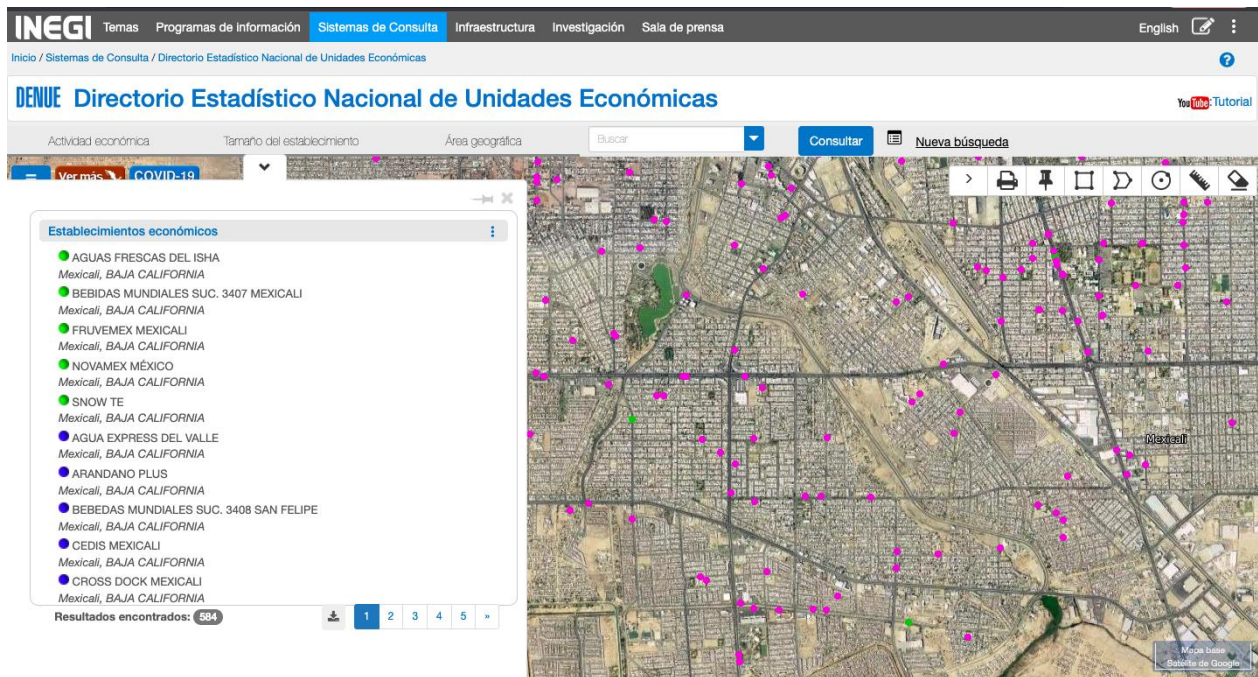


Figura 7. Resultado de la búsqueda de establecimientos en el mapa de Mexicali (INEGI, 2022).

La base de datos resultante de la búsqueda contenía 584 comercios y se aplicaron los siguientes criterios de exclusión: establecimientos pertenecientes a planteles educativos, restaurantes de comida rápida donde el jugo de naranja se encuentra envasado y plantas de tratamiento de agua, cafés y restaurantes, dado que su generación de CN no es representativa.

Finalmente, se elaboró una tabla que incluye únicamente los 130 establecimientos comerciales que cumplieron con los criterios establecidos en los filtros aplicados. Este enfoque más selectivo garantizó una selección precisa de los lugares que potencialmente generan cáscaras de naranja, optimizando así la eficiencia del estudio.

### 3.2.3. Análisis de la demanda de naranja

El consumo promedio de naranja en México es de 34 kg por persona al año (Biblioteca de Publicaciones Oficiales del Gobierno de la República, 2022). Mexicali tiene una población total de 1,049,792 habitantes, lo que representa el 28% de la población de Baja California. Con esta información se puede calcular la demanda de naranja utilizando la ecuación 5:

$$Dn = Cp * Nh$$

(Ecuación 5)

Donde,

$$Dn: \text{Demanda anual}$$
$$Cp: \text{Consumo per cápita promedio anual}$$
$$Nh: \text{Número de habitantes}$$

Al aplicar la fórmula se obtiene:

$$Dn = 34 \frac{kg}{hab} * 1,049,792 hab$$

$$Dn = 35,692,928 kg$$

### 3.2.4. Estimación de la cáscara de naranja residual

La porción no comestible de la naranja está conformada por piel, albedo y médula central y equivale entre el 23 y 40 % del peso de la fruta (Cerón-Salazar & Cardona-Alzate, 2011; Greenfield & Southgate, 2006). Por otra parte, otros autores señalan que la porción de CN es de 27 gramos por cada 100 gramos de producto (FEN, 2018). De esta forma se obtiene la ecuación 6.

$$Cr = Dn * k \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde,

$$Cr: \text{Cáscara residual}$$

$$Dn: \text{Demanda anual}$$

$$k: \text{constante de la cáscara, que puede ir de 0.23 hasta 0.40}$$

Se aplicó la ecuación 6 a los 3 posibles casos planteados por los autores anteriores el resultado se muestra en la Tabla 3:

*Tabla 3. generación anual de CN*

	<b>Demanda (kg/año)</b>	<b>k</b>	<b>Generación de CN (kg/año)</b>
<b>Caso 1</b>	35,692,928	0.23	8,209,373.44
<b>Caso 2</b>	35,692,928	0.27	9,637,090.56
<b>Caso 3</b>	35,692,928	0.4	14,277,171.20

### **3.2.5. Sondeo a posibles generadores de cáscara de naranja**

Con el fin de adquirir conocimiento previo sobre cómo abordar a los generadores de CN, se llevaron a cabo 10 encuestas en diversos tipos de establecimientos comerciales, previamente seleccionados por la hipótesis de que producían productos a base de naranja. Las preguntas seleccionadas se encuentran en el anexo1.

### **3.2.6. Geolocalización de los establecimientos generadores de cáscara de naranja**

Para esta actividad se utilizó QGIS en su versión 3.34. Con la información descargada del DENUÉ se realizó una lista con los posibles establecimientos comerciales generadores de CN. Se organizó la información para incluirse en QGIS. Se creó una hoja de Excel con 3 columnas, la primera con el nombre del establecimiento, la segunda con la latitud y la tercera con la longitud como lo muestra la Tabla 4.

Tabla 4. Organización de los establecimientos para QGIS

No.	Nombre establecimiento	Latitud	Longitud	No.	Nombre establecimiento	Latitud	Longitud
1	Aguas frescas del Isha	32.62	-115.49	66	La Michoacana	32.59	-115.47
2	Bebidas mundiales Mexicali	32.62	-115.41	67	La nueva Michoacana	32.66	-115.48
3	Fruvemex Mexicali	32.62	-115.4	68	La nueva Michoacana	32.62	-115.41
4	Novamex México	32.6	-115.46	69	La toronja	32.63	-115.4
5	Arándano plus	32.65	-115.47	70	la vid	32.66	-115.48
6	Bebidas mundiales suc. 3408	31.02	-114.84	71	Lactuca	32.65	-115.47
7	Cedis Mexicali	32.65	-115.45	72	Licuadaos y desayunos Herbalife	32.63	-115.57
8	Cross dock Mexicali	32.61	-115.52	73	Licuadaos y malteadas Santa María	32.65	-115.42
9	Jaztea	32.6	-115.41	74	Malteadas	32.59	-115.47
10	Jumex Mexicali	32.59	-115.37	75	Manzary	32.64	-115.44
11	Peñañiel bebidas	32.6	-115.42	76	Mi jugo	32.64	-115.43
12	Aguas vela	32.62	-115.45	77	Michoacana	32.59	-115.4
13	Aguas vela	32.62	-115.45	78	Naranja dulce	32.66	-115.46
14	Aguas y botanas Betos	32.62	-115.45	79	Natural	32.66	-115.44
15	Ambrosia	32.2	-115	80	Jugosa	32.62	-115.39
16	Bekes y salads	32.64	-115.42	81	Ñenga fruit bar	32.65	-115.44
17	Bgreen	32.61	-115.48	82	Nutry fresh	32.63	-115.45
18	Comida económica	32.65	-115.47	83	Pacha mama carranza	32.64	-115.4
19	Date un gusto	32.64	-115.5	84	Pacha mama del desierto colón	32.67	-115.47
20	El jarocho loco refresquería	32.66	-115.4	85	Paletería González	32.66	-115.4
21	Ensaladas y jugos shenys	32.63	-115.45	86	Paletería La Michoacana	32.66	-115.47
22	Ensaladas y mas	32.29	-115.11	87	Puesto el güero	32.29	-115.1
23	Estación vital	32.67	-115.45	88	Paletería sin nombre	32.59	-115.47
24	Flavor cup	32.65	-115.41	89	Paletería y nevería la flor de Michoacán	32.58	-115.4
25	Fruit salads	32.6	-115.42	90	Paletería y nevería La Michoacana	32.55	-115.15
26	Frutasty	32.64	-115.45	91	Paletería y nevería La Michoacana	32.63	-114.86
27	Fuente de sodas Karina	31.02	-114.84	92	Paletería y nevería la nueva Michoacana	32.59	-115.36
28	Funky fruit	32.64	-115.39	93	Paletería y nevería la nueva michoacana	32.6	-115.37
29	Happy juice	32.61	-115.38	94	Paletería y nevería Yasir	32.6	-115.36
30	Haz tu jugo	32.66	-115.42	95	Protein bar	32.63	-115.44
31	Haz tu jugo	32.6	-115.48	96	Puesto doña Eva	32.62	-115.46

32	Haz tu jugo	32.62	-115.48	97	Puesto el güero	32.23	-115.16
33	Hazme el jugo	32.64	-115.43	98	Puesto liso	32.61	-115.41
34	Hot cakes y licuados el centro	32.66	-115.49	99	Puesto Ximena	32.56	-115.41
35	Iván jugos y ensaladas	32.64	-115.49	100	Raspaloko	32.61	-115.41
36	Jucy saludable	32.6	-115.41	101	Refresquería	32.63	-115.49
37	Jugos charly	32.65	-115.43	102	Refresquería	32.66	-115.49
38	Jugos el poder	32.64	-115.48	103	Refresquería	32.66	-115.4
39	Jugos fit y mas	32.29	-115.11	104	Refresquería	32.63	-115.49
40	Jugos frutales	32.65	-115.38	105	Refresquería sin nombre	32.66	-115.48
41	Jugos la fruta del edén	32.58	-115.36	106	Refresquería Acapulco	32.59	-115.49
42	Jugos la nueva era	32.28	-115.11	107	Refresquería Bambinos	32.65	-115.52
43	Jugos Manuel	31.02	-114.84	108	Refresquería camino real	32.62	-115.48
44	Jugos naturales	32.63	-115.49	109	Refresquería Chemisse	32.65	-115.44
45	Jugos naturales	32.61	-115.4	110	Refresquería don Felipe	32.63	-115.46
46	Jugos naturales	32.61	-115.51	111	Refresquería el cachoron	32.64	-115.43
47	Jugos naturales	32.61	-115.51	112	Refresquería el estudiante	32.36	-115.2
48	Jugos naturales las palmas	32.64	-115.5	113	Refresquería el Mike	32.65	-115.42
49	Jugos naturales Olivias	32.72	-114.73	114	Refresquería el tucán	32.6	-115.38
50	Jugos naturales sin nombre	32.65	-115.53	115	Refresquería Erick	32.63	-114.86
51	Jugos pakos	32.58	-115.36	116	Refresquería fetuchinis	32.58	-115.47
52	Jugos y ensaladas nutrití fruti	32.42	-115.19	117	Refresquería Hawái	32.63	-115.39
53	Jugos y licuados	32.66	-115.49	118	Refresquería Jaramillo	32.71	-114.74
54	Jugos y licuados Nuris	32.62	-115.45	119	Refresquería la cabaña	32.59	-115.47
55	Jugos y mas	32.64	-115.43	120	Refresquería Lety	31.02	-114.83
56	Juguería el zana	32.61	-115.39	121	Refresquería marijo	31.03	-114.84
57	Juice bar	32.6	-115.39	122	Refresquería palcalor	32.61	-115.45
58	Juice bar	32.67	-115.45	123	Refresquería Paloma	32.63	-114.85
59	Juice bar	32.65	-115.44	124	Refresquería Popis	32.63	-115.46
60	Juice rokokos	32.62	-115.42	125	Refresquería santa pecado	32.62	-115.48
61	Kitahcaló	32.64	-115.46	126	Refresquería Surtimax	32.63	-114.86
62	Kitahcalóh	32.62	-115.48	127	Refresquería Tropicana	32.6	-115.47
63	La barra verde	32.35	-115.18	128	Refresquería unidad deportiva Rubén castro Bojórquez	32.63	-115.44
64	La juguería	32.59	-115.48	129	Refresquería vico	32.61	-115.4
65	La Michoacana	32.66	-115.46	130	Venta de jugos y artículos de decoración sin nombre	32.62	-115.45

### 3.2.7. Creación del instrumento para la recolección de información

Inicialmente se consideró la elaboración de dos encuestas, la primera, para establecimientos comerciales y la segunda para puestos de aguas en las calles de Mexicali. Esta idea se descartó debido a que para ambas fuentes las preguntas debían ser lo más puntuales posibles, pero sin dejar de lado información importante.

Se diseñó un formulario de Google, el cual, se llenó por el encuestador permitiendo mayor comodidad a los trabajadores y reduciendo el tiempo de la actividad. La Figura 8 muestra el nombre de este instrumento.

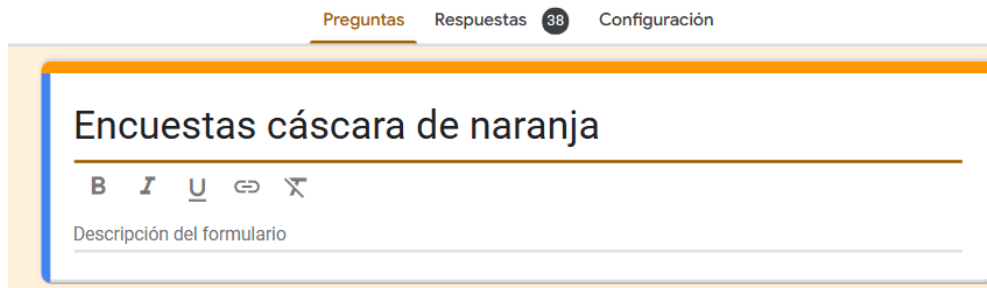


Figura 8. Encuesta de Google (Google forms, 2023).

### 3.2.8. Aplicación de encuestas a establecimientos generadores de cáscara de naranja

#### a. Inicio de la aplicación

Se inició la aplicación del instrumento vía telefónica, utilizando la información proporcionada por el DENUE. Se llamó a todos los números telefónicos presentes en la base de datos y se compararon las respuestas de los empleados con los datos del DENUE.

Al realizar todas las llamadas telefónicas se identificaron los siguientes hallazgos:

- Algunos establecimientos no se encontraban en Mexicali.
- La información proporcionada por el DENUE tenía un rango de tiempo del 2007 al 2021.
- Algunos establecimientos ya no existen.

- Muchos números de teléfono se encontraban fuera de servicio.
- La información presentada en el DENUE era incorrecta para ciertos establecimientos.

#### **b. Proceso de selección de establecimientos**

Debido a las inconsistencias en la información obtenida por las entrevistas, se hizo un segundo proceso de selección. Se buscaron todos los establecimientos comerciales con herramientas como Google y redes sociales (Facebook e Instagram). El proceso de selección fue el siguiente:

1. Se buscó el nombre del establecimiento en Google maps. Se descartaron los establecimientos que indicaban estar cerrados temporal o permanentemente.
2. Si no se encontraba la información anterior, se buscaba el establecimiento en redes sociales, algunos de ellos informaban en estas aplicaciones su cierre por lo que eran eliminados de la lista.
3. Si la última publicación era de años anteriores al 2021, se consideraba como un establecimiento cerrado.
4. Por último, los comercios en los que no se encontró información o se tenía alguna duda, permanecieron en la base de datos de establecimientos a encuestar.

#### **c. Aplicación del instrumento vía telefónica**

Con el fin de encuestar a los establecimientos remanentes en la base de datos, se buscaron los números de teléfono en Google y redes sociales. De esta forma se encuestaron 83 comercios, es decir, el 63.8% de la muestra propuesta inicialmente.

#### **d. Aplicación del instrumento presencial**

La segunda fase de la aplicación de las encuestas fue presencial. Se realizaron visitas a 60 establecimientos considerados generadores de CN, 47 de ellos se encontraban en la lista proporcionada por el DENUE. Los 13 establecimientos restantes fueron seleccionados por su reconocimiento en la comunidad de Mexicali o por su identificación a la hora de realizar las rutas de recolección.

### 3.2.9. Rutas de recolección de información

Las rutas de recolección de información se crearon con la aplicación *Google maps*. Desde la aplicación se entra a *my maps*, crear un nuevo mapa, en un libro de Excel se organizó la latitud y longitud de los puntos a encuestar, se importó el archivo se seleccionaron las celdas de latitud y longitud como se observa en la Figura 9.

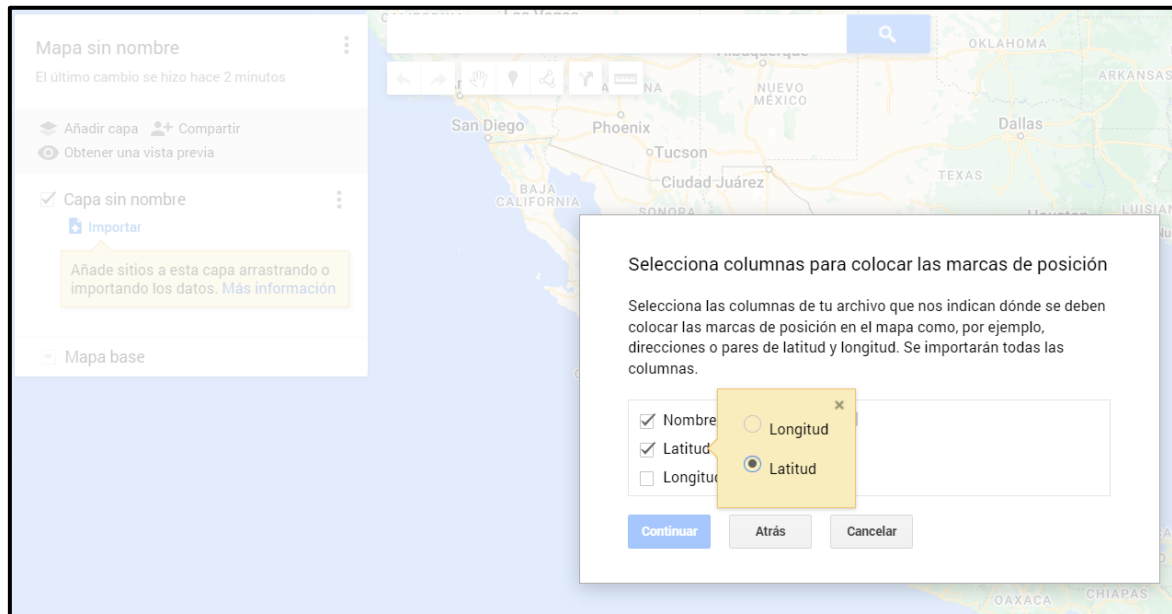


Figura 9. Carga de información para creación de rutas (Google maps,2023).

Una vez cargados los puntos al mapa, se procedió a crear las rutas, para esto, se dividió el mapa de Mexicali en 6 secciones y se unieron los puntos cercanos en cada sección para crear una ruta. La Figura 10 presenta las rutas trazadas para realizar la recolección de la información.

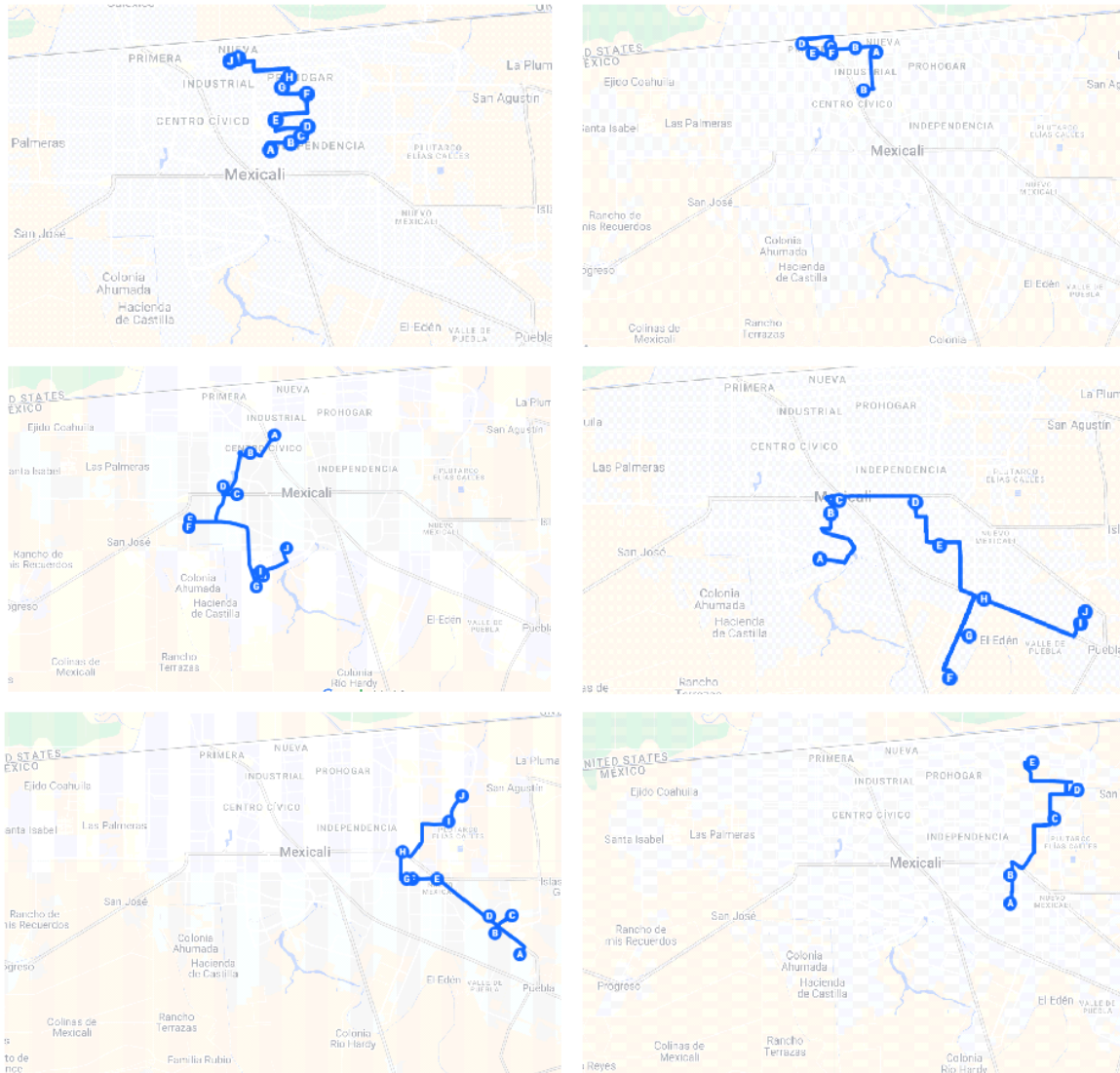


Figura 10. Rutas de recolección de la información (Google maps, 2023).

### 3.2.10. Corrección de las encuestas

Cada generador de residuos proporcionaba sus datos en una variedad de unidades, incluyendo kilogramos, costales, cajas e incluso el número de naranjas. Para lograr una uniformidad en los resultados, se llevó a cabo una segunda visita a los establecimientos que habían reportado sus cantidades en costales y cajas. Los costales, como se puede apreciar en la Figura 11, tenían una capacidad aproximada de 30 naranjas cada uno, mientras que las cajas, como se muestra en la Figura 12, albergaban alrededor de 120 naranjas. Esta estandarización permitió una mejor comparación y análisis de los datos recopilados.



*Figura 11. Costal de naranjas (elaboración propia).*

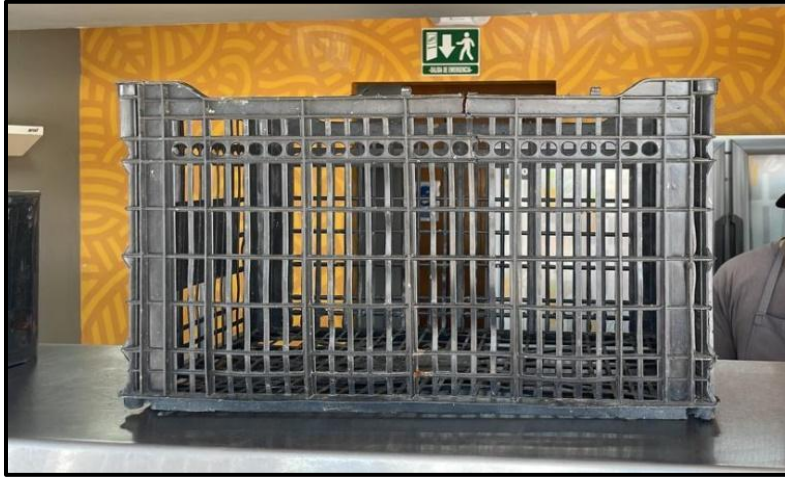


*Figura 12. Caja de naranjas (elaboración propia).*

### **3.2.11. Segunda visita a establecimientos seleccionados**

Se realizó una segunda visita a "Haz tu jugo juventud 2000", debido a que la información proporcionada sobre la generación de CN se encontraba por encima de la reportada por otros

establecimientos en Mexicali. Durante la visita, se contaron las naranjas que se utilizan diariamente. La Figura 13 muestra los contenedores en los que las naranjas son transportadas hasta el establecimiento.



*Figura 13. Canasta (elaboración propia).*

El primer sondeo a los posibles generadores de CN se llevó a cabo en invierno. Las respuestas de los establecimientos generadores se incluyeron en las encuestas finales. Sin embargo, debido a que el consumo de naranjas varía notablemente entre temporadas, se realizaron nuevas visitas a los siguientes establecimientos:

- Haz tu jugo UABC
- La michoacana Plaza cachanilla
- Metro café
- Kithacaló

### **3.3. Separación en la fuente**

El proceso de separación de CN se llevó a cabo manualmente por parte de los empleados de los establecimientos comerciales. Esto se debe a que las cáscaras de naranja son un residuo de la preparación de diversos productos, lo que hace necesario su separación del resto de residuos orgánicos.

### **3.4. Recolección y transporte**

#### **3.4.1. Creación de mapa de los establecimientos generadores de cáscara de naranja en Mexicali**

El proceso de creación del mapa de establecimientos comerciales generadores de CN fue el siguiente: primero se organizaron las direcciones proporcionadas por las personas encuestadas para cada establecimiento; luego se buscaron las coordenadas geográficas en formato decimal equivalentes a cada dirección. Se creó una hoja de Excel como muestra la Tabla 5. Esta cuenta con 4 columnas: la primera con el nombre del establecimiento, la segunda con la latitud, la tercera con la longitud y, por último, la cantidad de CN que se genera en cada establecimiento en kg calculada de la siguiente manera:

Algunos autores señalan que la porción de la CN es de 27 gramos por cada 100 gramos de producto (FEN, 2018). De esta forma se aplicó esto a la ecuación 6.

Tabla 5. 37 establecimientos generadores de CN

Nombre del establecimiento	Latitud	Longitud	CN (kg/día)
Haz tu jugo juventud 2000	32.65872796	-115.419999	810
Aguas Vela	32.62376724	-115.4529635	189
Haz tu jugo Cetys	32.63956959	-115.4779927	77.76
Haz tu jugo Lázaro Cárdenas	32.62447352	-115.4856965	58.32
Pachamama del desierto Colón	32.63646259	-115.4853502	33.21
Jugos naturales	32.66647932	-115.4734571	27.00
Juice Bar nuevo Mexicali	32.62249395	-115.3874673	24.30
Haz tu jugo UABC	32.63486159	-115.4395167	16.20
La vid jugos y sándwiches	32.62719635	-115.4905724	16.20
Pachamama del desierto Carranza	32.59585304	-115.3890676	15.66
La toronja	32.66249011	-115.4809211	12.15
Ensaladas y jugos Shenys	32.63627106	-115.3993586	11.88
Jugos del poder	32.62995161	-115.4028459	9.72
La juguetería	32.6318077	-115.4523394	8.10
Jugos Pakos	32.64178472	-115.4445716	8.10
Jugosa	32.58849966	-115.4751241	7.29
Iván jugos y ensaladas	32.58189163	-115.3563168	7.29
La michoacana Plaza cachanilla	32.658642	-115.478584	5.94
Jugos, tortas y licuados "Los originales"	32.58192267	-115.3568174	4.05
La juguetería	32.58849966	-115.4751241	3.24
Jugos Bamoa	32.66063726	-115.4889346	2.70
Lactuca	32.65360996	-115.4522086	2.16
La nueva Michoacana	32.64972615	-115.4528158	2.16
Metro Café	32.6499971	-115.4327124	1.89
Manzanary	32.64661267	-115.4669462	1.62
La aljaba	32.63097066	-115.4442534	1.62
Jugos Danis	32.585696	-115.355067	1.35
Aguas frescas del Isha	32.564143	-115.360473	1.08
Paletería y nevería la nueva michoacana	32.6201116	-115.488739	1.08

Paletería y nevería la nueva michoacana	32.60375312	-115.388969	0.81
Paletería y nevería la nueva michoacana	32.60004	-115.368768	0.81
Chanti café	32.589553	-115.481222	0.27
Kitahcaló Independencia	32.63656125	-115.4572156	0.27
La nueva michoacana	32.66059952	-115.4526429	0.24
Frutal Justo Sierra	32.623675	-115.48371	0.16
Sweet tea	32.636385	-115.444175	0.14
Raspados Gus & Gus	32.60004	-115.3890676	0.081

Una vez lista la hoja en Excel, se procedió a cargar la información en el programa QGIS. Primero, se seleccionó "Añadir capa de texto delimitado" desde el menú "Capa" y se eligió el archivo CSV. Se configuró el delimitador por coma, se asignaron las columnas de longitud a X y latitud a Y, y se seleccionó el Sistema de Referencia de Coordenadas adecuado, WGS 84. Una vez configurado, los puntos aparecieron en el mapa en sus ubicaciones geográficas. Se verificó visualmente su precisión y se guardó la capa como un Shapefile.

### **3.4.2. Planteamiento de posibles escenarios para la recolección de cáscara de naranja**

Se organizó la información actualizada sobre la generación de CN en Mexicali en un libro de Excel. Este documento incluyó el nombre del establecimiento, el consumo de naranjas, la producción de CN y el porcentaje correspondiente. A continuación, se jerarquizaron los establecimientos según el porcentaje de generación de CN.

Posteriormente, se crearon tres escenarios para la recolección de CN: el primero incluye todos los establecimientos generadores de CN, el segundo abarca 18 establecimientos, equivalente a la mitad del total, y el último escenario se centra en 10 establecimientos generadores. Finalmente, se consultó con el personal de la UABC acerca de la flota de automóviles disponible para la recolección de CN. Se identificó el vehículo óptimo para esta tarea, considerando las cantidades y que este residuo no puede ser almacenado por más de 24 horas.

### 3.4.3. Creación de rutas de recolección de cáscara de naranja

Para la creación de rutas de recolección de CN, se utilizó el software QGIS debido a que es gratuito y de código abierto, ofrece una amplia variedad de complementos y cuenta con una interfaz intuitiva.

- Integración del mapa de Mexicali y la malla vial

El primer paso para generar las rutas de recolección consistió en seleccionar el mapa base de la ciudad de Mexicali. La ruta utilizada para este propósito se presenta en la Figura 14:

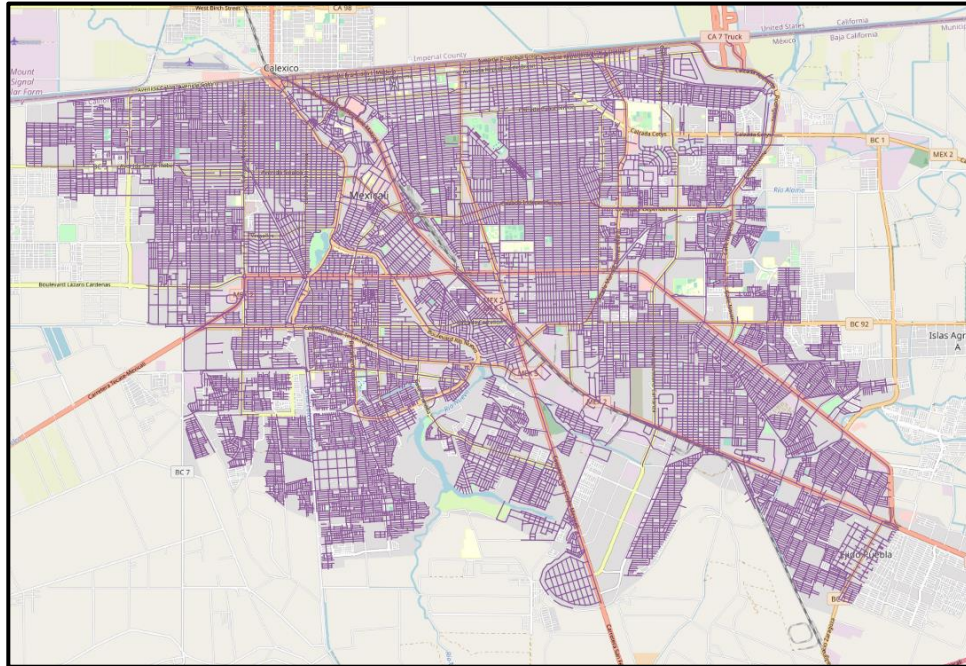


Figura 14. Descarga de mapa base (elaboración propia).

El segundo paso consistió en descargar las capas de vialidad para Mexicali. Para ello, se accedió al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y se buscó la categoría "vías de comunicación" en "Geografía y Medio Ambiente". Sin embargo, el buscador no proporcionó información específica solo para Mexicali, y la carpeta de Baja California solo incluía capas hasta el año 2011. Debido a esta limitación, se optó por descargar el shapefile de la Red Nacional de Caminos (RNC) del año 2022 (INEGI, 2022). Se procedió a crear un polígono que abarcara Mexicali y se recortaron las rutas sobre este polígono, de manera que solo se mantuvieran las vías correspondientes a la ciudad.

Una vez creado el nuevo shapefile con las vías de Mexicali, se seleccionaron aquellas que contaban con dos sentidos desde la tabla de atributos. Estas vías fueron exportadas como una capa nueva, y las capas anteriores fueron eliminadas. Se limitaron las rutas a calles de doble sentido para evitar problemas durante la recolección. Usar calles de un solo sentido podría causar interferencias y complicaciones en el campo, ya que los vehículos tendrían que hacer vueltas innecesarias o tomar rutas menos directas, aumentando el tiempo y los costos de recolección. Seleccionando únicamente las calles de doble sentido, se asegura que las rutas sean más eficientes y directas, optimizando el proceso de recolección y evitando posibles conflictos en la circulación. Esta segmentación es

crucial para el éxito y la eficiencia del proyecto de recolección. La representación de esta capa se puede observar en la Figura 15.



*Figura 15. Calles de dos sentidos en Mexicali (elaboración propia).*

- Definición de puntos para la creación de la ruta

Los puntos elegidos para la generación de las rutas fueron los establecimientos generadores de CN en Mexicali. La distribución de estos puntos se muestra en la Figura 16.

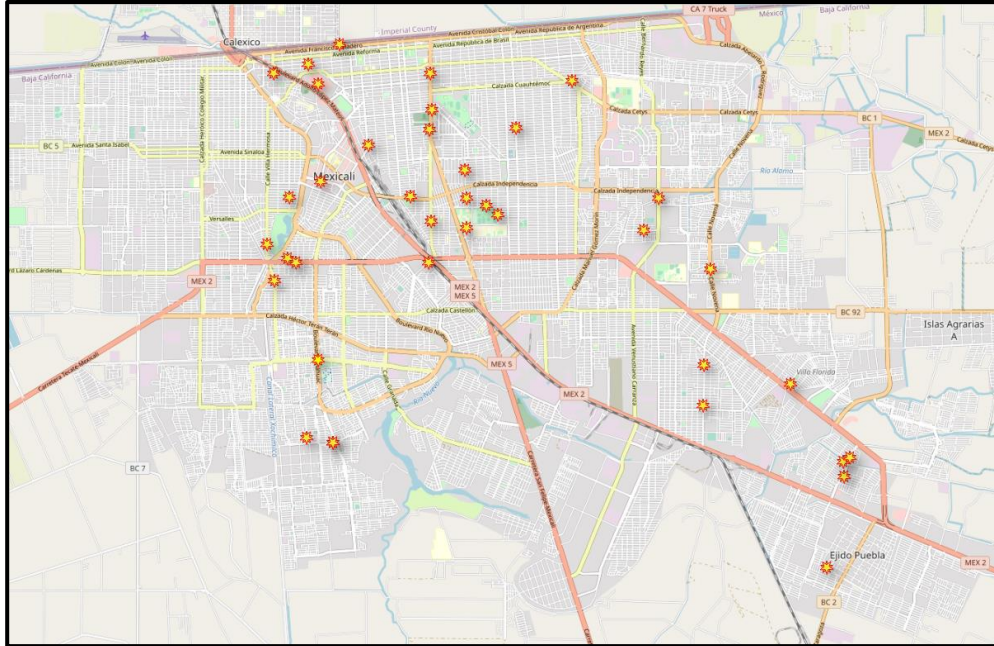


Figura 16. Establecimientos generadores de CN (elaboración propia).

- Preparación de puntos

En primer lugar, se añadió el punto de partida, que fue la planta de tratamiento de la UABC. Posteriormente, mediante la herramienta "*shortest path (layer to point)*" se calculó la ruta óptima más corta desde múltiples puntos de inicio definidos por una capa vectorial hasta un punto final dado. Una vez completado este proceso, se editó la tabla de atributos para crear un nuevo campo de valor entero. En este campo, se asignó un número único a cada uno de los puntos de generación, del 1 al 38. La planta de tratamiento de la UABC fue designada como el primer punto, y Jugos Dani, como el último. A esta ruta se le asignó el nombre "*shortest\_path*" y contenía la distancia de un punto al siguiente, como se ilustra en la Figura 17.

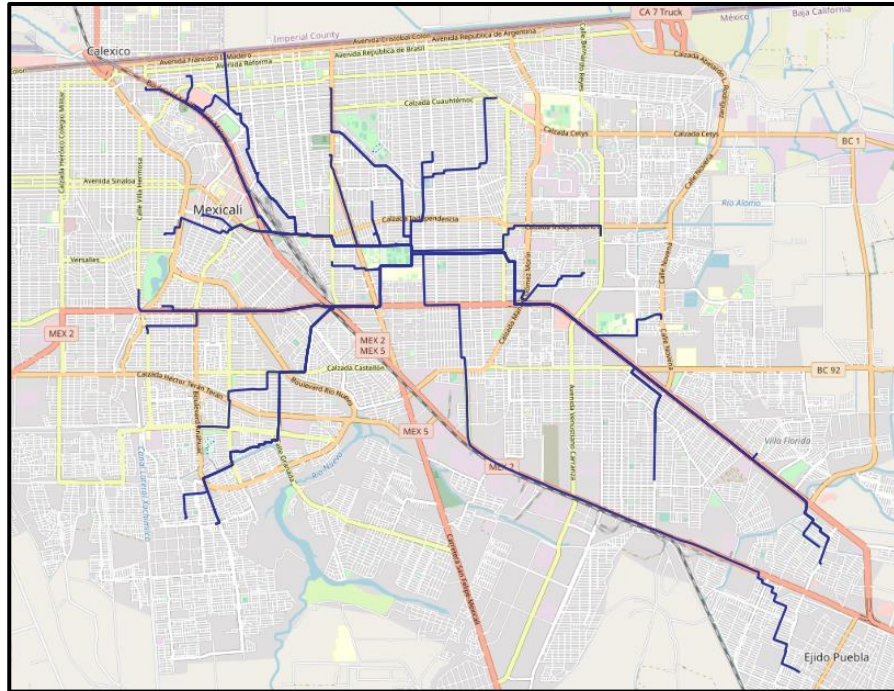


Figura 17. Esquema de la ruta más corta (elaboración propia).

Luego, considerando que se tenía la información de la distancia entre cada par de puntos en formato de línea y la ubicación de los establecimientos generadores de CN en formato de punto, se fusionaron estos dos conjuntos de datos utilizando el campo que compartían, que era el nombre del establecimiento. Para llevar a cabo esta acción, se utilizó la herramienta *Join attributes by field value* y a este campo resultante se le denominó J1.

Con el fin de calcular la distancia desde un punto a todos los demás puntos, se creó una copia de J1 llamada J2. Se eliminaron el punto 1 de J1 (planta de tratamiento de la UABC) y el punto 38 (Jugos Dani) de J2. Utilizando estos dos conjuntos de datos y la herramienta OD Matrix, se llevó a cabo la comparación de todas las distancias entre los puntos, como se muestra en la Figura 18.

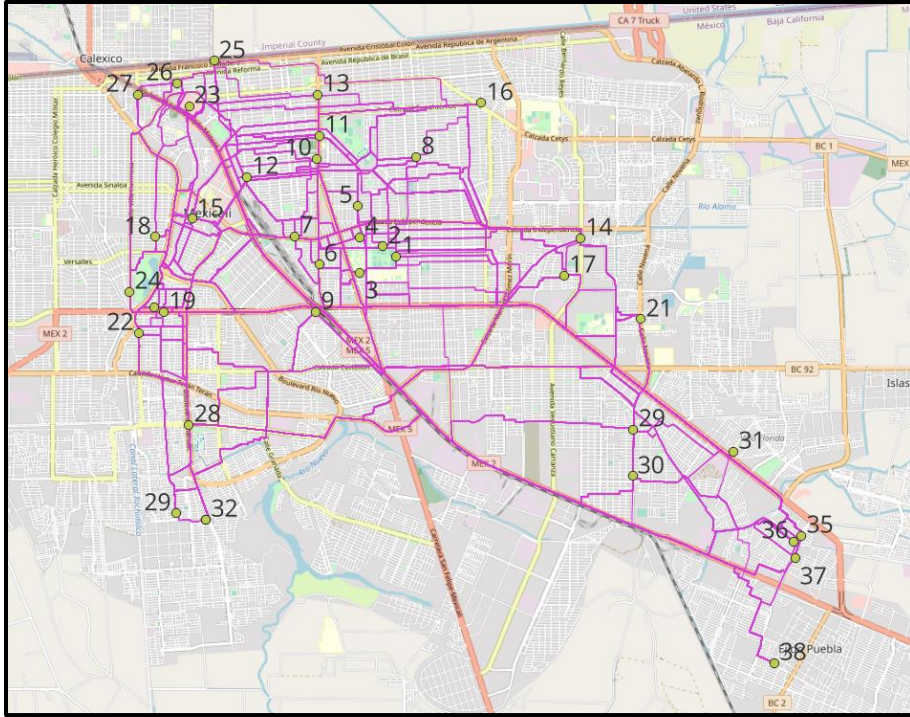


Figura 18. Distancias a todos los puntos (elaboración propia).

En la Figura 19 se presenta la tabla de atributos de esta matriz, donde la distancia se encuentra en la columna denominada *total\_coast* y se puede observar la distancia en metros desde el punto 1 hacia cada uno de los 37 puntos restantes.

OD\_matrix\_2 — Features Total: 1369, Filtered: 1369, Selected: 1

	origin_id	destinatio	entry_cost	network_co	exit_cost	total_cost
1	1	2	0.6321367	468.5249959	25.3163292	494.4734618
2	1	3	0.6321367	960.4276529	19.5103121	980.5701017
3	1	4	0.6321367	1041.6375536	6.3553513	1048.6250415
4	1	5	0.6321367	1557.9960768	4.5440191	1563.1722326
5	1	6	0.6321367	1873.7827981	4.5955648	1879.0104996
6	1	7	0.6321367	2256.2352668	5.2321503	2262.0995539
7	1	8	0.6321367	2257.6980557	6.7498846	2265.0800770
8	1	9	0.6321367	2611.5825037	9.1008709	2621.3155113
9	1	10	0.6321367	2930.6107435	22.1459776	2953.3888578
10	1	11	0.6321367	3190.7694866	25.3999471	3216.8015703
11	1	12	0.6321367	3933.5779402	5.3036097	3939.5136866
12	1	13	0.6321367	3974.8630120	3.7919109	3979.2870596
13	1	14	0.6321367	4161.8321074	0.6101582	4163.0744023
14	1	15	0.6321367	4298.8821765	7.8911280	4307.4054413
15	1	17	0.6321367	4408.8241618	5.3009823	4414.7572808
16	1	16	0.6321367	4383.3158056	50.6937329	4434.6416752
17	1	18	0.6321367	5340.2869347	4.0399488	5344.9590202
18	1	19	0.6321367	5370.0078349	7.6928369	5378.3328085
19	1	20	0.6321367	5640.9590993	7.2845692	5648.8758052
20	1	21	0.6321367	6098.9763241	17.9176884	6117.5261493
21	1	22	0.6321367	6277.3646475	8.3802846	6286.3770688
22	1	24	0.6321367	6360.6405049	13.2227727	6374.4954143
23	1	25	0.6321367	6413.7834783	0.5069038	6414.9225189
24	1	23	0.6321367	6359.9315306	124.8048544	6485.3685217

Figura 19. Tabla de atributos de la OD\_Matrix (elaboración propia).

Se definieron 3 escenarios de recolección de CN:

- Primer escenario: Una ruta de recolección que abarque la totalidad de los puntos de generación de CN. Para la creación de esta ruta de recolección, se identificaron manualmente, con la ayuda de la *OD\_Matrix*, las distancias más cortas entre cada par de puntos, sin tener en cuenta su secuencia numérica. Se seleccionó esta ruta asegurándose de no repetir ningún número y se exportó de manera individual. En la Figura 20 se muestra un ejemplo visual; en este tramo específico, los puntos más cercanos entre sí eran el 21 y el 29.

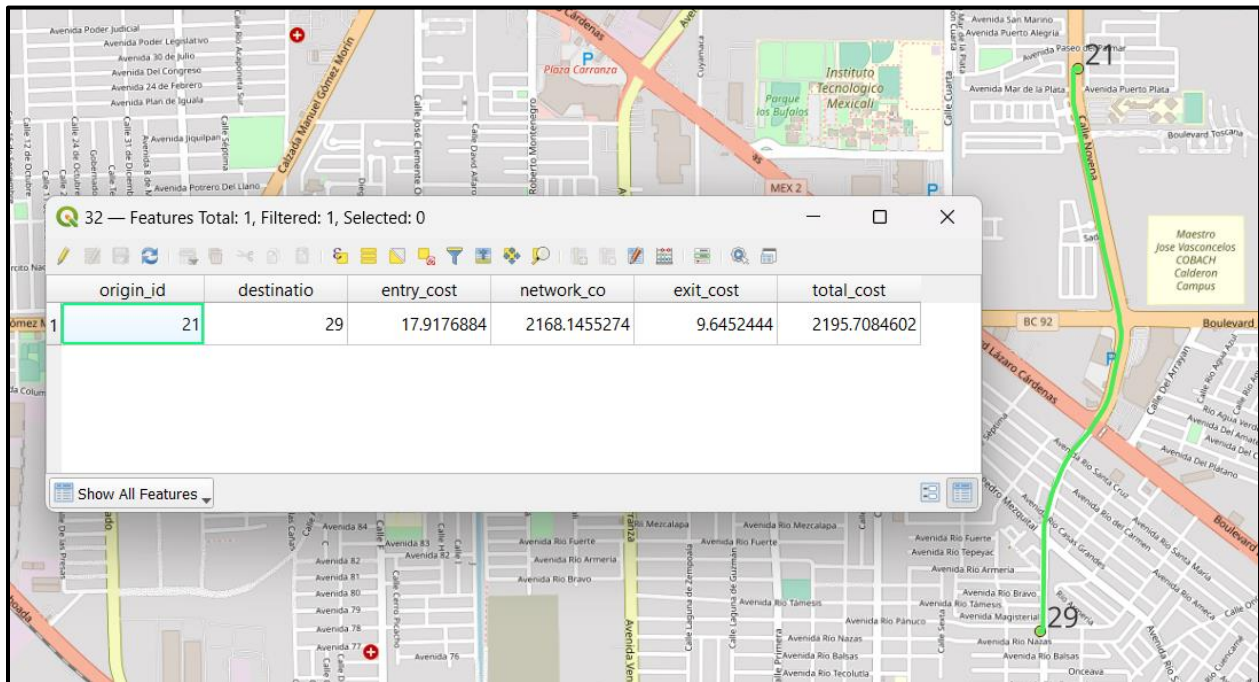


Figura 20. Tramo 32 (elaboración propia).

De esta manera, se creó la primera ruta de recolección de CN en Mexicali. Esta ruta se puede observar en la Figura 21.

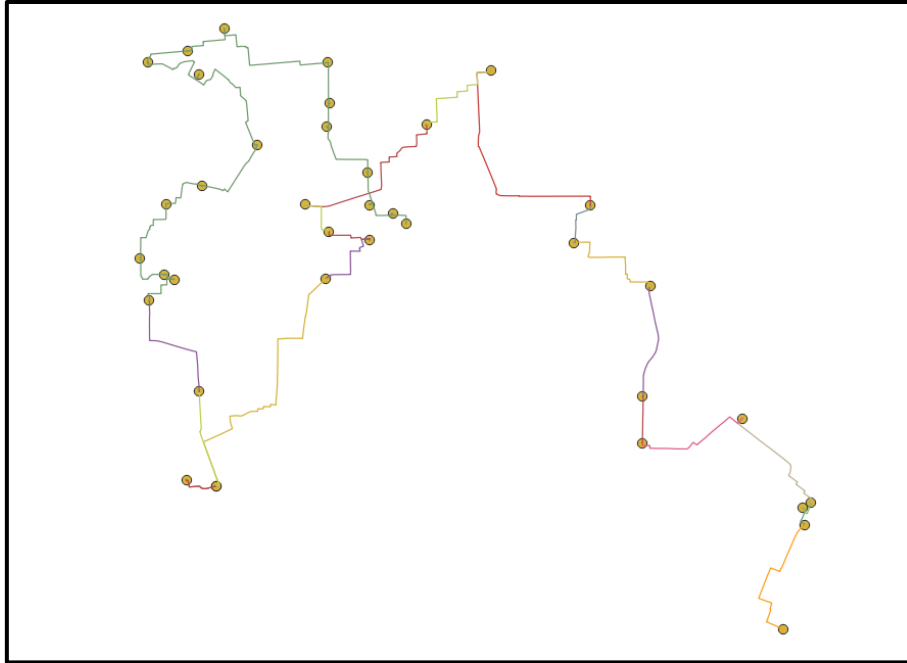


Figura 21. Ruta por distancia más corta para 37 puntos (elaboración propia).

Como se observa en la Figura 21, la ruta basada en las distancias más cortas resulta en la intersección de dos tramos. Por este motivo, esta ruta se tomó únicamente como base para la creación de una ruta optimizada, en la cual se realizaron modificaciones en algunos tramos. En la Tabla 6 se presentan los tramos modificados junto con sus respectivos puntos de generación.

Tabla 6. Tramos modificados en la Ruta para los 37 establecimientos generadores

Tramo	Puntos de generación
2	2 al 4
3	4 al 3
4	3 al 9
5	9 al 6
6	6 al 7
7	7 al 5
19	28 al 30
20	30 al 34
21	34 al 38

- Segundo escenario: Una ruta de recolección que abarque la mitad de los puntos de generación de CN. Para esta segunda ruta, se seleccionaron de la *OD\_Matrix* únicamente los establecimientos cuya generación de CN sea mayor a 7.28 kg/día, mediante una condición, como lo muestra la Figura 22. Una vez seleccionados, se exportaron estos datos como una nueva matriz.

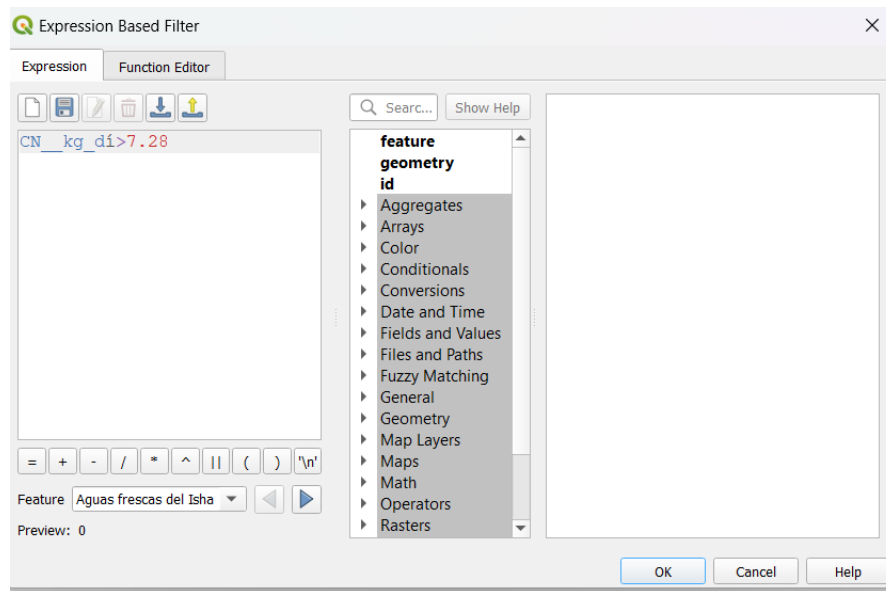


Figura 22. Condicional para la selección de los 18 primeros generadores de CN en Mexicali (elaboración propia).

Con la misma metodología utilizada en el punto anterior, se crearon tramos con puntos que estuvieran a menor distancia entre sí. La Figura 23 muestra esta ruta.



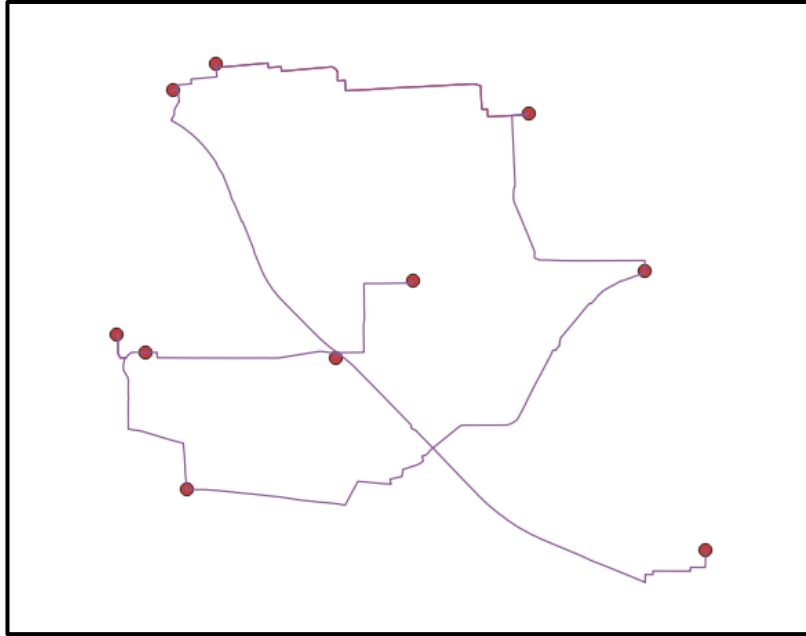


Figura 24. Ruta por distancia más corta para 10 puntos (elaboración propia).

Para esta ruta solo se modificaron 2 tramos, los cuales se evidencian en la Tabla 8.

Tabla 8. Tramos modificados en la Ruta para 10 establecimientos generadores

Tramo	Puntos de generación
5	34 al 37
6	25 al 26

### 3.4.4. Aplicación del TSP con programación abierta, mediante la herramienta

#### *Solver* de Excel para el diseño de la ruta de menor distancia

Los datos de las distancias calculadas con el software QGIS en la matriz OD para cada tramo fueron descargados en formato Excel y posteriormente organizados en una tabla, tal como se ilustra en la Tabla 9.

Tabla 9. Tabla dinámica de distancias

Km	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
1		0.5	1.0	1.5	1.6	1.9	2.3	2.3	2.6	3.0	3.2	3.9	4.0	4.2	4.5	4.4	4.4	5.4	5.3	5.6	6.1	6.3	6.4	6.5	6.4	6.5	6.7	6.9	8.7	7.8	8.3	8.4	10.5	10.6	10.9	13.0	
2	0.5		0.9	0.7	1.2	1.5	1.9	2.4	2.6	2.6	2.9	3.6	3.7	4.3	3.9	4.7	4.5	5.0	5.4	6.6	6.1	6.2	6.1	6.0	6.1	6.3	6.8	7.4	8.6	8.3	8.8	8.4	10.9	11.0	11.4	13.2	
3	1.0	0.9		0.9	1.4	0.9	1.8	3.2	1.7	2.4	2.9	3.4	3.6	5.1	3.8	4.9	5.4	4.5	4.8	4.7	6.6	5.4	5.4	6.0	5.9	6.0	6.2	6.0	7.4	7.7	8.2	8.8	7.5	10.9	11.0	11.3	12.6
4	1.0	0.7	0.9		0.7	1.1	1.5	2.5	2.3	2.1	2.5	3.1	3.2	4.5	3.5	4.9	4.7	4.9	4.5	5.0	7.0	5.7	5.8	5.6	5.5	5.7	5.9	6.5	7.9	8.3	8.8	9.3	8.1	11.5	11.6	11.9	13.2
5	1.6	1.2	1.4	0.7		1.7	1.7	1.9	2.8	1.5	1.8	2.7	2.6	4.7	3.7	5.2	4.1	5.1	4.8	5.2	7.3	5.9	6.0	5.2	5.1	5.3	5.6	6.8	8.4	8.8	9.3	9.8	8.6	12.0	12.1	12.4	13.7
6	1.9	1.5	0.9	1.1	1.7		1.0	3.6	1.1	2.0	2.4	2.6	3.2	5.6	3.0	5.7	5.8	3.9	4.0	4.2	7.3	4.8	4.9	5.2	5.1	5.2	5.4	5.4	8.1	7.2	8.8	9.5	7.0	11.7	11.8	12.0	13.2
7	2.3	1.9	1.8	1.5	1.7	1.0		3.6	2.0	1.9	2.3	1.7	3.1	5.7	2.2	6.2	5.7	3.6	3.2	3.7	8.1	4.4	4.4	4.3	4.2	4.3	4.6	5.3	9.0	7.3	9.6	10.3	7.2	12.5	12.6	12.8	14.0
8	2.3	2.4	3.2	2.5	1.9	3.6	3.6		4.7	2.2	2.3	3.4	2.9	4.3	5.0	4.7	2.2	6.8	6.0	6.9	6.8	7.6	7.5	7.5	5.5	5.6	6.3	8.5	8.1	10.5	8.9	9.4	10.4	11.6	11.7	12.0	14.3
9	2.6	2.6	1.7	2.3	2.8	1.1	2.0	4.7		3.2	3.6	3.3	4.3	5.8	3.3	5.2	6.9	3.1	4.3	3.4	6.9	4.0	4.1	5.5	5.6	5.5	5.7	4.3	7.5	6.1	7.9	9.1	5.8	11.2	11.1	11.1	12.2
10	3.0	2.6	2.4	2.1	1.5	2.0	1.9	2.2	3.2		0.5	1.6	1.3	5.9	3.2	6.4	4.0	5.0	4.2	5.1	8.5	5.8	5.6	3.8	3.7	3.9	4.2	6.7	9.6	8.7	10.3	11.0	8.6	13.2	13.3	13.5	14.7
11	3.2	2.9	2.9	2.5	1.8	2.4	2.3	2.3	3.6	0.5		2.0	0.8	6.1	3.3	6.5	3.5	5.4	4.4	5.5	8.6	6.1	5.8	3.4	3.3	3.5	4.0	7.1	9.8	9.1	10.7	11.2	9.0	13.4	13.5	13.8	15.1
12	3.9	3.6	3.4	3.1	2.7	2.6	1.7	3.4	3.3	1.6	2.0		2.8	7.1	1.6	7.6	5.5	3.4	2.7	3.5	9.7	4.2	4.1	2.6	2.5	2.7	3.0	5.1	10.5	7.1	10.9	12.0	7.0	14.1	14.2	14.1	15.3
13	4.0	3.7	3.6	3.2	2.6	3.2	3.1	2.9	4.3	1.3	0.8	2.8		8.8	4.1	7.3	3.4	6.2	5.1	6.5	9.4	6.9	6.5	2.9	2.7	3.0	3.7	7.9	10.6	9.9	11.5	12.0	9.8	14.1	14.2	14.6	15.9
14	4.2	4.3	5.1	4.5	4.7	5.6	5.7	4.3	5.8	5.9	6.1	7.1	6.8		7.8	0.9	4.6	8.5	8.8	8.8	2.5	9.4	9.5	9.4	9.4	9.5	10.0	9.5	4.5	11.2	5.3	5.9	11.0	8.0	8.1	8.4	10.7
15	4.3	3.9	3.8	3.5	3.7	3.0	2.2	5.0	3.3	3.2	3.3	1.6	4.1	7.8		8.2	6.8	2.4	1.1	2.5	9.8	2.8	2.5	3.2	3.4	2.9	3.0	4.2	10.6	6.2	11.0	12.0	6.1	14.2	14.2	15.3	
16	4.4	4.7	4.9	4.9	5.2	5.7	6.2	4.7	5.2	6.4	6.5	7.6	7.3	0.9	8.2		5.1	8.0	9.1	8.3	2.3	8.9	9.0	9.9	9.8	9.9	10.4	9.0	4.1	10.7	5.0	5.5	10.4	7.6	7.7	8.1	10.3
17	4.4	4.5	5.4	4.7	4.1	5.8	5.7	2.2	6.9	4.0	3.5	5.5	3.4	4.6	6.8	5.1		8.8	7.8	8.9	7.1	9.6	9.2	6.2	6.1	6.3	7.0	10.5	8.4	12.5	9.2	9.8	12.4	11.9	12.0	12.4	14.6
18	5.4	5.3	4.5	4.9	5.1	3.9	3.6	6.8	3.1	5.0	5.4	3.4	6.2	8.5	2.4	8.0	8.8		1.9	0.3	9.6	0.9	1.0	5.4	5.7	5.1	4.7	2.5	10.4	4.6	10.8	11.8	4.4	14.0	14.0	14.0	15.1
19	5.3	5.0	4.8	4.5	4.8	4.0	3.2	6.0	4.3	4.2	4.4	2.7	5.1	8.8	1.1	9.1	7.8	1.9		1.8	10.8	2.3	1.5	3.8	4.3	3.4	2.9	4.1	11.5	6.1	11.9	13.0	6.1	15.1	15.1	16.3	
20	5.6	5.4	4.7	5.0	5.2	4.2	3.7	6.9	3.4	5.1	5.5	3.5	6.3	8.8	2.3	8.3	8.9	0.3	1.8		9.9	0.8	0.9	5.3	5.7	5.0	4.6	2.8	10.6	4.6	11.0	12.1	4.7	14.3	14.3	14.2	15.4
21	6.1	6.6	6.6	7.0	7.3	7.3	8.1	6.8	6.9	8.5	8.6	9.7	9.4	2.5	9.8	2.3	7.1	9.6	10.8	9.9		10.5	10.6	12.0	11.9	12.0	12.3	10.3	2.2	12.0	3.1	3.6	11.8	5.7	5.8	6.2	8.4
22	6.3	6.1	5.4	5.7	5.9	4.8	4.4	7.6	4.0	5.8	6.1	4.2	6.9	9.4	2.8	8.9	9.6	0.9	2.3	0.8	10.5		0.9	5.9	6.2	5.4	4.8	2.4	11.1	3.8	11.4	12.7	4.3	14.9	14.7	14.6	15.8
23	6.4	6.2	5.4	5.8	6.0	4.9	4.4	7.5	4.1	5.6	5.8	4.1	6.5	9.5	2.5	9.0	9.2	1.0	1.5	0.9	10.6	0.9		5.0	5.6	4.5	3.9	3.3	11.4	4.8	11.8	12.8	5.3	15.0	15.0	15.0	16.1
24	6.5	6.1	6.0	5.6	5.2	5.2	4.3	5.5	5.5	3.8	3.4	2.6	2.9	9.4	3.2	9.9	6.2	5.4	3.8	5.3	12.0	5.9	5.0		1.7	0.9	1.6	7.3	12.8	9.4	13.2	14.3	9.2	16.4	16.4	16.4	17.6
25	6.4	6.0	5.9	5.5	5.1	5.1	4.2	5.5	5.6	3.7	3.3	2.5	2.7	9.4	3.4	9.8	6.1	5.7	4.3	5.7	11.9	6.2	5.6	1.7		1.1	2.0	7.5	12.9	9.5	13.3	14.3	9.4	16.5	16.5	16.5	17.7
26	6.5	6.1	6.0	5.7	5.3	5.2	4.3	5.6	5.5	3.9	3.5	2.7	3.0	9.5	2.9	9.9	6.3	5.1	3.4	5.0	12.0	5.4	4.5	0.9	1.1		0.9	7.0	12.8	9.0	13.2	14.2	8.9	16.4	16.4	16.4	17.5
27	6.7	6.3	6.2	5.9	5.6	5.4	4.6	6.3	5.7	4.2	4.0	3.0	3.7	10.0	3.0	10.4	7.0	4.7	2.9	4.6	12.3	4.8	3.9	1.6	2.0	0.9		7.0	13.0	8.6	13.4	14.5	8.9	16.6	16.6	16.6	17.8
28	6.9	6.8	6.0	6.5	6.8	5.4	5.3	8.5	4.3	6.7	7.1	5.1	7.9	9.5	4.2	9.0	10.5	2.5	4.1	2.8	10.3	2.4	3.3	7.3	7.5	7.0	7.0		9.9	2.0	9.9	11.8	1.9	13.3	13.1	13.0	14.2
29	6.9	7.4	7.4	7.9	8.4	8.1	9.0	8.1	7.5	9.6	9.8	10.5	10.6	4.5	10.6	4.1	8.4	10.4	11.5	10.6	12.2	11.1	11.4	12.8	12.9	12.8	13.0	9.9		11.6	0.9	2.4	11.4	4.6	4.4	4.6	6.5
30	8.7	8.6	7.7	8.3	8.8	7.2	7.3	10.5	6.1	8.7	9.1	7.1	9.9	11.2	6.2	10.7	12.5	4.6	6.1	4.6	12.0	3.8	4.8	9.4	9.5	9.0	8.6	2.0	11.6		11.6	15.5	0.7	15.1	14.8	14.8	15.9
31	7.8	8.3	8.2	8.8	9.3	8.8	9.6	8.9	7.9	10.3	10.7	10.9	11.5	5.3	11.0	5.0	9.2	10.8	11.9	11.0	3.1	11.4	11.8	13.2	13.2	13.4	9.9	0.9	11.6		2.4	11.5	4.2	4.8	4.2	5.7	
32	8.3	8.8	8.8	9.3	9.5	10.3	9.4	9.1	11.0	11.2	12.0	12.0	5.9	12.0	5.5	9.8	11.8	13.0	12.1	3.6	12.7	12.8	14.3	14.3	14.2	14.5	11.8	2.4	13.5	2.4		13.2	2.4	2.5	2.9	5.3	
33	8.4	8.4	7.5	8.1	8.6	7.0	7.2	10.4	5.8	8.6	9.0	7.0	9.8	11.0	6.1	10.4	12.4	4.4	6.1	4.7	11.8	4.3	5.3	9.2	9.4	8.9	8.9	1.9	11.4	0.7	11.3	13.2		14.8	14.6	14.5	15.7
34	10.5	10.9	10.9	11.5	12.0	11.7	12.5	11.6	11.2	13.2	13.4	14.1	14.1	8.0	14.2	7.6	11.9	14.0	15.1	14.3	5.7	14.9	15.0	16.4	16.5	16.4	16.6	13.3	4.6	15.1	4.2	2.4	14.8		0.4	0.5	3.3
35	10.6	11.0	11.0	11.6	12.1	11.8	12.6	11.7	11.1	13.3	13.5	14.2	14.2	8.1	14.2	7.7	12.0	14.0	15.1	14.3	5.8	14.7	15.0	16.4	16.5	16.4	16.6	13.1	4.4	14.8	4.0	2.5	14.6	0.4		0.4	3.2
36	10.9	11.4	11.3	11.9	12.4	12.0	12.8	12.0	11.1	13.5	13.8	14.1	14.6	8.4	14.2	8.1	12.4	14.0	15.1	14.2	6.2	14.6	15.0	16.4	16.5	16.4	16.6	13.0	4.6	14.8	4.2	2.9	14.5	0.5	0.4		2.9
37	13.0	13.2	12.6	13.2	13.7	13.2	14.0	14.3	12.2	14.7	15.1	15.3	15.9	10.7	15.3	10.7	14.6	15.1	16.3	15.4	8.4	15.8	16.1	17.6	17.7	17.5	17.8	14.2	6.5	15.9	5.7	5.3	15.7	3.3	3.2	2.9	

Tras activar el complemento Solver de Excel, se formuló un modelo mediante la creación de una tabla. En esta tabla, se dispuso una columna que enumeraba los establecimientos del 1 al 36, asignando el número 1 a la última celda para garantizar que la ruta regresara a su punto de inicio. La segunda columna se configuró con el cálculo de las distancias entre cada tramo y su antecesor, utilizando la función índice, como se ilustra en la Tabla 10.

Tabla 10. Modelo Solver para 36 puntos

Establecimiento	Distancia	Establecimiento	Distancia
1		20	1.78
2	0.49	21	9.91
3	0.92	22	10.55
4	0.88	23	0.92
5	0.66	24	5.01
6	1.68	25	1.67
7	0.96	26	1.09
8	3.59	27	0.91
9	4.72	28	7.02
10	3.16	29	9.87
11	0.53	30	11.58
12	2.05	31	11.56
13	2.81	32	2.37
14	6.85	33	13.23
15	7.77	34	14.83
16	8.2	35	0.39
17	5.06	36	0.40
18	8.83	37	2.88
19	1.86	1	13
<b>TOTAL</b>		<b>179.98</b>	

En el segundo paso, se accedió a la función *Solver* haciendo clic en la pestaña "Datos". En esta fase, se estableció el objetivo principal de reducir la suma total de las distancias. Se tomaron todas las columnas de establecimientos como celdas variables y se aplicaron las restricciones necesarias, que incluían la prohibición de pasar dos veces por el mismo establecimiento y la condición de que la ruta siempre comenzara en el número 1. Este proceso se ilustra en la Figura 25.

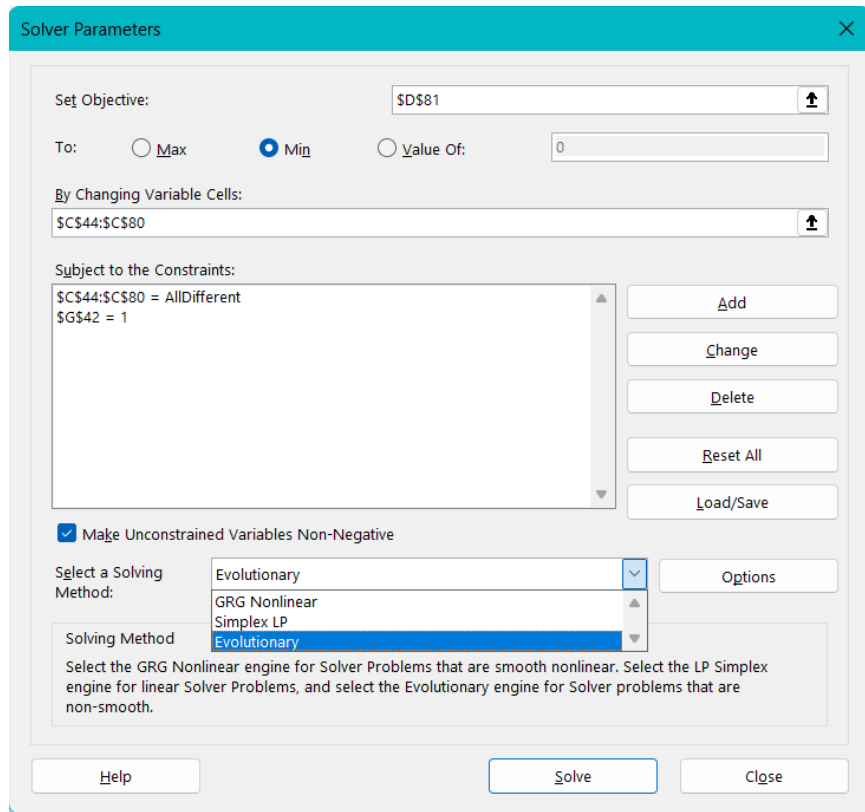


Figura 25. Parámetros de Solver (elaboración propia).

Por último, se seleccionó un tiempo de procesamiento de 5 minutos como se muestra en la Figura 26 para que el método encontrara la solución.

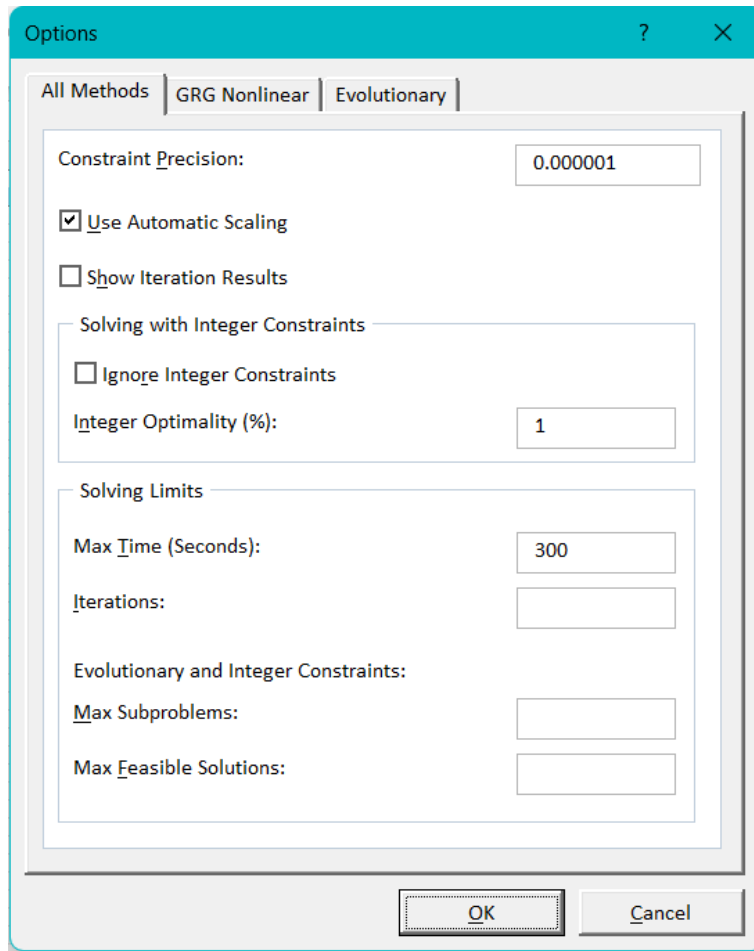


Figura 26. Parámetro de tiempo (elaboración propia).

Se aplicó el mismo procedimiento a la ruta que incluye 18 puntos y la de 10 establecimientos. En la Tabla 11 se muestra la configuración de los establecimientos y las distancias correspondientes, ordenados según su aparición en la matriz OD.

Tabla 11. Modelo Solver para 18 puntos

Establecimiento	Distancia
1	0.00
2	0.49
3	1.54
4	1.14
5	5.75
6	7.77
7	8.20
8	5.06
9	7.82
10	1.78
11	9.91
12	10.64
13	5.01
14	1.67
15	1.09
16	7.04
17	9.85
18	11.33
19	14.53
<b>Total</b>	<b>110.62</b>

En las 3 rutas se repitió el proceso tres veces para garantizar la coherencia de los resultados. En el tercer intento, la herramienta logró proporcionar una solución en menos de 120 segundos.

### **3.4.5. Vehículo para la recolección de cáscara de naranja en Mexicali**

El vehículo seleccionado para esta tarea es una Ford F-150 del año 2006, elegido en función de la flota de vehículos disponibles en la UABC y la cantidad de residuos a transportar. Esta camioneta de tamaño completo tiene una capacidad máxima de carga de 750 kg. Las Ford F150 fabricadas entre enero de 2003 y diciembre de 2008 se encuentran disponibles con tres opciones de motor de gasolina, que van desde 4.60 hasta 5.40 litros de capacidad, con una potencia que oscila entre 231 y 300 caballos de fuerza.

Según la EPA la Ford F150 cuenta con un rendimiento de 6.79 km por litro de gasolina. En la Figura 27 se observan las características de este vehículo (EPA, 2024). La Figura 27 presenta las especificaciones.



Figura 27. Características del Ford F150 (EPA, 2024).

### 3.4.6. Determinación del consumo de gasolina y emisiones de CO<sub>2</sub> por ruta

El automóvil utilizado para la recolección de residuos de naranja es un Ford F-150. Como se muestra en la Figura 27, al convertir las 16 MPG a L/100 km obtenemos un consumo de gasolina de 14.70 L/100 km. Este valor se utilizó como referencia para realizar los balances de masa, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la optimización de las distancias recorridas versus la generación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

La ecuación química utilizada para calcular la producción de CO<sub>2</sub> es:



Para obtener la densidad de la gasolina, se consultó la Tabla 12. Se decidió utilizar uno de los componentes de este combustible (C<sub>9</sub>H<sub>20(l)</sub>) que estuviera en el rango medio de los hidrocarburos presentes en la gasolina (C<sub>5</sub>-C<sub>12</sub>) (Santillana & Salinas de Santillana, 2018).

Tabla 12. Densidad de combustibles

Combustible	Densidad	
	Fase	kg/m <sup>3</sup>
Hidrógeno	Gas	0.09
Metano CH <sub>4</sub> (0 °C,1atm)	Gas	0.67
Gas natural	Gas	0.8
Etano C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (20 °C,1atm)	Gas	1.26
Propano C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (20 °C,1atm)	Gas	1.88
Butano CH <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (20 °C,1atm)	Gas	2.49
GNL	Gas	423
GNL	Líquido	455
GLP	Líquido	550
Gasolina C5-C12	Líquido	750
Diesel C10-C18	Líquido	830

El primer paso fue calcular el consumo de gasolina por cada ruta, esto se calculó con la siguiente ecuación:

$$Cl = Cv * Dr \text{ (Ecuación 7)}$$

Donde,

*Cl*: Consumo de gasolina (L) por ruta.

*Cv*: Consumo del vehículo (L/km).

*Dr*: Distancia de la ruta (km).

El segundo paso fue, pasar el consumo de gasolina de litros a kg utilizando como factor la densidad.

$$Cg = (Cl * d) * 1000 \text{ (Ecuación 8)}$$

Donde,

$C_g$ = Consumo de gasolina en gramos

$d$ = Densidad de la gasolina en kg/L (tomado de Tabla 12)

El tercer paso fue, realizar el balance de la reacción química utilizando moles:

$$\text{Moles de } C_9H_{20(l)} = \frac{\text{gramos de } C_9H_{20(l)}}{\text{Peso molecular de } C_9H_{20(l)}} \text{ (Ecuación 9)}$$

Por medio de análisis estequiométricos, se obtuvieron los moles de  $CO_2$  que se producen con una relación de 1 a 9.

Por último, se calcularon las emisiones de  $CO_2$  para cada una de las rutas.

$$\text{gramos de } CO_2 = \text{moles de } CO_2 * \text{peso molecular de } CO_2 \text{ (Ecuación 10)}$$

### **3.5. Clasificación y Almacenamiento**

Una vez ubicada la CN en la planta de tratamiento de la UABC, es crucial asegurarse de que solo se almacene CN en dicho lugar. Dado que las cáscaras de naranja son residuos orgánicos, es esencial acopiarlas de manera adecuada. Se recomienda utilizar contenedores herméticos de color verde para este fin. Es fundamental evitar que estos residuos permanezcan por más de 24 horas. Se aconseja mantenerlos en un lugar fresco o refrigerado para prevenir la proliferación de olores y la atracción de plagas.

### **3.6. Aprovechamiento**

Los residuos recolectados se enviarán al Laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. En este laboratorio, se emplea un sistema extractor a escala piloto para la extracción de aceite esencial de CN mediante hidrodestilación, tal como se detalla en el estudio de Armenta et al. (2023).

## CAPÍTULO IV

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación de la metodología descrita en el capítulo anterior para la formulación del Plan de Gestión Integral de Cáscara de Naranja (PGICN) en Mexicali. Se analizarán los datos recogidos durante el diagnóstico inicial, incluyendo la determinación de la superficie cosechada de naranja, la identificación de las empresas productoras de jugo y los resultados de las encuestas aplicadas a posibles generadores de cáscara. Además, se examinarán las estimaciones de la cantidad de cáscara residual y su distribución geográfica. También se evaluarán los diferentes escenarios para la recolección y las rutas optimizadas utilizando el Problema del Viajante de Comercio (TSP) a través de la herramienta Solver de Excel. Finalmente, se discutirán aspectos relacionados con el almacenamiento y el aprovechamiento de la cáscara de naranja.

### **4. Resultados**

#### **4.1. Diagnóstico**

##### **4.1.1. Determinación de la superficie cosechada de naranja**

El uso de cítricos está presente en diferentes industrias, desde el consumo fresco a la producción de jugos procesados. En 2019, se reportó una producción mundial de 143.8 millones de toneladas de cítricos, de los cuales el 53% correspondió a la naranja (FAO, 2021). Sus residuos son importantes debido a su potencial aprovechamiento como materia prima en otros procesos industriales.

Los subproductos generados a partir de la industria de la naranja son una fuente rica de compuestos bioactivos, incluidos los aceites esenciales, la pectina y los antioxidantes solubles e insolubles en agua. Para el año 2021 la producción de naranja en México fue de 4,646,344 t, con 347,645 ha sembradas y 334,715 ha cosechadas (SIAP, 2021).

Según datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el 85% de la producción agrícola en Baja California se concentra en la región de Mexicali. En contraste, los valores de producción en Tijuana y Playas de Rosarito son mínimos. Para ilustrar esta disparidad, se elaboró la Figura 28, que exhibe las series históricas de la superficie cosechada de naranja en Mexicali y Ensenada desde 2011 hasta 2021 (SIAP, 2021).

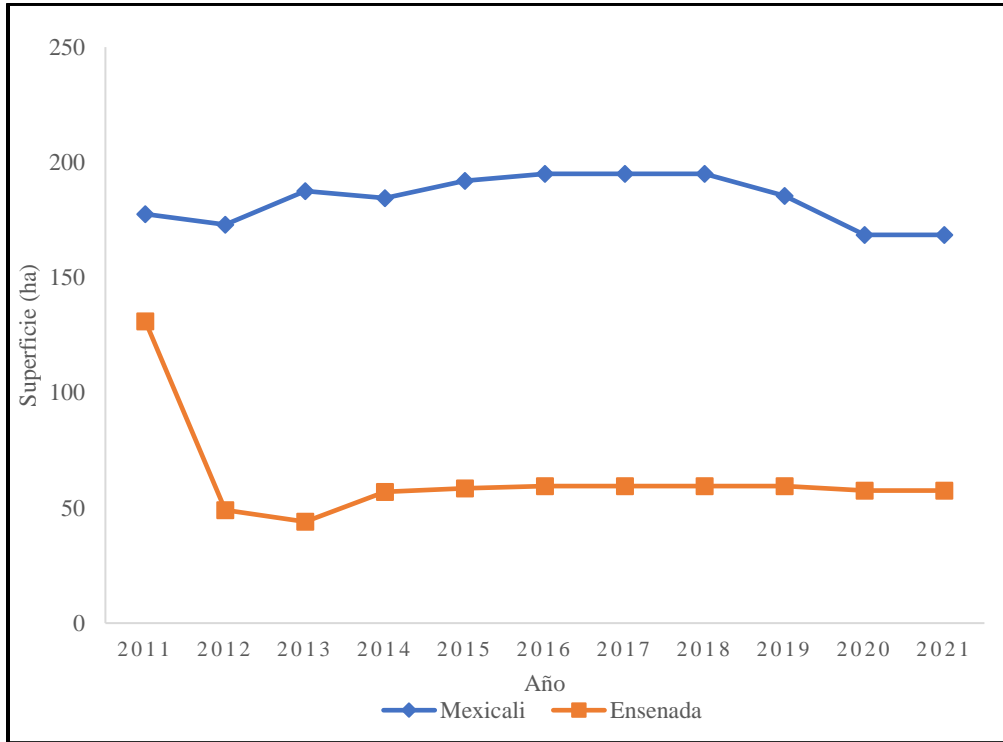


Figura 28. Superficie cosechada de naranja en Mexicali y Ensenada 2011-2021 (Elaboración propia con datos del SIAP, 2021)

#### 4.1.2. Empresas productoras de jugo de naranja en Mexicali

En la Tabla 13 se organizaron los comercios de acuerdo con su actividad económica y el número de empleados.

Tabla 13. Establecimientos comerciales generadores de productos a base de naranja

Actividad económica	Cantidad de personas que trabajan en el establecimiento					N° de establecimientos
	0- 5 personas	6 - 10 personas	11- 30 personas	51 - 100 personas	251- más personas	

Cafeterías, fuentes de sodas, neverías, refresquerías y similares	106	10	3	0	0	119
Comercio al por mayor de bebidas no alcohólicas y hielo	3	1	1	2	0	7
Congelación de frutas y verduras	0	0	0	0	1	1
Elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas	1	1	0	0	1	3
<b>Total</b>	<b>110</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>130</b>

De la Tabla 13 se observa que el 91% de los establecimientos generadores de jugo de naranja hacen parte de la actividad económica “Cafeterías, fuentes de sodas, neverías, refresquerías y similares”. En cuanto al número de trabajadores, el 84.60% de los comercios cuentan con máximo 5 personas trabajando.

#### 4.1.3. Sondeo a posibles generadores de cáscara de naranja

En la Tabla 14 se muestran los resultados del primer acercamiento a algunos establecimientos comerciales. En el transcurso del ejercicio se omitieron algunas preguntas debido a la cantidad de clientes del local o el tiempo de la persona atendiendo. Finalmente se observó que la cantidad de naranjas utilizadas varía mucho en todos los establecimientos. Adicionalmente, el 33 % de los comercios visitados entregan las cáscaras de naranja para su aprovechamiento.

Tabla 14. Resultados del sondeo a comercios

Establecimiento	¿Tiene productos hechos a base de naranja?	¿Aquí se procesa la naranja?	¿Aproximadamente cuántos kilogramos de naranja utilizan en un día?	¿Qué hace con la cáscara de naranja?
La michoacana	Sí	Sí	22 kg	Se tira
Lindo Michoacán	No	--	--	--
La estación	No	--	--	--
Mercado Angelina	No	--	--	--
Puesto	Sí	Se trae listo	2 kg	La entregan para aprovechamiento

El Brunch	Sí	tabla	1 kg	Se tira
Kithacaló	Sí	Sí	15 kg cada 3 semanas	Se tira
Shenys	Sí	Sí	Entre 30 y 44 kg	La entregan para aprovechamiento
Metro Café	Sí	Sí	7 kg	Se tira
Haz tu jugo	Sí	Sí	60 kg	Se tira

#### 4.1.4. Análisis de la información obtenida por las encuestas

En este proyecto, se seleccionaron 143 establecimientos comerciales para la aplicación del instrumento de recolección, de los cuales 107 no son generadores de CN por lo que no fueron incluidos dentro de los resultados de este trabajo. En la Figura 29 se observan los establecimientos comerciales iniciales y su ubicación en la ciudad de Mexicali.

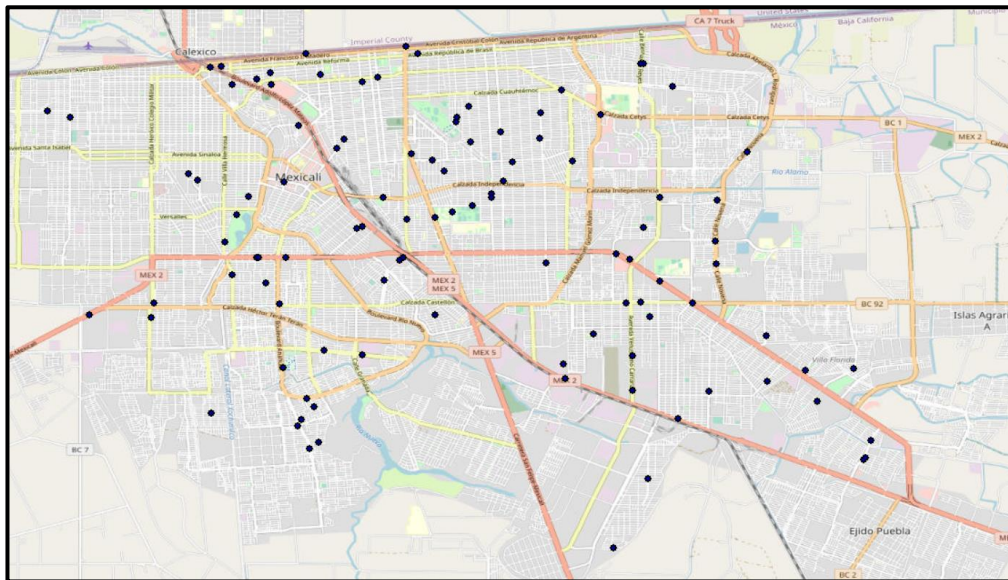


Figura 29. Muestra inicial de establecimientos comerciales (elaboración propia).

A través de las encuestas se identificó que 37 establecimientos procesan 5,054.06 kg de naranjas al día en Mexicali. Al momento de realizar las encuestas, se evidenció que, para algunos establecimientos, la dirección no coincidía con la proporcionada por el DENUE. Además de esto, en la lista final de establecimientos generadores de CN se incluyeron comercios que no estaban en

los registros anteriores. Por esta razón, se creó una nueva tabla con las nuevas coordenadas para ser incluidas en el programa.

Se generó el mapa de establecimientos generadores de CN en Mexicali, como se observa en la Figura 30. En este mapa, los comercios que tienen productos a base de naranja están resaltados en color rojo.

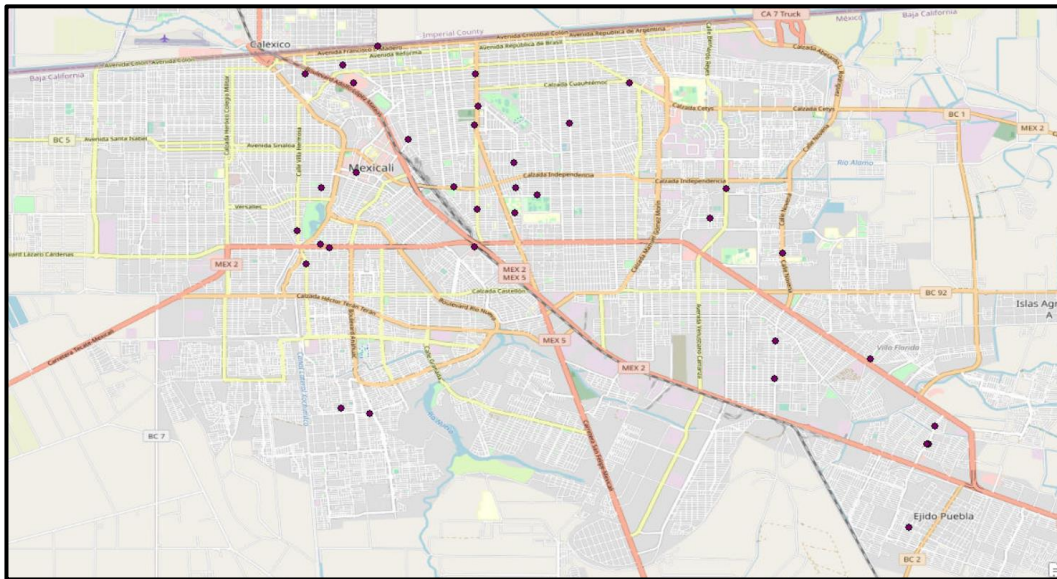


Figura 30. Establecimientos generadores de CN en Mexicali (elaboración propia).

#### 4.1.5. Estimación de la cáscara de naranja residual

Al aplicar la ecuación 6 con la demanda de naranja para Mexicali calculada con la ecuación 5 para 3 posibles casos se obtiene la Tabla 15:

Tabla 15. Estimación de CN residual para Mexicali

	Estimación de la CN residual		
	Dn (kg)	k	CN (kg)
Caso 1	35,692,928	23	8,209,373.44
Caso 2	35,692,928	27	9,637,090.56
Caso 3	35,692,928	40	14,277,171.20

En el panorama con mayor generación de CN, se desechan 14,277,171 kg CN al año en Mexicali. Con este proyecto se identificó que los establecimientos comerciales utilizan 5,054.06 kg de

naranjas al día. Tomando la afirmación de (FEN, 2018) de que la porción no comestible de la naranja equivale al 27% sin contar la médula central.

$$Cr = Dn * k \text{ (Ecuación 6)}$$
$$Cr = 5,054.06 \text{ kg} * 0.27$$
$$Cr = 1,364.59 \text{ kg}$$

Con esta ecuación se calculó que al día se llevan al relleno sanitario de Mexicali aproximadamente 1,364.59 kg de CN generada por establecimientos comerciales.

#### **4.1.6. Distribución de la generación de cáscara de naranja en establecimientos comerciales en Mexicali**

Los comercios encuestados tienen diferentes productos a base de naranja, por lo que la demanda en el uso de naranja varía. De la Tabla 16, podemos afirmar que el 97% de la generación de CN en Mexicali se encuentra en los primeros 16 establecimientos, siendo "Haz tu jugo de juventud 2000" el generador de más del 50% de la CN en establecimientos comerciales, con aproximadamente 810 kg/día.

Tabla 16. Distribución de generación de CN en Mexicali

Número	Nombre del establecimiento comercial	CN (kg/día)	Porcentaje (%)
1	Haz tu jugo juventud 2000	3,000	59.36
2	Aguas Vela	700	13.85
3	Haz tu jugo Cetys	288	5.70
4	Haz tu jugo Lázaro Cárdenas	216	4.27
5	Pachamama del desierto Colón	123	2.43
6	Jugos naturales	100	1.98
7	Juice Bar nuevo Mexicali	90	1.78
8	Haz tu jugo UABC	60	1.19
9	La vid jugos y sándwiches	60	1.19
10	Pachamama del desierto Carranza	58	1.15
11	La toronja	45	0.89
12	Ensaladas y jugos Shenys	44	0.87
13	Jugos del poder	36	0.71
14	La juguetería	30	0.59
15	Jugos Pakos	30	0.59
16	Jugosa	27	0.53
17	Iván jugos y ensaladas	27	0.53
18	La michoacana Plaza cachanilla	22	0.44
19	Jugos, tortas y licuados "Los originales"	15	0.30
20	La juguetería	12	0.24
21	Jugos Bamoa	10	0.20
22	Lactuca	8	0.16
23	La nueva Michoacana	8	0.16
24	Metro Café	7	0.14
25	Manzanary	6	0.12
26	La aljaba	6	0.12
27	Jugos Danis	5	0.10
28	Aguas frescas del Isha	4	0.08
29	Palettería y nevería la nueva michoacana	4	0.08
30	Palettería y nevería la nueva michoacana	3	0.06
31	Palettería y nevería la nueva michoacana	3	0.06
32	Chianti café	3	0.06
33	Kitahcaló Independencia	1	0.02
34	La nueva michoacana	1	0.02
35	Frutal Justo Sierra	0.90	0.02
36	Sweet tea	0.60	0.01
37	Raspados Gus & Gus	0.50	0.01

#### 4.1.7. Cambios en la generación de cáscara de naranja

La Tabla 17 muestra los cambios en la generación de CN según la estación del año para todos los casos, con excepción de "Haz tu jugo juventud 2000", al cual se le realizó una segunda visita por inconsistencias al tabular los resultados.

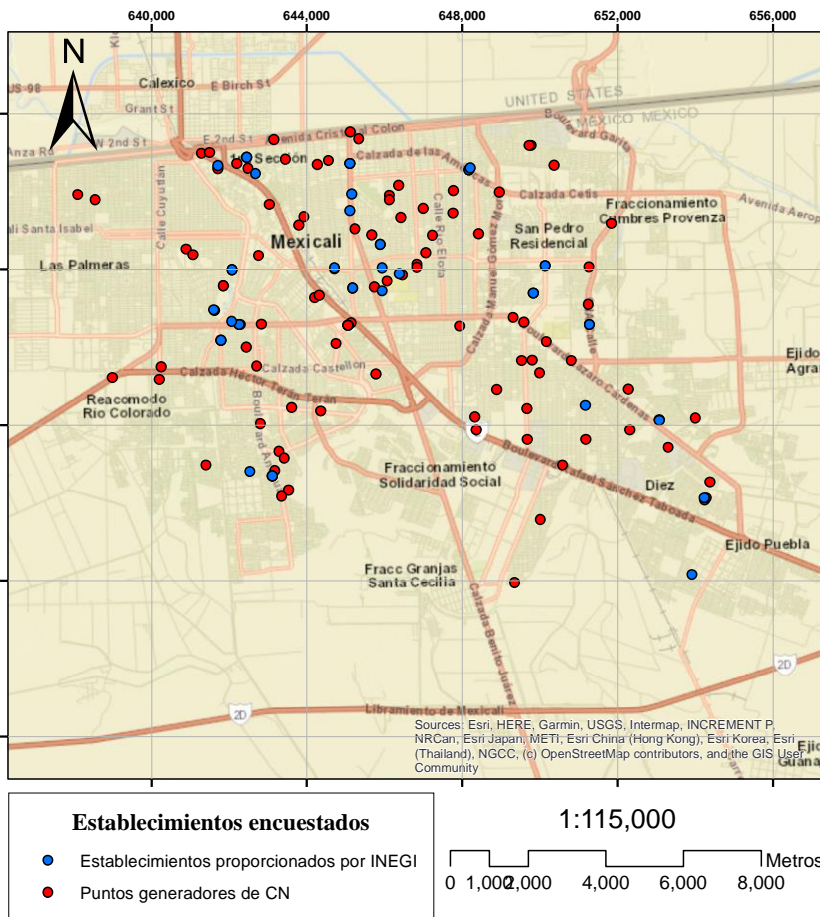
Tabla 17. Actualización de la generación de CN

Nombre del establecimiento comercial	CN anterior (kg/día)	CN actual (kg/día)	Porcentaje de variación
Aguas Vela	81	189	133.33%
Haz tu jugo UABC	27	97.20	260.00%
Haz tu jugo Juventud 2000	810	77.76	-90.40%
La michoacana Plaza Cachanilla	5.94	8.64	45.45%
Metro Café	1.89	4.05	114.29%
Kitahcaló Independencia	0.27	0.54	100.00%

Según la Tabla 17, se puede observar que, a excepción de “Haz tu jugo Juventud 2000”, que se identifica como un error en los datos proporcionados en la primera encuesta, todos los establecimientos encuestados aumentaron su generación de CN para el verano en comparación con el invierno. El menor incremento se registró en “La Michoacana Plaza Cachanilla”, con un 45.45%, mientras que en el caso de “Haz tu jugo UABC”, se observó un aumento del 260%.

#### 4.2. Creación de mapa de los establecimientos generadores de cáscara de naranja en Mexicali

En la Figura 31, en color rojo se destacan los puntos que forman parte de la ruta de recolección de CN, acompañados de su respectiva generación en kilogramos. En contraste, se aprecian los puntos encuestados que no generaban CN en Mexicali, representados en color azul.



Generación de CN en Mexicali

Información cartográfica  
 Proyección: UTM Zona 11N  
 Datum: WGS 84  
 Cuadrícula: UTM cada 4,000 m.



Figura 31. Mapa de comparación de datos proporcionados por DENUE y puntos de generación (elaboración propia).

#### 4.2.1. Posibles escenarios para la recolección de cáscara de naranja

Para el primer escenario se propuso crear una ruta con todos los establecimientos generadores de CN como lo muestra la Tabla 18.

Tabla 18. Primer escenario de establecimientos para ruta de recolección

Número	Nombre del establecimiento comercial	CN (kg/día)	Porcentaje (%)	Número	Nombre del establecimiento comercial	CN (kg/día)	Porcentaje (%)
1	planta de tratamiento UABC		0.00	20	Haz tu jugo Lázaro Cárdenas	58.32	8.16
2	Haz tu jugo UABC	97.20	13.60	21	Jugosa	7.29	1.02
3	Metro Café	4.05	0.57	22	Aguas frescas del Isha	1.08	0.15
4	Raspados Gus & Gus	0.08	0.01	23	Jugos naturales	27	3.78
5	Manzanary	1.62	0.23	24	La michoacana Plaza cachanilla	8.64	1.21
6	Ensaladas y jugos Shenys	11.88	1.66	25	Pachamama del desierto Colón	33.21	4.65
7	Kitahcaló Independencia	0.54	0.08	26	La vid jugos y sándwiches	16.20	2.27
8	La nueva Michoacana	2.16	0.30	27	Jugos, tortas y licuados “Los originales”	4.05	0.57
9	Aguas Vela	189	26.45	28	Haz tu jugo juventud 2000	77.76	10.88
10	Jugos Bamoa	2.70	0.38	29	Paletería y nevería la nueva michoacana	1.08	0.15
11	Chianti café	0.27	0.04	30	Paletería y nevería la nueva michoacana	0.81	0.11
12	Lactuca	2.16	0.30	31	Juice Bar nuevo Mexicali	24.30	3.40
13	Frutal Justo Sierra	0.16	0.02	32	Paletería y nevería la nueva michoacana	0.81	0.11
14	Pachamama del desierto Carranza	15.66	2.19	33	La juguetería	8.10	1.13
15	Jugos del poder	9.72	1.36	34	La nueva michoacana	0.24	0.03
16	La toronja	12.15	1.70	35	La Aljaba	1.62	0.23
17	Haz tu jugo Cetys	77.76	10.88	36	Jugos Pakos	8.10	1.13
18	Sweet tea	0.14	0.02	37	Jugos Danis	1.35	0.19
19	Iván jugos y ensaladas	7.29	1.02				

El segundo escenario propone la creación de una ruta de recolección con los primeros 18 establecimientos generadores de CN. Según se muestra en la Tabla 19, al tomar la mitad de los negocios se obtiene el 96.77% de la generación de CN en todo Mexicali, lo que equivale a 0.6 toneladas de CN.

Tabla 19. Segundo escenario de establecimientos para ruta de recolección

Nombre del establecimiento comercial	Cáscara (kg)	Porcentaje
Aguas Vela	189	26.52%
Haz tu jugo UABC	97.20	13.64%
Haz tu jugo juventud 2000	77.76	10.91%
Haz tu jugo Cety's	77.76	10.91%
Haz tu jugo Lázaro Cárdenas	58.32	8.18%
Pachamama del desierto Colón	33.21	4.66%
Jugos naturales	27	3.79%
Juice Bar nuevo Mexicali	24.30	3.41%
La vid jugos y sándwiches	16.20	2.27%
Pachamama del desierto Carranza	15.66	2.20%
La toronja	12.15	1.70%
Ensaladas y jugos Shenys	11.88	1.67%
Jugos del poder	9.72	1.36%
La michoacana Plaza cachanilla	8.64	1.21%
La juguetería	8.10	1.14%
Jugos Pakos	8.10	1.14%
Iván jugos y ensaladas	7.29	1.02%
Jugosa	7.29	1.02%
<b>Total</b>	<b>689.58</b>	<b>96.77%</b>

El tercer escenario consiste en seleccionar los primeros 10 establecimientos generadores de CN, los cuales representan el 86.5% de la generación de CN en la ciudad. Esto implicaría la recolección de aproximadamente 0.6 toneladas de CN al día al implementar esta ruta. Este escenario se presenta en la Tabla 20.

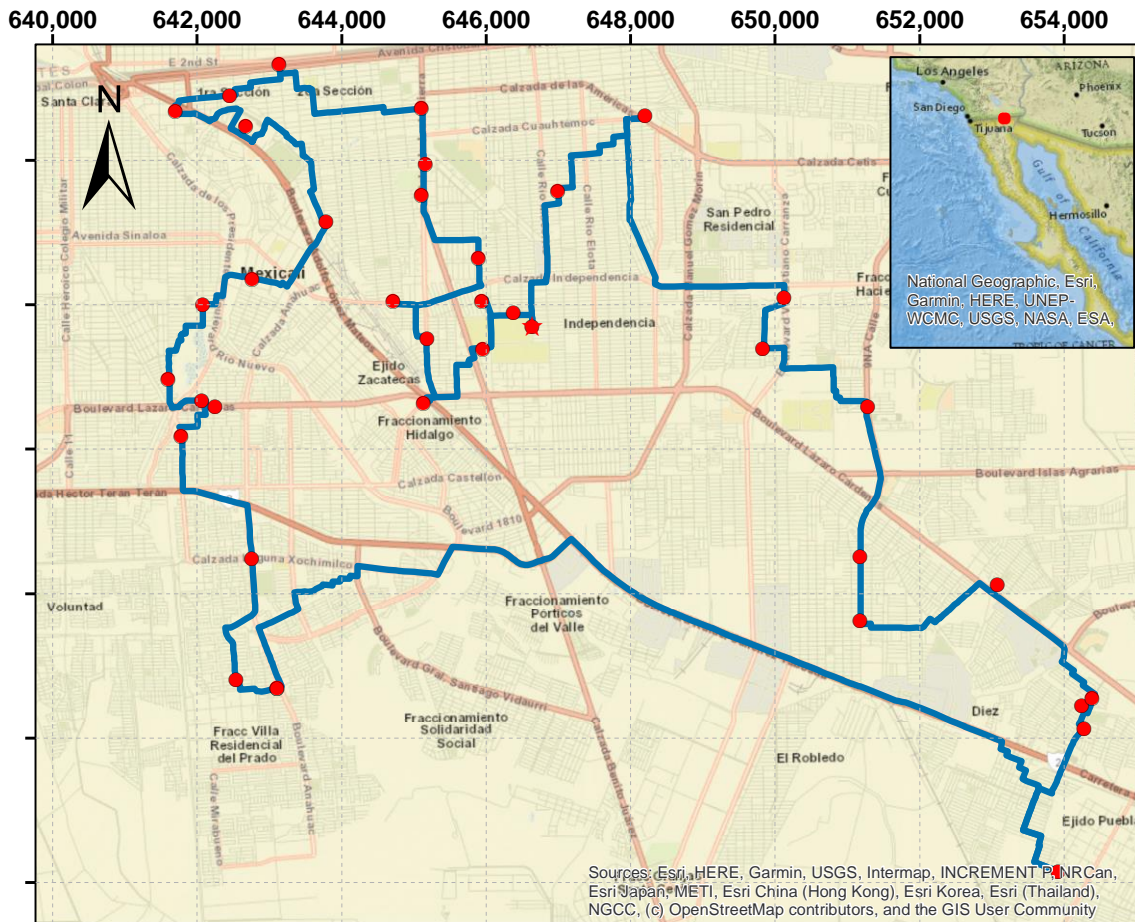
Tabla 20. Tercer escenario de establecimientos para ruta de recolección

Nombre del establecimiento comercial	CN (kg)	Porcentaje
Aguas Vela	189	26.52%
Haz tu jugo UABC	97.20	13.64%
Haz tu jugo juventud 2000	77.76	10.91%
Haz tu jugo Cety's	77.76	10.91%
Haz tu jugo Lázaro Cárdenas	58.32	8.18%
Pachamama del desierto Colón	33.21	4.66%
Jugos naturales	27	3.79%
Juice Bar nuevo Mexicali	24.30	3.41%
La vid jugos y sándwiches	16.20	2.27%
Pachamama del desierto Carranza	15.66	2.20%
<b>Total</b>	<b>616.41</b>	<b>86.50%</b>

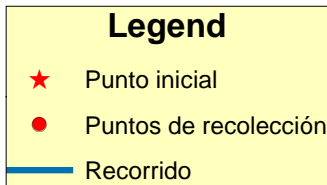
#### 4.2.2. Rutas de recolección de cáscara de naranja

La aplicación de los cambios a los tramos en la ruta de recolección dio como resultado 3 rutas optimizadas:

Ruta 1: Esta ruta se puede apreciar en la Figura 32 y abarca un recorrido de 70.60 km. Incluye 36 puntos de generación en Mexicali y 1 punto de partida. Al aplicarla, se recolectaría un total de 714.50 kg de CN al día.



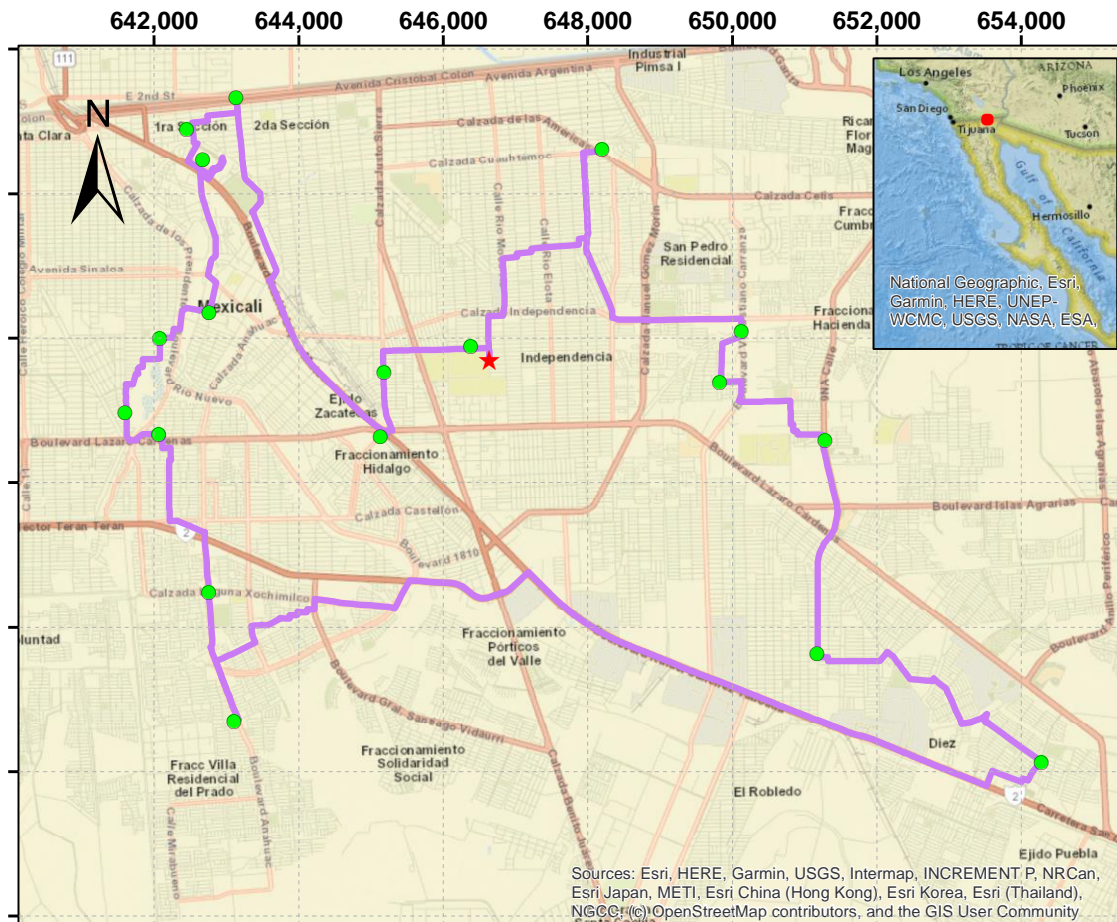
1:80,000



Información Cartografica  
 Proyección: UTM zona 11N  
 Datum: WGS 84  
 Cuadrícula UTM Cada 2000 m

Figura 32. Mapa de la ruta 1 (elaboración propia).

Ruta 2: Esta ruta tiene un recorrido de 56.20 km, visitando 18 establecimientos generadores de CN. Al aplicar esta ruta, se recolectarían 689.50 kg de CN, lo que equivale al 96.77% de la generación total de CN en Mexicali. La representación visual de la ruta se puede observar en la Figura 33.



1:80,000



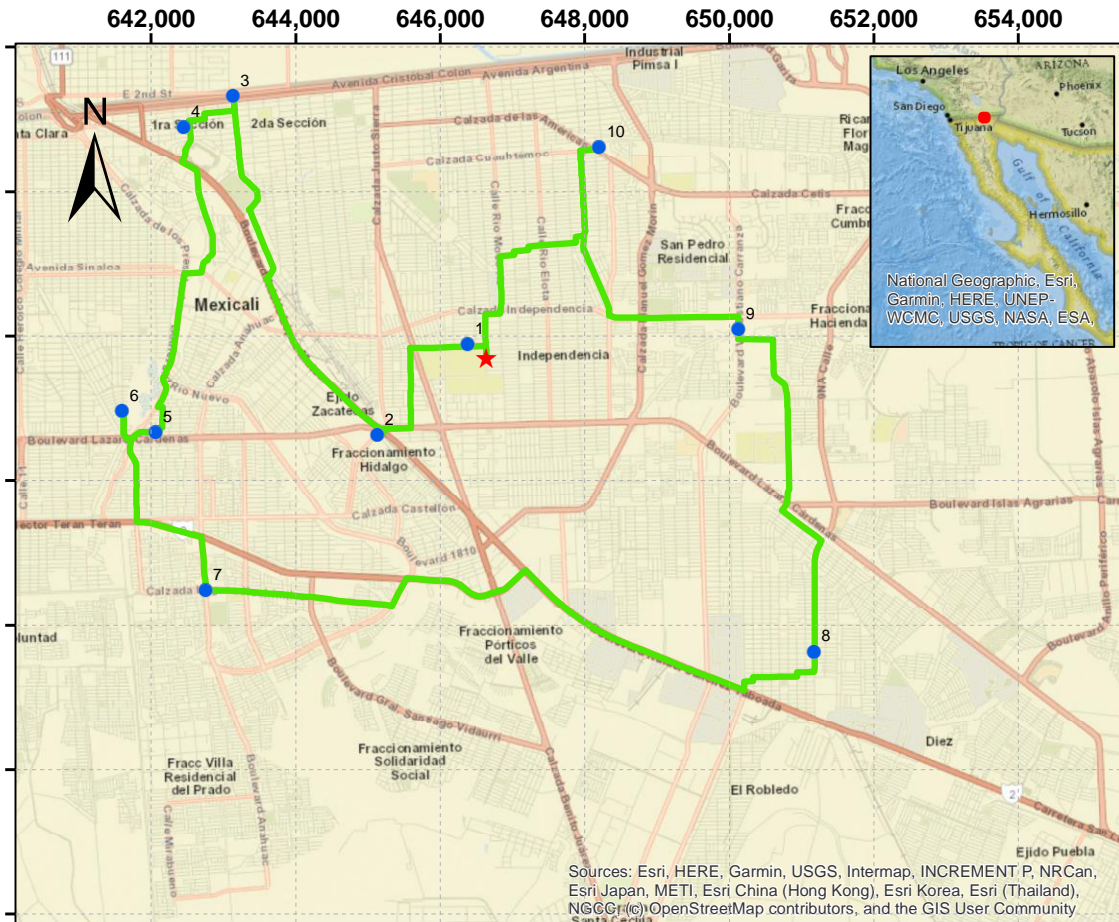
**Legenda**

- ★ Punto inicial
- Puntos de recolección
- Recorrido

**Información Cartografica**  
 Proyección: UTM zona 11N  
 Datum: WGS 84  
 Cuadrícula UTM Cada 2000 m

Figura 33. Mapa de la ruta 2 (elaboración propia).

Ruta 3: se puede observar en la Figura 34, consta de 43.20 km y recorre 10 puntos generadores de CN recolectando 616.41 kg de cáscara en un día, el equivalente al 85.50% de la generación total de CN en la ciudad.



1:80,000



**Leyenda**

- ★ Punto inicial
- Puntos de recolección
- Recorrido

**Información Cartografica**  
 Proyección: UTM zona 11N  
 Datum: WGS 84  
 Cuadrícula UTM Cada 2000 m

Figura 34. Mapa de la ruta 3 (elaboración propia).

### 4.2.3. Ruta optimizada con la Aplicación del TSP mediante la herramienta

#### *Solver*

La herramienta *Solver* encontró la combinación de los puntos que dio como resultado la ruta óptima con respecto a distancia, la cual fue de 70.55 km para el caso de visitar los 36 establecimientos como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21. Ruta óptima Solver 37 puntos

Establecimientos	Distancia (km)	Establecimientos	Distancia (km)
1		25	1.09
2	0.49	13	2.7
3	0.92	11	0.81
7	1.76	10	0.53
6	0.96	5	1.54
9	1.14	4	0.66
28	4.29	8	2.51
33	1.92	17	2.19
30	0.71	14	4.62
22	3.85	16	0.92
18	0.92	21	2.3
20	0.30	32	3.58
23	0.87	34	2.43
19	1.47	35	0.39
15	1.08	36	0.40
12	1.62	37	2.88
24	2.59	31	5.75
27	1.63	29	0.89
26	0.91	1	6.92
<b>Total</b>		<b>70.56</b>	

La ruta presentada coincide con la propuesta en la Figura 32, cubriendo un trayecto de 70.56 km. Se compone de 36 puntos de generación en Mexicali y un punto de partida. Al emplearla en la recolección de CN, se obtiene una cantidad diaria de 714.50 kg.

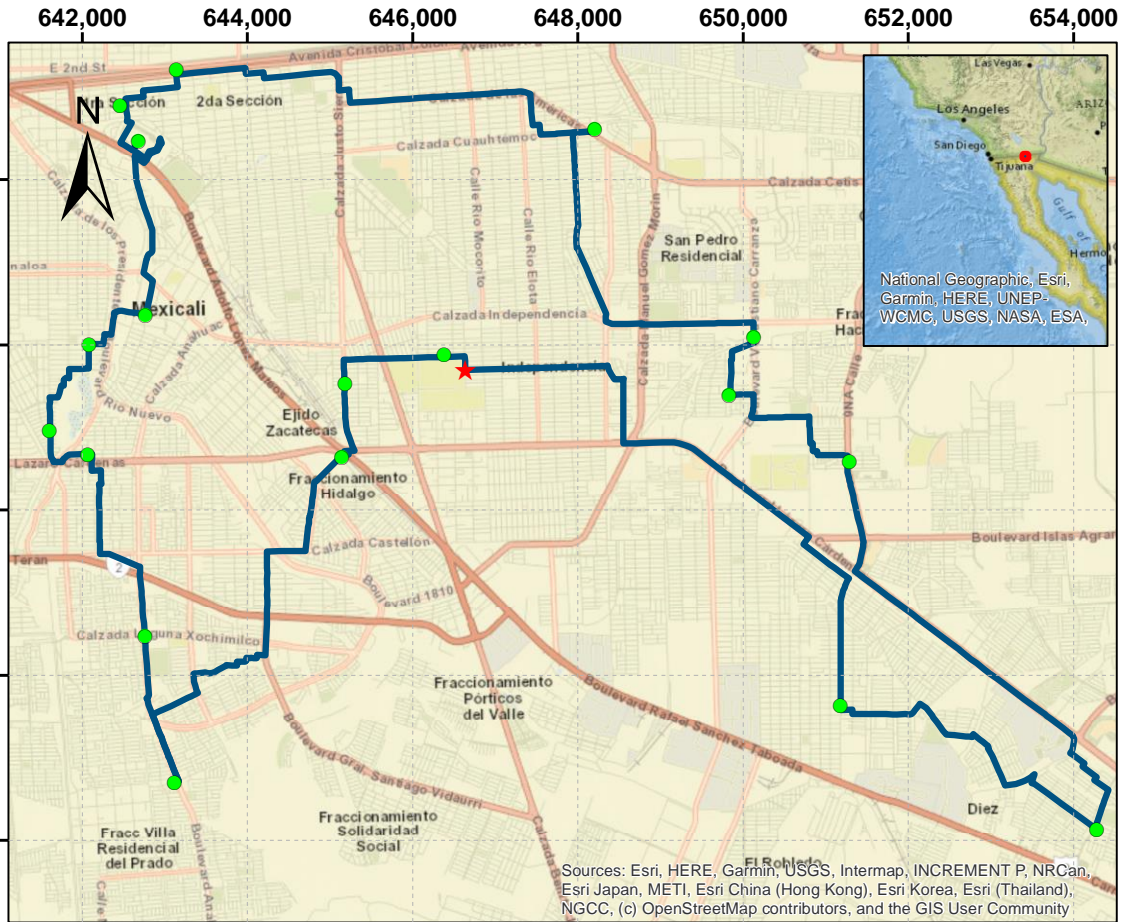
Para el caso de la recolección de CN en 18 establecimientos comerciales, se muestra en la Tabla 22 la ruta con la distancia optimizada proporcionada por *Solver*, la cual abarca una distancia de

54.47 km y se recolectarían 689.50 kg de CN. Se repitió el mismo proceso para la ruta de 10 establecimientos, la herramienta *Solver* encontró una ruta con una distancia de 36.83 km como se muestra en la Tabla 23. La Figura 36 muestra esta ruta en el mapa de Mexicali.

*Tabla 22. Ruta óptima Solver 18 puntos*

<b>Establecimientos</b>	<b>Distancia (km)</b>
1	
31	7.79
36	4.20
21	6.16
16	2.30
14	0.92
17	4.62
25	6.09
26	1.09
24	0.93
15	3.24
19	1.08
23	1.47
20	0.87
28	2.78
33	1.92
9	5.83
6	1.14
2	1.54
1	0.49
<b>Total</b>	<b>54.47</b>

La ruta optimizada por *Solver* para 18 puntos se puede observar en la Figura 35.



1:70,000



**Leyenda**

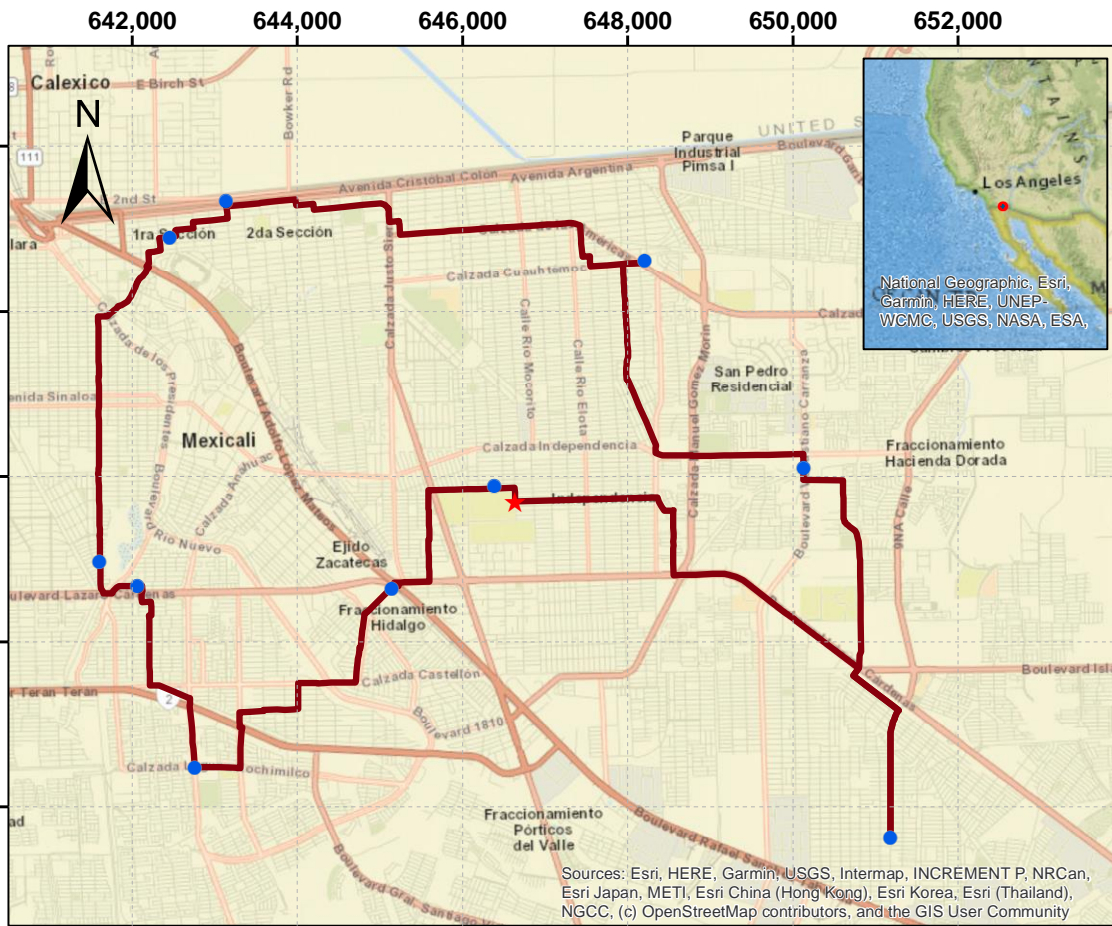
- ★ Punto inicial
- Puntos de recolección
- Ruta 18 Solver

**Información Cartografica**  
 Proyección: UTM zona 11N  
 Datum: WGS 84  
 Cuadrícula UTM Cada 2000 m

Figura 35. Ruta optimizada por Solver 18 puntos (elaboración propia).

Tabla 23. Ruta óptima Solver 10 puntos

<b>Establecimiento</b>	<b>Distancia (km)</b>
1	0
2	0.49
9	2.55
28	4.29
20	2.78
23	0.87
26	4.55
25	1.09
17	6.09
14	4.62
31	5.34
1	4.16
<b>Total</b>	<b>36.83</b>



1:70,000



<p><b>Leyenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★ Punto inicial</li> <li>● Puntos de recolección3</li> <li>— RUTA 3 SOLVER</li> </ul>	<p><b>Información Cartografica</b>          Proyección: UTM zona 11N          Datum: WGS 84          Cuadrícula UTM Cada 2000 m</p>
--	---

Figura 36. Ruta optimizada por Solver 10 puntos (elaboración propia).

#### 4.2.4. Consumo de gasolina y emisiones de CO<sub>2</sub> por ruta de recolección

Las rutas detalladas en la Tabla 24 representan las rutas óptimas identificadas por el *Solver*, considerando que cada trayecto se lleva a cabo utilizando un vehículo Ford F-150. En esta tabla se proporcionan datos sobre el consumo de gasolina, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el costo económico asociado al uso de combustible en Mexicali para mayo del 2024.

Tabla 24. Consumo de gasolina y emisiones de CO<sub>2</sub>

	<b>Distancia (km)</b>	<b>Consumo de gasolina (l)</b>	<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (g)</b>	<b>Valor (MXN)</b>
<b>Ruta 1</b>	70.50	10.36	24,046.56	214.21
<b>Ruta 2</b>	54.47	8.01	18,578.95	165.51
<b>Ruta 3</b>	36.86	5.42	12,572.43	112.00

Se determinó que la ruta 2 es la opción más eficiente para la recolección debido a que reúne el 96.77 % de la CN generada en Mexicali y basándonos en la Tabla 24 que muestra las emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo de gasolina y los costos asociados.

Se realizó una comparación con el peor escenario de recolección de estos 18 puntos al seguir un orden numérico (Tabla 25) y la ruta 2 optimizada por *Solver*. Los resultados de esta comparación se presentan en la Tabla 26.

Tabla 25. Peor escenario para 18 puntos

Establecimiento	Distancia(km)
1	10.90
2	0.49
9	1.54
14	1.14
17	5.75
20	7.77
23	8.20
25	5.06
26	7.82
28	1.78
31	9.91
23	10.64
24	5.01
25	1.67
26	1.09
28	7.04
31	9.85
33	11.33
1	8.44
<b>Total</b>	<b>115.43</b>

Tabla 26. Comparación consumo de gasolina y emisiones de CO<sub>2</sub> para 18 puntos

	Distancia (km)	Consumo de gasolina (l)	Emisiones CO <sub>2</sub> (g)	Valor (MXN)
<b>Ruta 2 (Solver)</b>	54.47	8.01	18,578.95	165.51
<b>Peor escenario</b>	115.43	16.97	39,371.54	397.31

### 4.3. Almacenamiento

Se entregarán bolsas de plástico verde biodegradables a los establecimientos generadores de cáscara de naranja (CN) para su almacenamiento y transporte, adaptadas a la capacidad de carga del vehículo asignado. Una vez transportados estos residuos a la planta de tratamiento de la UABC, se transferirán a contenedores herméticos que llevarán los residuos desde el vehículo hasta su lugar de transformación y aprovechamiento.

Los contenedores herméticos, de color verde como se muestra en la Figura 37, están específicamente designados para almacenar los 689.50 kg de CN y gestionar residuos orgánicos de manera eficiente.



*Figura 37. Contenedor hermético (Plastic pallet, 2024)*

#### **4.4. Aprovechamiento**

El Laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos se encuentra en una etapa avanzada en el desarrollo de una Biorefinería de CN. Actualmente, se está llevando a cabo la extracción de aceite esencial de la cáscara de naranja, que permite la creación de una amplia gama de productos de valor agregado (Figura 38). Entre estos productos destacan biopesticidas que potencian la repelencia y mortalidad de plagas, así como un champú antipediculicida y un gel antibacterial. Además, el laboratorio utiliza la cáscara de naranja para la producción de bioetanol.



*Figura 38. Productos de valor agregado producidos en el Laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos con CN*

## CAPÍTULO V

### 5. Discusión de Resultados

Este estudio formuló un plan de gestión integral de cáscara de naranja (PGICN) en el cual se realizó un diagnóstico de la generación de CN por parte de establecimientos comerciales en Mexicali, se evaluó el impacto de diferentes vías de transporte alternativas para los residuos de CN, explorando distintos escenarios. Se crearon dos rutas para cada uno de estos escenarios: la primera unía los tramos con la menor distancia utilizando QGIS, mientras que la segunda aplicaba el TSP mediante la herramienta *Solver* de Excel, permitiendo una programación abierta. En los tres escenarios analizados, se seleccionó la ruta optimizada por *Solver* debido a que en todos los casos la distancia del recorrido fue igual o menor. De estas rutas, se consideró que la segunda era la mejor opción. Esta ruta atraviesa 18 establecimientos en 54 km, emitiendo 18,578.95 g de CO<sub>2</sub> y recolectando 689.50 kg de CN, lo que representa el 96.77% de la generación total de la ciudad. Por otro lado, la tercera ruta cubre 10 puntos de generación de CN en 36.83 km, equivalente al 85.50% de la generación total de CN en la ciudad, dejando aproximadamente el 15% de los residuos generados por los establecimientos sin recolectar.

Al contrastar la ruta original que sigue los 18 puntos de generación de CN con la ruta 2 optimizada mediante *Solver*, se identifica una reducción significativa del 59.23% en la distancia de recolección, lo que también se traduce en una disminución en el consumo de gasolina y en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Actualmente, la industria alimentaria está investigando posibles compensaciones entre el transporte para facilitar la valorización y la reducción del desperdicio de alimentos, y el alto impacto climático en el medio ambiente (Weber et al., 2023; Bottani et al., 2018). Una vez transportado el residuo, se destina a su aprovechamiento, convirtiéndose en materia prima para la producción de productos de alto valor agregado.

Los procesos de la industria de la naranja, además del producto deseado, generan subproductos y residuos. Cada uno de estos puede servir para consumo humano, animal y aplicación industrial, lo que podría generar beneficios económicos (Castro et al., 2020). Sin embargo, la sustentabilidad en el proceso de los productos de naranja debería ofrecer una forma de diferenciarse en los mercados. Al reducir el consumo de combustible en las rutas de distribución, se disminuyen los gastos de las empresas, ya que se optimizan las distancias de los recorridos (Ghisellini et al., 2016).

Se cree que la logística inversa es una de las más soluciones prometedoras para capturar los valores restantes de productos usados y ha sido ampliamente enfocado tanto por académicos como por profesionales durante las últimas dos décadas. Se ha desarrollado un marco conceptual, programación matemática y algoritmos computacionales para la toma de decisiones a niveles estratégico, táctico y operativo de una cadena de suministro inversa (Yu & Deng, 2016).

## **6. Conclusiones**

Se diseñó un plan de gestión integral de residuos de naranja que comprende siete etapas: diagnóstico, separación en la fuente, recolección, transporte, clasificación, almacenamiento y aprovechamiento.

En relación con el diagnóstico, se encontró que el 85% de la producción de naranja en Baja California se concentra en Mexicali, con 190 hectáreas sembradas y 230 hectáreas cosechadas. Sin embargo, el consumo de naranja en Mexicali supera ampliamente a su producción en un 1,385%.

Se identificaron y mapearon 130 establecimientos comerciales para recabar información sobre la generación de CN en Mexicali y su destino final. Al aplicar el instrumento en estos establecimientos, se descubrió que sólo el 26.92% generan este tipo de residuo.

De los 130 establecimientos seleccionados, sólo 37 fueron identificados como generadores de cáscara de naranja, con una producción diaria conjunta de aproximadamente 714.50 kg. Se destaca que el 96.77% de esta producción proviene de 18 establecimientos.

El proyecto logró cumplir con el objetivo de proponer rutas de recolección de CN en Mexicali utilizando el software QGIS. La metodología utilizada integró datos geoespaciales, identificó puntos estratégicos y utilizó herramientas como *Solver* en Excel para diseñar rutas optimizadas. QGIS fue fundamental en la planificación y creación de estas rutas eficientes, permitiendo una toma de decisiones informada durante todo el proceso.

El Problema de optimización combinatoria del viajante de comercio (TSP) se presentó como una solución óptima para la optimización de rutas en la recolección de cáscara de naranja. Al enfocarse en encontrar la ruta más corta que visitara cada punto una vez y regresara al punto de inicio, el TSP garantizó que el recolector cubriera la menor distancia posible. Esto minimizó el tiempo necesario para completar la recolección y el consumo de combustible, resultando en un ahorro económico y una menor huella de carbono. Además, una ruta más corta redujo el desgaste del vehículo, prolongando su vida útil y disminuyendo los gastos de mantenimiento. La eficiencia operacional se incrementó, permitiendo a los recolectores maximizar su productividad y cubrir más puntos de recolección en menos tiempo. El modelo TSP, adaptable y flexible, pudo ajustarse a cambios en el número de puntos de recolección, distancias entre ellos y otras restricciones logísticas. El *Solver* de Excel, fue posible obtener soluciones cercanas al óptimo en un tiempo razonable, facilitando la implementación práctica del TSP en operaciones reales.

Al analizar las rutas optimizadas, se determinó que no es necesario cubrir todos los establecimientos para obtener una cantidad suficiente de cáscara de naranja. Se propone visitar 18 puntos estratégicos de generación de CN, adoptando la ruta 2 optimizada con el TSP y *Solver* que consiguió una reducción del 59.23% en la distancia total de recolección en contraste con una ruta que sigue el orden numérico de los 18 puntos de recolección. Esta optimización se traduce en una disminución del consumo de gasolina, en las emisiones de CO<sub>2</sub>, y genera un ahorro diario de 231.80 MXN.

El almacenamiento y aprovechamiento de la cáscara de naranja (CN) deben realizarse en un plazo máximo de 24 horas, ya que su rendimiento en la extracción de aceite esencial disminuye con el tiempo. Es fundamental considerar que la biorrefinería del Laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos produce diversos productos que dependen del aceite esencial de CN. Actualmente,

este laboratorio opera a pequeña escala; sin embargo, esta investigación abre la posibilidad de aumentar la producción existente y explorar nuevas áreas de aprovechamiento de este residuo.

En este proyecto se trabajó la logística inversa al centrarse en la recolección eficiente para un aprovechamiento sustentable de los residuos de cáscaras de naranja, contribuyendo así a reducir el impacto ambiental y promover prácticas más sustentables en la gestión de residuos.

Basados en los hallazgos y resultados obtenidos en este plan de gestión integral de residuos de naranja en Mexicali, es evidente que este enfoque puede ser replicado con éxito en otras ciudades y con diferentes tipos de residuos agrícolas. La metodología empleada, que abarca desde el diagnóstico inicial hasta la implementación de rutas optimizadas utilizando técnicas como el TSP, *Solver* y QGIS, proporciona un marco sólido y adaptable para la gestión eficiente de residuos. La identificación de puntos estratégicos de generación de residuos, la planificación de rutas optimizadas y el uso de herramientas geoespaciales y de optimización brindan un enfoque sistemático que puede ser aplicado en diversos contextos y con una variedad de materiales orgánicos. Esta capacidad de adaptación y replicabilidad sugiere que este proyecto no solo tiene el potencial de mejorar la gestión de residuos en otras ciudades, sino también de contribuir a la promoción de prácticas más sustentables y eficientes en la gestión de recursos a nivel regional y global.

## **7. Referencias**

Aguirre-Forero, S.E et al. (2022). Compost de cáscara de naranja: una alternativa de aprovechamiento y ciclaje de materia orgánica en la Región Caribe de Colombia. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/360409721> Compost de cascara de naranja una alternativa de aprovechamiento y ciclaje de materia organica en la Region Caribe de Colombia#fullTextFileContent. Consultado 25-03-2024.

Alancay, N., Villagra, S. M., & Villagra, N. A. (2016). Metaheurísticas de trayectoria y poblacional aplicadas a problemas de optimización combinatoria. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 8(1), 202–220. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v8i1.157>

Alcántara, J., Medina, S. (2019). El uso de los itinerarios didácticos (SIG) en la educación ambiental. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 37, 2, 173-188, <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/356159>.

Alfaro, S., Rodríguez, A. (2022). Evaluación del uso de la proyección Universal Transversal Mercator en Uruguay, en comparación con la aplicación de proyecciones locales. 2110 - TCI26: Evaluación del uso de la proyección Universal Transversal Mercator en Uruguay, en comparación con la aplicación de proyecciones locales (2022) - Agrimensura | FING. Consultado 29-10-2023.

Alvarado-Dávila, T. L. A., Hernández Sierra, A. T. (2018). Revisión de alternativas sostenibles para el aprovechamiento del orujo de naranja. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 5(2), 9–32. <https://doi.org/10.23850/24220582.1393>

Armenta, E. E., Coronado, M. A., Ayala, J. R., León, J. A., & Montes, D. (2023). Essential oil extraction for all: A flexible and modular system for citrus biomass waste. *BioResources*, 18(3), 4977-4993. <https://doi.org/10.15376/biores.18.3.4977-4993>

Auto-abc. (2023). Ford F150 2003. Recuperado de <https://es.auto-abc.eu/Ford-F150/g2185-2003>

Bedoya-Betancur, S., Amar Gil, S., Barrera Z., R., Arriola V., E., Ardila A., A. N. (2022). Escenario técnico y económico para la valorización integral a pequeña escala de residuos de naranja en Colombia. *Ingeniería*, 26(3), 367-380. <https://doi.org/10.14483/23448393.17783>. Consultada 10-10-2023

Bermudez, A., Quecano, M. (2012). Modelación matemática de la gestión logística del transporte de residuos orgánicos en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda. Universidad Libre.

Tesis. Modelación matemática de la gestión logística del transporte de residuos orgánicos en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda (unilibre.edu.co). Consultada 10-10-2023

Bernal García, J. J., Hontoria Hernández, E., & Aleksovski, D. (2015). El problema del viajante de comercio: búsqueda de soluciones y herramientas asequibles. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 16, 117-133.

Betancourt, D., & Betancourt, N. (2016). Propuesta de implementación de la logística inversa para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, caso plaza de mercado de la localidad de Los Mártires de la ciudad de Bogotá. *corporación universitaria iberoamericana*. <http://repositorio.iberu.edu.co/server/api/core/bitstreams/529ca313-0028-4291-abac-82e35df7a1f0/content>. Consultada 10-10-2023

Biblioteca de Publicaciones Oficiales del Gobierno de la República. (2022, marzo 1). Producción de cítricos en México. <https://www.gob.mx/publicaciones/articulos/produccion-de-citricos-en-mexico>

Bottani, E., Mannino, F., Vignali, G., & Montanari, R. (2018). A routing and location model for food waste recovery in the retail and distribution phase. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 21(6), 557–578. <https://doi.org/10.1080/13675567.2018.1458826>

Boukroufa, M., Boutekedjiret, C., Petigny, L., Rakotomanomana, N., & Chemat, F. (2015). Bio-refinery of orange peels waste: A new concept based on integrated green and solvent free extraction processes using ultrasound and microwave techniques to obtain essential oil, polyphenols and pectin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 24, 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.11.015>

Cabalé Miranda, E., & Rodríguez Pérez de Agreda, G. (s. f.). 2020. Sistemas de gestión. Importancia de su integración y vínculo con el desarrollo. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 8(1), 251-269.

Calvo Almeida, V. M. (2022). Análisis del problema del viajante. Trabajo de fin de grado, Universidad de Salamanca, Grado en Estadística. Salamanca, España.

Calpa-Oliva, J. E. (2020). Validación de un modelo de logística inversa para la recuperación de los RAEE de la ciudad de Cali, basado en el Pensamiento Sistémico usando una simulación con Dinámica de Sistemas. *TecnoLógicas*, 23(48), 55-81. <https://doi.org/10.22430/22565337.1418>

Carreño, A. (2018). Cadena de suministro y logística. Fondo Editorial de la PUCP. <https://books.google.es/books?id=SaLNDwAAQBAJ>

Carota E., Petruccioli M, D'Annibale A, Crognale A. 2020. Mixed glycerol and orange peel-based substrate for fed-batch microbial biodiesel production. *Heliyon*, 6, e04801.

Castro LA., Lizi JM., Chagas EGLD., Carvalho RA., Vanin FM. 2020. From Orange Juice By-Product in the Food Industry to a Functional Ingredient: Application in the Circular Economy. *Foods*, 9(5), 593. doi: 10.3390/foods9050593. PMID: 32384647; PMCID: PMC7278819.

Cerón-Salazar, I., & Cardona-Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de CN. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13).

Chamorro, A., & Rubio, S. (2004). Los sistemas de distribución inversa para la recuperación de residuos: Su desarrollo en España. *Distribución y Consumo*, 59-74.

Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, (2003) (testimony of Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos).

CN Pallet Plastic. (2024). 660L plastic wheeled garbage bin. CN Pallet Plastic. Retrieved, from <https://www.cnpalletplastic.com/plastic-dustbin/dumping-use-plastic-dustbin/660l-plastic-wheeled-garbage-bin.html>

Climate change impact of food distribution: The case of reverse logistics for bread in Sweden

L. Weber a, L. Barteka,\*, P. Brancoli b, A. Sjölanda, M. Eriksson. Sustainable Production and Consumption 36 (2023) 386–396.

Dantzig, G., Fulkerson, R., & Johnson, S. (1954). Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Journal of the operations research society of America*, 2(4), 393–410.

Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., & Van Wassenhove, L. N. (Eds.). (2004). *Reverse Logistics*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-24803-3>

Del Río, P., Kiefer, C. P., Carrillo-Hermosilla, J., & Könnölä, T. (2021). Defining the CE: A Review of Definitions, Taxonomies and Classifications. En P. Del Río, C. P. Kiefer, J. Carrillo-Hermosilla, & T. Könnölä, *The Circular Economy* (pp. 41-71). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74792-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74792-3_3)

Diaz, L. F. (2012). *Landfills: Environmental impact, management strategies and challenges*. Nova Science Publishers.

Encizo-Gómez D., Antonio-Cervantes PH., Robles-Martinez G., Duran paramo, E., Castro Fontana DG. 2019. Geographic information systems for optimizing waste transportation to landfill sites in the State of México, México. *Revista internacional de Contaminación ambiental*. 35, 55-67. Doi: 10.20937/RICA.2019.35.esp02.06.

EPA. (2024) Fuel Economy. Recuperado el 29 de abril de 2024, de <https://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&lang=es&id=22189>

Esri. (2018). Descarga de medios de instalación de productos Esri (ArcGIS). My Esri. Consultada 20-11-2022.

Esri. (2023). ¿Qué es ArcGIS? ArcGis Resources. <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>. Consultada 20-11-2022.

Esri. (2023). ¿Qué es SIG? <https://www.sigsa.info/es-mx/what-is-gis/overview>. Consultada 20-11-2022.

FAO. (2021). Citrus fruit Fresh and Processed, Statistical Bulletin, 2020. [Citrus | FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura](#) Consultada 20-11-2022.

FAO. (2022a). Cultivos y productos de ganadería- Naranja. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>. Consultada 20-11-2022.

FAO. (2022b). Valor de la Producción Agrícola- Naranja. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QV>. Consultada 20-11-2022.

FEN. (2018). Naranja. Fundación Española de la Nutrición. <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/naranja.pdf>. Consultada 20-11-2022.

Flórez Calderón, L. Á., Toro Ocampo, E. M., & Granada Echeverry, M. (2012). Diseño de redes de logística inversa: Una revisión del estado del arte y aplicación práctica. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(2), 153. <https://doi.org/10.18359/rcin.424>. Consultada 20-11-2022.

García-Mondragón, David, Cervantes-Zepeda, Iván, Gómez-Demetrio, William, Gallego-Alarcón, Iván, García-Pulido, Daury, & González-Blanco, Gehovana. (2023). Gestión de los residuos sólidos en México: análisis cualitativo de los diagnósticos básicos. *Inter disciplina*, 11(30), 215-242. Epub 01 de septiembre de 2023. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2023.30.81788>.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy –A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

Ghosh, S. K., & Ghosh, S. K. (Eds.). (2021). *Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-0913-8>

Greenfield, H., & Southgate, D. A. T. (2006). Datos de composición de alimentos: Obtención, gestión y utilización (B. A. Burlingame & U. R. Charrondiere, Eds.; 2. ed). FAO.

INECC, SEMARNAT. 2013. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. México. Consultada 22-11-2022.

IMIP. (2022). Quiénes somos. <http://www.mexicali.gob.mx/sitioimip/?seccion=Quienes%20Somos>. Consultada 22-11-2022.

INEGI. (2022). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>. Consultada 22-11-2022.

INEGI. (2022). Red Nacional de Caminos RNC. 2022. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770558>. Consultada 25-11-2022.

ISO, O. I. de N. (2015). ISO 14001:2015(es) Sistemas de gestión ambiental—Requisitos con orientación para su uso. Consultada 25-11-2022.

Jaramillo-Colorado B.E., Pino-Benitez N., González-Coloma A. 2019. Volatile composition and biocidal (antifeedant and phytotoxic) activity of the essential oils of four Piperaceae species from Choco-Colombia. *Industrial Crops and Products*, 138, 111463. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.026>.

Jiménez, N. (2015). Gestión integral de residuos sólidos urbanos en México entre la intención y la realidad. *Letras Verdes: Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 17, 29-56.

Kim, H., Kang, J.-G., & Kim, W. (2014). An application of capacitated vehicle routing problem to reverse logistics of disposed food waste. *International Journal of Industrial Engineering*, 21(1), 46-52.

Laporte, G. (1992). The Travelling Salesman Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, 231–247.

Latham, M. C. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. FAO.

Lezama León, E., Lezama León, M. H., Galindo, A. E. S., & Figueroa Urrea, H. (2021). Análisis de la Logística Inversa de Productos Perecederos en México. *Boletín Científico INVESTIGIUM de la Escuela Superior de Tizayuca*, 6(12), 1-7. <https://doi.org/10.29057/est.v6i12.5576>

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons.

Mahato, Sinha, Sharma, Koteswararao, & Cho. (2019). Modern Extraction and Purification Techniques for Obtaining High Purity Food-Grade Bioactive Compounds and Value-Added Co-Products from Citrus Wastes. *Foods*, 8(11), 523. <https://doi.org/10.3390/foods8110523>

Martínez, A. (2019). *Planeación de la producción de naranja en México y análisis de la volatilidad de precios*. [Tesis de Grado para Optar al Título Doctor en Ciencias].

Ministerio del Ambiente. (2015). TULSMA, Libro VI, Anexo 6: Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos. MAE. Quito, Ecuador.

Miranda Pegueros, M., López Castro, D. E. M., & Vega Zarate, C. (2022). Hacia una perspectiva integral de gestión en sostenibilidad empresarial. *TRASCENDER, CONTABILIDAD Y GESTIÓN*, 7, 150–164.

Pagán, M., Tonelli, K., Silva, S., & da Silva, D. (2017). La logística inversa como herramienta para la gestión de residuos de los supermercados de venta al por menor. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 6(3), 150-165. <https://doi.org/10.5585/geas.v6i3.519>

Pourbafrani M., Forgács G., Horváth IS., Niklasson C., and Taherzadeh M. 2010. Production of biofuels, limonene and pectin from citrus wastes, *Bioresource Technology*, 101, 4246-4250. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.077>.

Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Režek Jambrak, A., Barba, F., Cravotto, G., Binello, A., Lorenzo, J., Shpigelman, A., 2017. Innovative “green” and novel strategies for the extraction of bioactive added value compounds from citrus wastes—a a review. *Molecules*, 22, 680. <https://doi.org/10.3390/molecules22050680>.

QGIS. (2021). QGIS - Quantum GIS. <https://www.qgis.org/en/site/>. Consultada 20-11-2022.

Quintana, L., Herrera-Mena, Y., Martínez-Flores, J.-L., Coronado, M., Montero, G., & Cano-Olivos, P. (2020). Design of waste vegetable oil collection networks applying vehicle routing problem and simultaneous pickup and delivery. *Acta logística*, 7(4), 261-268. <https://doi.org/10.22306/al.v7i4.188>

Rodríguez, H. (2012). *Gestión Integral de residuos Sólidos* (Centro de educación a distancia.). Fundación Universitaria del Área Andina. Consultada 25-11-2022.

Rondon Toro, E., Szanto, M., Pacheco, J., Contreras, E., & Galv3ez, A. (2016). *Gu3a general para la gesti3n de residuos s3lidos domiciliarios*. Naciones Unidas.

Sabri3, F. (2012). *La Cadena De Suministro* (Segunda edici3n.). Afaomega Grupo editor, S.A. de C.V.

Santillana, J., & Salinas de Santillana, J. (2018). Masificaci3n Gas Natural en Per3 I. Promoci3n Veh3culos GNV. Recuperado de [www.ssecoconsulting.com](http://www.ssecoconsulting.com)

Sarache-Castro, W. A., Costa-Salas, Y. J., & Mart3nez-Giraldo, J. P. (2015). Environmental performance evaluation under a green supply chain approach. *DYNA*, 82(189), 207-215. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.48550>

Senit J.J., Velasco, D., Gomez A., Sanchez-Barba, M., Toledo, J.M, Santos, V, Garcia- Ochoa, F, Yustos, P, Ladero, M. 2019. Orange peel waste upstream integrated processing to terpenes, phenolics, pectin and monosaccharides: Optimization approaches”, *Industrial Crops and Products*, 134, 370-381, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019>.

SEMARNAT, S. de M. A. y R. N. (2015). *Gu3a de Dise3n para la identificaci3n Gr3fica del Manejo Integral de los Residuos S3lidos Urbanos*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/27294/Guia\\_residuos\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/27294/Guia_residuos_2015.pdf)

SIAP, Servicio de Informaci3n Agroalimentaria y Pesquera. 2020. *Anuario estad3stico de la producci3n agr3cola*. Secretar3a de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de M3xico. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (noviembre de 2021).

Siddiqui, S.A., Pahmeyer, M.J., Assadpour, E., Jafari, S.M. 2022. Extraction and purification of d-limonene from orange peel wastes: Recent advances. *Industrial Crops & Products*, 177, 114484. <https://doi.unicartagenaproxy.elogim.com/10.1016/j.indcrop.2021.114484>.

Silvestre WP., Agostini F., Muniz LAR, Pauletti GF. 2016. Fractionating of green mandarin (*Citrus deliciosa* Tenore) essential oil by vacuum fractional distillation, *Journal of Food Engineering*, 178, 90-94.<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.011>.

Snyder, J. P. (1987). *Map projections—a working manual*. US Government Printing Office.

Teigiserova, D. A., Hamelin, L., Tiruta-Barna, L., Ahmadi, A., & Thomsen, M. (2022). Circular bioeconomy: Life cycle assessment of scaled-up cascading production from orange peel waste under current and future electricity mixes. *Science of The Total Environment*, 812, 152574. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152574>

Teigiserova, D. A., Tiruta-Barna, L., Ahmadi, A., Hamelin, L., & Thomsen, M. (2021). A step closer to circular bioeconomy for citrus peel waste: A review of yields and technologies for sustainable management of essential oils. *Journal of Environmental Management*, 280, 111832. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111832>

Uriarte-Miranda, M.-L., Caballero-Morales, S.-O., Martinez-Flores, J.-L., Cano-Olivos, P., & Akulova, A.-A. (2018). Reverse Logistic Strategy for the Management of Tire Waste in Mexico and Russia: Review and Conceptual Model. *Sustainability*, 10(10), 3398. <https://doi.org/10.3390/su10103398>

USDA. (2017). Foreign Agricultural Service. “Data & Analysis”. United States Department of Agriculture.

[https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Citrus%20Annual\\_Mexico%20City\\_Mexico\\_12-13-2017.pdf](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Citrus%20Annual_Mexico%20City_Mexico_12-13-2017.pdf) Consultada 25-11-2022.

Weber, L., et al. (2023). Climate change impact of food distribution: The case of reverse logistics for bread in Sweden. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 386-396.

Yadav, V., Sarker, A., Yadav, A. et al. 2022. Integrated biorefinery approach to valorize citrus waste: A sustainable solution for resource recovery and environmental management, *Chemosphere*, 293: 13345.

Yu, H., & Deng, W. (2016). General reverse logistics network design model for product reuse and recycling with environmental considerations. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87(9-12), 2693–2711.

## **8. Anexos**

### **Anexo 1. Sondeo a posibles generadores de cáscara de naranja**

1. ¿Tiene productos hechos a base de naranja?

Con esto se pretende saber si tienen productos elaborados a base de naranja y cuáles son los más vendidos.

2. ¿Aquí se procesa la naranja?

3. Si la respuesta anterior es negativa, ¿Dónde se hace el procesamiento de las naranjas y cómo llegan hasta aquí?

Debido a factores como el espacio, tiempo o cantidad de clientes que tenga el establecimiento, algunos lugares tienen el producto listo para su consumo y por ende no se tiene claridad de la cantidad de naranjas utilizadas en el establecimiento.

4. ¿Cuántos kilogramos de naranja utilizan en un día?

Conocer el consumo de naranjas que tienen los comercios es de vital importancia, ya que, con esto se estimaría la cantidad de CN que se genera diariamente.

5. ¿Qué hacen con la cáscara de naranja?

Es importante conocer la disposición final actual de la cáscara de naranja, el porcentaje de aprovechamiento y cuánta se va al relleno sanitario.

### **Anexo 2. Instrumento para la recolección de información**

1. ¿Tiene productos hechos a base de naranja?
  - Sí
  - No
2. ¿Dónde se hace el procesamiento de las naranjas?
  - Se exprime en el local
  - Se exprime en otro lugar
3. Si las naranjas se exprimen en otro lugar ¿Dónde es?
4. ¿Cuántos kilogramos de naranja utilizan en un día/semana/mes?
5. ¿Qué hacen con la cáscara de naranja?
  - Disposición final
  - El establecimiento lo aprovecha
  - Un tercero se encarga del aprovechamiento
6. ¿Cómo se aprovecha la cáscara de naranja?

## 9. Productos académicos

Programa especializado de Coursera “Creatividad, diseño e innovación: Técnicas y herramientas”. Este programa especializado constaba de 4 cursos: ser más creativo, innovar, entender el diseño y proyecto final.

The image shows a certificate of completion for a Coursera program. On the left, there is a Coursera logo with the text 'LEARNING WITHOUT BOUNDARIES' and 'SPECIALIZATION CERTIFICATE'. Below it, it says '4 cursos'. The main text of the certificate reads: 'Ser más creativos', 'Innovar', 'Entender el diseño', and 'Creatividad, diseño e innovación: Técnicas y herramientas - Proyecto Final'. The recipient's name is 'Laura Duarte Jaramillo', and the date is 'Dec 3, 2022'. The certificate is awarded by 'Arizona State University'. On the right side, there are two signatures: 'Prasad Boradkar, Professor, The Design School, Arizona State University' and 'Dra. Guadalupe Vadillo, Académica, Universidad Abierta y Educación a Distancia'. The background of the certificate features a large, stylized fingerprint graphic.



Sep 24, 2022

**Laura Duarte Jaramillo**

completó con éxito

**Ser más creativos**

un curso en línea sin crédito autorizado por Universidad Nacional Autónoma de México y ofrecido a través de Coursera

Dra. Guadalupe Vadillo  
Académica  
Universidad Abierta y Educación a Distancia

COURSE  
CERTIFICATE



Verify at:

[coursera.org/verify/2j7jGVL34HLZ](https://coursera.org/verify/2j7jGVL34HLZ)

Coursera confirmó la identidad de esta persona y su participación en el curso.

Este certificado acredita 6 horas de dedicación.



Oct 11, 2022

**Laura Duarte Jaramillo**

completó con éxito

**Innovar**

un curso en línea sin crédito autorizado por Arizona State University y ofrecido a través de Coursera

Prasad Boradkar  
Professor  
The Design School, Arizona State University

**COURSE  
CERTIFICATE**



Verify at:  
<https://coursera.org/verify/AFDRRH2V6VK>  
Coursera confirmó la identidad de esta persona y su participación en el curso.



Oct 25, 2022

**Laura Duarte Jaramillo**

completó con éxito

**Entender el diseño**

un curso en línea sin crédito autorizado por Arizona State University y ofrecido a través de Coursera

Prasad Boradkar  
Professor  
The Design School, Arizona State University

COURSE  
CERTIFICATE



Verify at:  
<https://coursera.org/verify/PMNTEADG09V>  
Coursera confirmó la identidad de esta persona y su participación en el curso.



Curso general de la Propiedad Intelectual de la OMPI.



Academia de la OMPI

## CERTIFICADO

Por el presente se certifica que

**LAURA DUARTE**

ha completado satisfactoriamente  
el curso de enseñanza a distancia titulado

CURSO GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Impartido del 04 de octubre al 17 de noviembre de 2022

Sherif Saadallah  
Director Ejecutivo  
Academia de la OMPI



Registro de obra personal ante INDAUTOR

**gob.mx**

Instituto Nacional del Derecho de Autor  
Dirección del Registro Público del Derecho de Autor

Acuse de Registro de Obra - Trámite en Línea

Número de control provisional
03-2022-120519191500-01TMP
Fecha de la solicitud
05/12/2022

Tipo: **Autor**

Datos Generales	Domicilio Legal o Particular
CURP: DUJL951025MNERRR05	Código Postal: 21038
RFC: DUJL9510258F5	Calle: paseo de las hadas sur
Nombre(s): Laura	Número Exterior: 1357      Número Interior: b
Primer apellido: Duarte	Colonia: FOVISSSTE
Segundo apellido: Jaramillo	Municipio o Alcaldía: Mexicali
Sexo: Femenino	Estado: Baja California
Fecha de nacimiento: 25/10/1995	País: MEXICO
Lugar de nacimiento: Cartago, Valle del cauca	
Nacionalidad: MEXICANA	
Porcentaje: 100% - AUTOR	
Teléfono:	
Extensión:	
Teléfono móvil: 6861150635	
Correo electrónico: laura.ndas@gmail.com	

GOBIERNO DE MÉXICO | CULTURA | INDAUTOR

Contacto:  
Puerto #143, Col Roma Norte, Alcaldía Cuauhtémoc, C.P. 06700, Ciudad de México  
Tel. 5536018210 y 16 8002283400

Certificado de registro de derechos de autor en relación a la obra” Biogás a partir de estiércol bovino" la cual se encuentra en trámite en INDAUTOR a través del departamento de propiedad intelectual y transferencia.

# CERTIFICADO

## Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 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:** ARMENTA GALVEZ EDSON ELISEO  
ARMENTA GALVEZ JESUS MANUEL  
AYALA BAUTISTA JOSE RAMON  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
DUARTE JARAMILLO LAURA  
GUTIERREZ ESQUIVEL LIZBETH ADRIANA  
ORTIZ PEREZ ALVARO ANDRES  
TORRES RAMOS RICARDO  
URBANO NILA ANDREA

**TÍTULO:** BIOGAS A PARTIR DE ESTIERCOL BOVINO

**RAMA:** LITERARIA

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

Con fundamento en el artículo 3° de la Ley Federal del Derecho de Autor el presente certificado ampara única y exclusivamente la obra original Literaria.

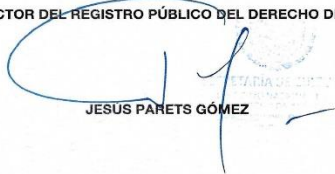
Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, 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; y artículos 1, 3 fracción I, 4, 6 fracción I y 9 del Reglamento Interior de Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2022-121311005900-01

Ciudad de México, a 15 de diciembre de 2022

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

  
JESÚS PARETS GÓMEZ



CULTURA  
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR  
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

Evidencia de constancia, en relación a la obra “Aceites Esenciales Como Ingredientes Activos Para el Padecimiento de la Pediculosis” la cual se encuentra en trámite en INDAUTOR a través del departamento de propiedad intelectual y transferencia.

# CERTIFICADO

## Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 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:** ARMENTA GALVEZ EDSON ELISEO  
ARMENTA GALVEZ JESUS MANUEL  
AYALA BAUTISTA JOSE RAMON  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
DUARTE JARAMILLO LAURA  
GUTIERREZ ESQUIVEL LIZBETH ADRIANA  
ORTIZ PEREZ ALVARO ANDRES  
URBANO NILA ANDRES

**TÍTULO:** ACEITES ESENCIALES COMO INGREDIENTES ACTIVOS PARA EL PADECIMIENTO DE LA PEDICULOSIS

**RAMA:** LITERARIA

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

Con fundamento en el artículo 3° de la Ley Federal del Derecho de Autor el presente certificado ampara única y exclusivamente la obra original Literaria.

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, 206, 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; y artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior de Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2022-121310472600-01

Ciudad de México, a 15 de diciembre de 2022  
EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESÚS PARETS GÓMEZ



CULTURA  
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR  
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

Evidencia de registro de cartas de colaboración remunerada, en relación a la obra "Sistema de gestión integral de cáscara de naranja residual en Mexicali, Baja California" la cual se encuentra en trámite en INDAUTOR a través del departamento de propiedad intelectual y transferencia.

# CERTIFICADO

## Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 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:** ARMENTA GALVEZ EDSON ELISEO  
ARMENTA GALVEZ JESUS MANUEL  
AYALA BAUTISTA JOSE RAMON  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
DUARTE JARAMILLO LAURA  
GUTIERREZ ESQUIVEL LIZBETH ADRIANA  
ORTIZ PEREZ ALVARO ANDRES  
URBANO NILA ANDREA

**TÍTULO:** SISTEMA DE GESTION INTEGRAL DE CASCARA DE NARANJA RESIDUAL EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

**RAMA:** LITERARIA

**TITULAR:** UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL ARTICULO 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; y artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior de Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

**Número de Registro: 03-2022-120711222700-01**

Ciudad de México, a 14 de diciembre de 2022

**EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR**

JESÚS PARETS GÓMEZ



**CULTURA**  
SECRETARÍA DE CULTURA



**INDAUTOR**  
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

Evidencia de registro de cartas de colaboración remunerada, en relación a la obra "extractos y aceites esenciales: estudio de su importancia en el medio ambiente" la cual se encuentra en trámite en INDAUTOR a través del departamento de propiedad intelectual y transferencia.

## **CERTIFICADO**

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 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:** ARMENTA GALVEZ EDSON ELISEO  
ARMENTA GALVEZ JESUS MANUEL  
AYALA BAUTISTA JOSE RAMON  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
DUARTE JARAMILLO LAURA  
GUTIERREZ ESQUIVEL LIZBETH ADRIANA  
MONTES NUÑEZ DANIELA GUADALUPE LUCIA  
ORTIZ PEREZ ALVARO ANDRES  
SAGASTE BERNAL CARLOS ALFONSO  
URBANO NILA ANDREA

**TÍTULO:** EXTRACTOS Y ACEITES ESENCIALES: ESTUDIO DE SU IMPORTANCIA EN EL MEDIO AMBIENTE

**RAMA:** LITERARIA

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

Con fundamento en el artículo 3° de la Ley Federal del Derecho de Autor el presente certificado ampara única y exclusivamente la obra original Literaria.

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; y artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior de Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2022-121310594400-01

Ciudad de México, a 15 de diciembre de 2022  
EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESÚS PARETS GÓMEZ



**CULTURA**  
SECRETARÍA DE CULTURA



**INDAUTOR**  
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

Borrador de Patent Review sobre Logística verde.

# Logística verde: una revisión de patentes

Laura Duarte <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laura Duarte, Laura.duarte@uabc.edu.mx  
\* Correspondencia: Laura.duarte@uabc.edu.mx

**Resumen:** La logística se define como “el proceso de planificación, desarrollo y control eficiente del flujo de materiales, productos e información desde el lugar de origen hasta el de consumo satisfaciendo las necesidades del consumidor”. La logística actual incluye las actividades de reaprovisionamiento de materias primas, control de inventario, velocidad de entrega, servicio al cliente, y controlar tanto el flujo de materiales dentro de la cadena de suministros como integrar el flujo de información que ello conlleva.

**Palabras claves:** Logística verde, logística inversa, logística directa, medio ambiente, reducción de costos.

## 1. Introducción

La logística inversa (LI) es reconocida como el área de la logística que planifica, opera y controla el flujo y las informaciones logísticas correspondiente al retorno de los bienes de [post-venta](#) y post-consumo al ciclo de producción a través de los canales de distribución inversos, agregándoles valor a los mismos de diversa naturaleza: económico, ecológico, legal, logística, de imagen corporativa, entre otros (Leite & Brito, 2010).

La logística verde (LV) se enfoca en disminuir el daño que las actividades realizadas durante la logística causen al medio ambiente (Uriarte-Miranda et al., 2018). Actualmente, el término de logística verde se usa indiscriminadamente con logística inversa. La diferencia más importante es que LI se enfoca en ahorrar dinero y aumentar el valor mediante la reutilización o reventa de materiales para recuperar la inversión y reducir los costos one-

Citation: To be added by editorial

Invitada en el programa de radio de Acción Pedagógica de radio UABC.



Tallerista en el festival aeroespacial "Mexicali en las alturas"



Estancia en Arizona State University dentro del programa de innovación de la Universidad Autónoma de Baja California.



Invitada en el programa de radio de Acción Pedagógica de radio UABC.

**Acción Pedagógica**

**Viculación de UABC y Arizona State University**

Dra. María Amparo Oliveros Ruiz, Dra. Patricia Domínguez Osuna,  
Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega, Ing. Laura Duarte Jaramillo,  
Ing. Brisa Álvarez Valdéz, Dr. José Ramón Ayala Bautista y  
Mtro. Cristian Casares de la Torre

**Miércoles 15:00 hrs.** Podcast en   
MxII 104.1 FM Tlj 1630 AM Ens 95.5 FM [radio.uabc.mx](http://radio.uabc.mx)

## Certificado de culminación de primer nivel de francés

**UNISER A.C.**  
DIVISIÓN DE LENGUAS EXTRANJERAS  
LA PRESENTE BOLETA CERTIFICA QUE EL ALUMNO(A):

**LAURA DUARTE JARAMILLO**

MATRÍCULA NO. CM023679 CURSÓ EL PROGRAMA: FRANCÉS

NIVEL 1 DURANTE EL CICLO ESCOLAR: 2023-1, OBTENIENDO UNA CALIFICACIÓN DE:

9 **NUEVE**

Dr. Joaquín Caso Niebla  
Director

Mexicali, B.C., a 27 de mayo de 2023

PROFESOR(A)  
DULCE FLOR DE LA PEÑA VALDEZ

UNISER, A.C.  
INCORPORADA  
SEBS  
CLAVE:02P870138L  
MEXICALI, B.C.

Los programas académicos de la División de Lenguas Extranjeras cuentan con reconocimiento de la Universidad Autónoma de Baja California para la obtención de créditos curriculares con base al convenio de colaboración firmado el 18 de agosto 2014.

## Constancia de curso virtual “los derechos humanos y la importancia de los criterios ESG.”

ANUIES FESE Fundación Educación Superior Empresa Aprendiz, empoderar e innovar Santander Universidades

La Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior y la Fundación Educación Superior Empresa otorga la presente

**CONSTANCIA**  
a

**laura Duarte Jaramillo**

Por haber completado el curso virtual  
"Los Derechos Humanos y la importancia de los Criterios ESG", con una duración de 8 horas.

Dr. Luis Armando González Placencia  
Secretario General Ejecutivo de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES)

Mtro. Alfredo Martínez de la Torre  
Director General de la Fundación Educación Superior Empresa (FESE)

27/05/23

RKrRrRLhpf

Participación en el XLIV congreso de la *Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (amidiq)*.



**XLIV**

CONSEJO DIRECTIVO 2021-2023

Dr. Jorge Ramón Robledo Ortiz  
PRESIDENTE  
jorge.robledo@academicos.udg.mx

Dra. Nelly Ramírez Corona  
VICEPRESIDENTA  
nelly.ramirez@udlap.mx

Dr. Fernando Israel Gómez Castro  
SECRETARIO  
iq\_fergo@hotmail.com

Dra. Sara Núñez Comea  
TESORERA  
sarnunez@uv.mx

Dra. Aida Alejandra Pérez Fonseca  
VOCAL DE INVESTIGACIÓN  
aida.perez@academicos.udg.mx

Dra. Adela Irmene Ortiz López  
VOCAL DE DOCENCIA  
irmene@cau.uam.mx

contacto@amidiq.com  
WWW.AMIDIQ.COM  
Canarias 704 Portales  
CDMX, Benito Juárez  
México, CP 03300

**ENCUENTRO  
NACIONAL DE LA  
AMIDIQ**

Investigación e industria:  
inclusión, retos y oportunidades  
para la Ingeniería Química en México

Ciudad de México a jueves, 13 de abril de 2023

**Estimado(a) autor(a) de contacto**

Agradecemos sinceramente su interés por participar en el XLIV Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ). Por este conducto nos complace informarle que su trabajo:

**COMPOSICIÓN QUÍMICA VOLÁTIL DEL ACEITE ESENCIAL DE ERYNGIUM  
FOETIDUM COLOMBIANO**

ID: 319

**Cuyos autores son:**

*Laura Duarte, Marcos Alberto Coronado, José Ramón Ayala, Beatriz Eugenia Jaramillo, Marianela Ortiz, Jecúis Navarro, Víctor Rodríguez*

ha sido aceptado para su presentación en la sesión de **Ingeniería ambiental en la modalidad Cartel**

Para ser acreedor de la constancia de participación se requiere que al menos uno de los autores esté inscrito, y que el trabajo haya sido efectivamente presentado. Para que el trabajo sea publicado en las memorias del congreso, es necesario cumplir con los criterios anteriores y haber enviado su trabajo en extenso.

En fechas posteriores podrá consultar el programa completo en nuestra página web [www.amidiq.com](http://www.amidiq.com) para conocer el día y hora precisa de su presentación. Recuerde que tiene hasta el **21 de abril** para sustituir el resumen de dos páginas por su trabajo en extenso en la plataforma OpenConf y que al menos uno de los autores del trabajo deberá estar inscrito al evento a más tardar el **21 de abril** para ser incluido en el programa final.

A nombre de la AMIDIQ le agradecemos una vez más su participación y esperamos tener la oportunidad de saludarlo durante el evento.

Atentamente

**COMITÉ TÉCNICO**  
XLIV Encuentro Nacional de la AMIDIQ A.C.

Certificado de lengua extranjera

**UNISER A.C.**  
DIVISIÓN DE LENGUAS EXTRANJERAS  
LA PRESENTE BOLETA CERTIFICA QUE EL ALUMNO(A):

**LAURA DUARTE JARAMILLO**

MATRÍCULA NO. CM023679    CURSO EL PROGRAMA: FRANCÉS

NIVEL 1 DURANTE EL CICLO ESCOLAR: 2023-1 , OBTENIENDO UNA CALIFICACIÓN DE:

9    NUEVE

Dr. Joaquín Caso Niebla    UNISER A.C.    PROFESOR(A)  
DIRECTOR    INCORPORADO SEBS    DULCE FLOR DE LA PEÑA VALDEZ  
Mexicali, B.C., a 27 de mayo de 2023

Los programas establecidos de la División de Lenguas Extranjeras cuentan con reconocimiento de la Universidad Autónoma de Baja California para la obtención de créditos académicos con base al convenio de colaboración firmado el 18 de agosto 2014.

 Centro de Educación Continua UABC

**BOLETA DE CALIFICACIONES**  
La presente boleta hace constar que el/la alumno (a):

**LAURA DUARTE JARAMILLO**

MATRÍCULA NO. CM023679    CURSO EL PROGRAMA: FRANCÉS

NIVEL 2 DURANTE EL CICLO ESCOLAR: 2023-2 , OBTENIENDO UNA CALIFICACIÓN DE:

8    OCHO

Dr. Joaquín Caso Niebla    Centro de Educación Continua UABC    PROFESOR(A)  
DIRECTOR    INCORPORADO SEBS    DULCE FLOR DE LA PEÑA VALDEZ  
Mexicali, B.C., a 27 de mayo de 2023

Carta de aceptación para pasantía

To Whom it May Concern:

Our team at FORVIA would like to offer Laura Duarte a temporary 6-month internship on our Materi'act Team in Auburn Hills, MI. The compensation during this time will be an hourly rate of \$30.00. The duration of the internship will be from January 29<sup>th</sup> 2024, - July 19<sup>th</sup>, 2024. During the internship Laura will be working on the following topics:

- Mapping available feedstock streams and recycling technologies in the US and MX with focus on polyolefins and styrenics
- Mapping available biomass MATERI'ACT activities in the US/MX
- Internal recycling activities :
  - Identify and map out scraps generated by FORVIA local plants
  - Define recycling strategy for all addressable streams
- Support administrative processes (ex: issuing purchase order)

For any additional questions or concerns, please reach out [Josie Husson](#).

Best regards,

**Josie Husson**  
**Faurecia Interior Systems - North America**  
**Human Resources RDP**  
[josie.husson@forvia.com](mailto:josie.husson@forvia.com)

FAURECIA  
FIS-NAO HQ - Auburn Hills, MI USA  
2800 High Meadow Circle  
Auburn Hills, MI 48326

**FORVIA**  
Inspiring mobility

