



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM VALLE DE MÉXICO

**ANÁLISIS DE COMERCIALIZACIÓN D2C PARA LA
ASOCIACIÓN TONAEM DE PEQUEÑOS PRODUCTORES DE
VILLA DEL CARBÓN**

Que para obtener el Título de

INGENIERO INDUSTRIAL

Presenta

C. Brandon Alonso Pérez

Asesor: Dra. C. Ed. Gabriela Gaviño Ortiz
Co-Asesor: Dr. Heriberto Casarrubias Vargas

Atizapán de Zaragoza, Edo. de Méx. Noviembre 2024



Resumen

Este trabajo aborda el desafío de distribuir y comercializar canastas de productos orgánicos de pequeños agricultores de la Asociación TONAEM, ubicada en la comunidad rural de Villa del Carbón. El objetivo es asegurar el acceso a alimentos saludables y promover la sostenibilidad ambiental y social en la producción agrícola. Para lograr esto, el proyecto incluye el desarrollo de un modelo de ruteo que busca optimizar costos y tiempos en la entrega de estos productos. Los desafíos identificados incluyen la dificultad de acceso a los mercados debido a la falta de infraestructura de transporte adecuada, así como la escasez de capacitación en comercialización y acceso limitado a información sobre precios y demanda. Además, la dependencia excesiva de ciertos cultivos puede hacer que los agricultores sean vulnerables a riesgos climáticos, plagas y fluctuaciones en los precios agrícolas, lo que afecta su capacidad para generar ingresos estables. Para abordar estos desafíos, se propone establecer canales cortos de comercialización que conecten directamente a los pequeños productores con los mercados locales, como el Centro Universitario UAEM Valle de México. El objetivo principal de estos canales es reducir la cantidad de intermediarios, lo que permitiría a los agricultores tener un mayor control sobre el precio final de sus productos. Esto también facilitaría una comprensión más directa de las necesidades y preferencias de los consumidores, así como una mayor flexibilidad para adaptarse a los cambios en el mercado.

Abstract

This paper addresses the challenge of distributing and marketing baskets of organic products from small farmers of the TONAEM Association, located in the rural community of Villa del Carbon. The objective is to ensure access to healthy food and promote environmental and social sustainability in agricultural production. To achieve this, the project includes the development of a routing model that seeks to optimize costs and delivery times for these products.

The challenges identified include the difficulty of accessing markets due to the lack of adequate transportation infrastructure, as well as the scarcity of marketing training and limited access to information on prices and demand. In addition, over-reliance on certain crops can make farmers vulnerable to climatic risks, pests and fluctuations in agricultural prices, affecting their ability to generate stable incomes.

To address these challenges, it is proposed to establish short marketing channels that directly connect small producers to local markets, such as the Centro Universitario UAEM Valle de México. The main objective of these channels is to reduce the number of intermediaries, which would allow farmers to have greater control over the final price of their products. This would also facilitate a more direct understanding of consumer needs and preferences, as well as greater flexibility to adapt to changes in the market.

Índice

1. Introducción	1
CAPÍTULO I Antecedentes	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Marco Contextual y Marco Espacial	12
1.2.1 Localización específica del proyecto	13
1.3 Actualidad y relevancia del tema	13
1.4 Planteamiento del problema	14
1.5 Objetivo General y Específicos	15
1.5.1 Pregunta de Investigación	15
1.5.2 Objetivo General	15
1.5.3 Objetivos Específicos	15
1.6 Justificación	15
1.7 Hipótesis	18
1.9 Alcances y limitaciones	18
1.9.1 Alcances	18
1.9.2 Limitaciones	18
1.10 Marco metodológico	19
1.10.1 Desde el punto de vista de su aplicación	19
1.10.2 Desde el punto de vista de sus objetivos	19
1.10.3 Desde el punto de vista de su modalidad	19
CAPÍTULO II Marco Teórico y Estado del Arte	20
2.1 Formas de comercialización	20
2.1.1 Innovación en la comercialización	21
2.1.2 ¿Cómo funciona por parte del productor?	22
2.1.3 Alimentación y Agricultura (FAO)	23
2.1.4 Canales de Distribución	24
2.1.5 ¿Para qué sirve el canal de distribución corto?	25

_____ 2.1.6 Características del canal de distribución corto.....	25
_____ 2.1.7 Elementos del canal corto de distribución	26
_____ 2.2 Beneficios	27
_____ 2.2.1 Beneficios económicos	27
_____ 2.2.2 Beneficiarios directos.....	27
_____ 2.2.3 Beneficiarios indirectos.....	27
_____ 2.3 Canal Corto y D2C	27
_____ 2.4 Ruteo	27
CAPÍTULO III.....	29
_____ 3.1 Modelos de optimización	29
_____ 3.1.1 Método del barrido.....	29
_____ 3.1.2 Problema del vendedor viajero	30
_____ 3.2 Algoritmos Comunes para Resolver el TSP.....	34
_____ 3.2.1 Fuerza Bruta.....	34
_____ 3.2.2 Algoritmo VPTW	36
_____ 3.2.3 Programación Dinámica.....	37
_____ 3.2.4 Algoritmos Aproximados.....	38
_____ 3.2.5 Algoritmo de Christofides.....	38
_____ 3.3 Metaheurísticas	39
_____ 3.3.1 Algoritmos Genéticos	39
_____ 3.3.2 Simulated Annealing.....	39
_____ 3.3.3 Optimización por Enjambre de Partículas	40
_____ 3.4 Elección del algoritmo de la ruta más corta para la comercialización de las canastas orgánicas	40
_____ 3.5 La aplicación típica de el algoritmo de Held-Karp	45
_____ 3.6 Análisis de Sensibilidad de los diferentes escenarios	55
CAPÍTULO IV Resultados del Análisis de Sensibilidad.....	62
Comentarios	60
12. Referencias.....	81

Índice de tablas

Capítulo I

Tabla 1.1 ODS y sus Características. Elaboración propia, 2024: Recuperada de la ONU: Los ODS en la investigación...	16
---	----

Tabla 1.2 Metodología de investigación de ruteo y planificación agrícola en canales D2C para el Tianguis Orgánico TONAEM de Villa del Carbón...	19
---	----

Capítulo II.

Tabla 3.1 Entrega a domicilios	40
--------------------------------	----

Tabla 3.2 Cantidades de canastas a distribuir	41
---	----

Tabla 3.3 Comparación de algoritmos investigados llevar a cabo la distribución de comercialización D2C desde el punto de origen del CU UAEM Valle de México a todos los puntos y de regreso	41
---	----

Tabla 3.5 El coste total del tour es 26, la suma de los pesos, y si consideramos las utilidades de cada nodo unitarias, entonces la utilidad del tour es de 10.	55
---	----

Tabla 3.6 Diseño de transporte, dimensiones del transporte, opcional	59
--	----

Capítulo IV

Tabla 4.1 Domicilios retirados de acuerdo al análisis de sensibilidad	73
---	----

Índice de figuras

Capítulo I

Figura 1.1 Sistema de Riego por Goteo de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.	4
---	---

a) Sistema de captación de agua pluvial	4
---	---

b) Depósito de agua pluvial con capacidad de 10,000 lts	4
---	---

c) Sistema de riego por goteo	4
-------------------------------	---

Figura 1.2 Fermentación Orgánica de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.....	5
a) Abono Orgánico.....	5
b) Composta Orgánica	5
Figura 1.3 Lombricomposteo, composta formada por microorganismos y lombrices rojas.....	6
Figura 1.4 Biofertilizante	6
Figura 1.5 Fertilizante BIÓL de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.....	6
a) Biodigestor generador de gas.....	6
b) Desbordamiento de líquidos de materia orgánica conocido como BIÓL.....	6
Figura 1.6 Banco de semillas de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.....	7
Figura 1.7 Plántulas de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.....	8
Figura 1.8 Parcelas de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.....	8
a) De invernadero.....	8
b) Al aire libre.....	8
c) Por temporada.....	8
Figura 1.9 Capacitación a Productores y Jóvenes. Estaciones de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.....	9
Figura 1.10 Distancia del Centro Universitario UAEM al Tianguis TONAEM Villa del Carbón.....	12
Figura 1.11 Municipio Atizapán de Zaragoza, Edo. Méx.....	13
Figura 1.12 Centro Universitario UAEM Valle de México.....	13
Figura 1.13 Casco del Centro Universitario UAEM.....	13
Figura 1.14 Recomendaciones para el Marketing.....	16

Capitulo II

Figura 2.1 Innovación en la Comercialización.....	21
---	----

Capitulo III

Figura 3.1 Métodos de programación y diseño de rutas" por R.H. Ballou,Logística.....	29
Figura 3.2 Agente Viajero TSP, Taha 2012.....	30
Figura 3.3 Agente Viajero camino más corto TSP, Taha 2012....	30
Figura 3.4 Agente Viajero distancia más corta TSP, Taha 2012....	31
Figura 3.5 Agente Viajero TSP mismo recorrido con los otros clientes, Taha 2012.....	31
Figura 3.6 Agente Viajero TSP mismo último recorrido, Taha 2012.....	32
Figura 3.7 Agente Viajero TSP regreso al punto de origen, Taha 2012.....	32
Figura 3.8 Método de fuerza bruta. Ballou, Logística: Administración de la Cadena de Suministro	33
Figura 3.9 Desarrollo Algoritmo Held-Karp....	44
Figura 3.10 Matriz de tiempos y distancias de los destinos de comercialización	45
Figura 3.11 Matriz de distancias de los destinos de comercialización.....	46
Figura 3.12 Matriz de tiempos de los destinos de comercialización.....	46
Figura 3.13 Recorrido de todos los destinos a todos los destinos de comercialización de las canastas orgánicas	47
Figura 3.14 Complemento QuickMapServices, captura extraída de QGIS, 2024....	48
Figura 3.15 Complemento Online Routing Mapper, captura extraída de QGIS, 2024....	49
Figura 3.16 Programación de distancias en PYTHON	50
Figura 3.17 Distancia recorrida. Captura extraída de la ubicación geográfica después solución óptima, al seleccionar cada una de las capas del recorrido, 2024....	51
Figura 3.18 Matriz de tiempos. Captura extraída del Programación de tiempos en PYTHON, 2024....	52
Figura 3.19 Tiempo de recorrido. Captura extraída de la solución óptima la ubicación geográfica después, al seleccionar cada una de las capas del recorrido, 2024....	52

Figura 3.20 Análisis de sensibilidad o what if.....	53
Figura 3.21 Ejemplo de análisis de sensibilidad.....	54
Figura 3.22 Diseño de transporte, Opción de transporte, 2024....	59
Capítulo IV	
Figura 4.1 Mapa de la corrida de los puntos, ubicación geográfica. Captura extraída de QGIS, 2024....	61
Figura 4.2 Corrida después de la eliminación de puntos (4,10) en distancia. Captura de la ubicación geográfica en QGIS, 2024....	62
Figura 4.3 Corrida después de la eliminación de puntos (4-10) en tiempos.....	63
Figura 4.4 Corrida después de la eliminación de puntos (10-12) en distancias.....	64
Figura 4.5 Corrida después de la eliminación de puntos (10-12) en tiempos.....	65
Figura 4.6 Corrida después de la eliminación de puntos (11-12) en distancias.....	66
Figura 4.7 Corrida después de la eliminación de puntos (11-12) en tiempos.....	67
Figura 4.8 Corrida después de la eliminación de puntos (9-8) en distancias.....	68
Figura 4.9 Corrida después de la eliminación de puntos (9-8) en tiempos.....	69
Figura 4.10 Ruta óptima de comercialización mediante el análisis de sensibilidad, eliminando un punto (10)....	70
Figura 4.11 Ruta óptima de comercialización mediante el análisis de sensibilidad, eliminando un punto (10).....	71
Figura 4.12 Captura de la ubicación geográfica después de la eliminación de un nodo (10)....	72
Figura 4.13 Porcentaje óptimo eliminando el punto 10.....	73

1. Introducción

El crecimiento del sector agropecuario desempeña un papel crucial en la reducción de la pobreza y de la desigualdad. El Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) estima que siete de cada diez pobres del mundo siguen viviendo en zonas rurales. Entre ellos se incluyen pequeños propietarios, campesinos sin tierras, pastores tradicionales, pescadores artesanos y grupos marginales como refugiados, poblaciones indígenas y hogares encabezados por una mujer.

De acuerdo con el portal de datos abiertos Data México del gobierno de México, los trabajadores de apoyo en actividades agrícolas representan una fuerza laboral de 2.13M personas, cuyo salario promedio es de \$3.46k MXN, la edad promedio de estos trabajadores es de 36.6 años, con una escolaridad promedio de 6.99 años. Este sector presenta una informalidad en los puestos de trabajo de 95.1%. La informalidad de esta ocupación fue superior a la informalidad a nivel país en 40 puntos porcentuales a inicios del 2023.

Por otro lado, en el 2023 los trabajadores artesanales conforman una fuerza laboral de 6.36M personas, 70% hombres y 30% mujeres; con salario promedio mensual para los hombres de \$6.88k MXN y \$3.51k MXN para las mujeres. La edad promedio de los trabajadores artesanales fue de 43.7 años, con un grado de escolaridad promedio de 8.37 años. La gran mayoría trabaja en este sector de manera informal, 78.1%, porcentaje superior al promedio de la informalidad en México, 55.1%. Las entidades con mayor número de trabajadores artesanales fueron el Estado de México, Jalisco y Guanajuato.

El censo agropecuario 2022, reporta un decremento en la superficie agrícola promedio por unidad de producción activa. En 2007 la superficie promedio fue de 7.7 Ha y para 2022 la superficie promedio por unidad de producción es de 5.9 Ha. La estadística nacional muestra para las unidades de producción propiedad de personas físicas por tamaño representan el 71.8% con hasta 5 Ha y el 28.2% corresponde a unidades de producción agropecuaria mayores a 5 Ha. Lo anterior contrasta con el caso del Estado de México, en donde e, 92.9% de las unidades de producción agropecuaria tienen una extensión de hasta 5 Ha, y un 7.1% un área superior a 5 Ha.

El INEGI a través del censo agropecuario a nivel nacional observa un 70% de los productores agropecuarios con una edad superior a los 45 años y solo el 27.2% tiene una edad comprendida entre 18 a 45 años. Para el caso Estado de México el porcentaje de productores con una edad superior a los 45 años es de 78.1% y para el rango de edad de 18 a 45 años es del 21%. Lo cual refleja una baja participación de población joven en actividades agropecuarias. Además, el nivel de escolaridad para los productores agropecuarios a nivel nacional y Estado de México, en más de un 50%, se limita a educación primaria.

Dentro de las 10 principales problemáticas detectadas a nivel nacional en el Censo Agropecuario 2022 se detecta el alto costo de insumos y servicios, factores climáticos, degradación de suelos, contaminación de agua y suelos, baja de precios o disminución de ventas a causa de la pandemia del COVID-19, dificultades para la transportación, productor de edad avanzada o enfermo, dificultad para la comercialización debido al excesivo de intermediarismo y dificultad para el almacenamiento.

En las actuales condiciones de los mercados tradicionales, nacionales e internacionales, los pequeños productores se encuentran en relaciones sociales y económicas asimétricas y desfavorables frente a los comerciantes, mayoristas, empresas intermediarias, transnacionales y cadenas de supermercados. En la cadena de producción actual se presenta una integración vertical en la producción y distribución de los productos agropecuarios, permitiéndoles establecer las reglas que rigen la comercialización y condiciones de la producción. Dando por resultado, que los pequeños productores en el mejor de los casos requieran integrarse a estos modelos verticales donde obtienen la menor proporción de los beneficios de su producción. Esta inequidad en la distribución de los beneficios se debe a la existencia de intermediarios quienes tienen la posibilidad de contar con mayores recursos financieros, infraestructura logística de distribución y conocimiento e información del mercado.

Dado a estas situaciones, surgieron los circuitos cortos; Los circuitos cortos de comercialización (CCC), son una forma de comercio basada en la venta directa de productos frescos o de temporada sin intermediario, o reduciendo al mínimo la intermediación, entre productores y

consumidores. Los CCC ofrecen beneficios tales como: consumidores adquieran productos locales, acercar a los agricultores al consumidor, precios justos, alta calidad, fomentan el trato humano, y sus productos, al no ser transportados a largas distancias ni envasados, generan un impacto medioambiental más bajo. El acceso a alimentos de manera segura, ecológica y barata es una tendencia generalizada, entre más cerca, más eficiente y sustentable. Los pequeños productores obtienen más valor de su producción, se ahorran en transporte, embalaje, entre otros. Las formas preponderantes de venta de la agricultura familiar y pequeños productores son las ferias agrícolas y mercados para los pequeños productores. (Beily et al., 2011)

En este contexto, existen ferias, que son promovidas por asociaciones de pequeños agricultores desde distintos espacios o redes, ya sea por calidad, precio de los productos ofertados, o demanda de los consumidores de contar con más información sobre la procedencia y características de los alimentos que consumen. La mayoría de estos espacios busca diferenciarse a través de la etiqueta artesanal, orgánico o procedencia local. En general, los productos ofrecidos son hortalizas frescas, productos transformados como mermeladas y conservas o algún otro tipo de producto realizado con materia prima local.

Desafortunadamente la periodicidad de estas ferias en el mejor de los casos es semanal en otros casos se celebran de forma mensual o anual. La periodicidad de las mismas limita el impacto del CCC a eventos de acercamiento al consumidor, marketing, publicidad de lugares, posicionamiento de productos resaltando su procedencia, modo de producción, estos eventos también permiten la creación de alianzas o networking entre comerciantes. Las ferias, aunque sirven como elemento relevante en la difusión de productos orgánicos, artesanales o locales tienen la limitante de no ser permanentemente accesibles a los consumidores finales.

El objetivo del trabajo consiste en analizar canales cortos de comercialización para la entrega de productos orgánicos en los domicilios de los consumidores y ver si es factible económicamente; El trabajo aportara al fortalecimiento de distribución, el desarrollo de redes de comercialización y al consumidor tendrá impacto en consumo de productos orgánicos y saludables.

CAPÍTULO I Antecedentes

1.1 Antecedentes

La asociación legal de productores locales A.L.P.R. TONAEM agrupa a 27 pequeños productores, de los cuales: 13 son productores agrícolas orgánicos, 7 artesanos y 7 transformadores. Los productores agrícolas implementan practicas 100% sustentables en todo todos sus procesos; realizan prácticas amigables de uso de suelo, aire y agua; este modo de producción no perjudica al medio ambiente. Para garantizar que sus procesos son orgánicos, todas las etapas de producción cumplen con una certificación participativa. Para alcanzar este cumplimiento de certificación participativa los productores han adoptado de manera progresiva y definitiva tecnologías sustentables tales como:

Sistema de riego por goteo. Para el riego se usa un sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia y un sistema de riego por goteo el cual permite una reducción en el consumo de agua. Con un sistema de almacenamiento de 10,000 litros de agua es posible suministrar en una parcela el agua de riego suficiente para 5 meses.



Figura 1.1 Sistema de Riego por Goteo de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024. a) Sistema de captación de agua pluvial. b) Depósito de agua pluvial con capacidad de 10,000 lts. c) Sistema de riego por goteo

Fertilización orgánica: Para la fertilización de la parcela se hace uso de fertilización orgánica que ellos mismos producen. Los tipos de fertilizantes orgánicos utilizados son la composta, lombricomposta y biofertilizantes; provenientes de sustancias naturales, vegetales y/o animales, previamente compostados o fermentados. Los productores acomodan la **composta** en capas, la composta tarda 8 semanas en el proceso de fermentación para ser considerada orgánica. La **Lombricomposta** es un método de composteo pasivo formando por microorganismos y lombrices rojas (*Eisenia fétida*) para su instalación puede utilizarse un contenedor de madera o de plástico, es ideal que la lombricomposta tenga una humedad inicial alrededor del 70% al 80%, arriba de este rango, se considera una humedad excesiva, para realizar su evaluación de humedad se toma un puño de mano del material, se exprime con fuerza y deben salir algunas gotas entre los dedos. Algunos productores recomiendan alimentar a las lombrices con residuos parcialmente descompuestos como (cáscaras de frutas y verduras) para evitar el calor excesivo cuando se acumulan, finalmente la composta se considera madura luego de 16 semanas; se recomienda que pase por un tiempo de “curado” antes de su uso, esto se logra almacenando la lombricomposta en un bote bien aireado con una duración aproximada de cuatro semanas más. También utilizan un fertilizante conocido como BIÓL generado a partir de un biodigestor (biogas) que con residuos de materia orgánica tanto como los excrementos animales como los restos vegetales son materia prima para la formación de gas y el abono orgánico (BIÓL).



a)



b)

Figura 1.2 Fermentación Orgánica de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024. a) Abono Orgánico b) Composta Orgánica



Figura 1.3 Lombricomposteo, composta formada por microorganismos y lombrices rojas



Figura 1.4 Biofertilizante.

Estaciones de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.



a)



b)

Figura 1.5 Fertilizante BIÓL de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024. a) Biodigestor generador de gas b) Desbordamiento de líquidos de materia orgánica conocido como BIÓL

La asociación TONAEM cuenta con un **Banco de semillas** con el propósito de conservar diferentes especies de semillas y a su vez para la venta en el tianguis. Así mismo preservar las semillas que mejor se adaptan a las condiciones geográficas y climatológicas de la localidad. Por cada temporada de cosecha, se seleccionan las semillas de los mejores ejemplares que se han adaptado y tienen mejor rendimiento. Debido a que el Banco de semillas es comunal, permite el intercambio entre los integrantes de la asociación y con terceros.



Figura 1.6 Banco de semillas de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.

A partir de especímenes seleccionados del banco de semillas, los agricultores inician su ciclo de siembra plantando las semillas en camas de germinado que son contenedores para también evitar que sean susceptibles en atraer animales como hormigas, entre otros, y aquí se conservan para su primera etapa de crecimiento; a estas semillas germinadas se les conoce como plántulas. Estas plántulas ya finalizadas su primera etapa de crecimiento, son destinadas para venta, siembra o intercambio con otros productores.



Figura 1.7 Plántulas de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.

Cada agricultor cuenta con áreas o terrenos destinados para la siembra, también conocidos como unidades de producción y son divididas en subparcelas. Cada subparcela puede ser de distinto tipo como: invernadero, al aire libre y de temporal.



a)



b)



c)

Figura 1.8 Parcelas de una Estación de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024. a) De Invernadero b) Al aire libre c) Por temporal.

En cada subparcela realizan prácticas ecológicas y sostenibles con el uso del suelo, como la rotación de cultivos para mitigar la falta de nutrientes en el suelo e infestaciones de plagas de forma efectiva y natural, sin perjudicar al medio ambiente. La rotación de cultivos permite reponer los nutrientes en el suelo de forma natural y ayudar al desarrollo natural sin productos químicos y artificiales. Algunos de sus beneficios son: La ruptura de malezas, insectos y enfermedades. Otra de las practicas implementadas es la asociación de cultivos, la cual consiste en combinar dos o más especies vegetales en el mismo huerto y en el mismo periodo de tiempo, obteniendo de esta forma mejores producciones y cultivos sanos, las asociaciones de plantas que usualmente realizan son:

- Trigo - girasoles - barbecho – lechuga
- Maíz - avena - alfalfa o tréboles - barbecho o pasto
- Zanahorias - trigo - espiguilla (pasto azul)
- Invierno: trigo - trigo - colza - trigo - trigo - soja/girasoles durante 2 años
- Verano: Maíz (mazorcas) - soja - girasoles - algodón - maíz - soja - trigo.

El Comité del tianguis TONAEM proporciona capacitaciones y talleres a mas productores y jóvenes para la agricultura orgánica para que el cultivo de estos productos orgánicos se siga retomando y vendiendo.



Figura 1.9 Capacitación a Productores y Jóvenes. Estaciones de Producción de la asociación de pequeños productores TONAEM Villa del Carbón, 2024.

El Comité del Tianguis TONAEM cuenta con una “Certificación Orgánica Participativa”, (SCOP) desde 2016; certificación que asegura su producto, proceso, sistema o el servicio se ajustan a normas, lineamientos y recomendaciones de organismos dedicados a la normalización nacional e internacional. Las Certificaciones Orgánicas Participativas están dirigidas a pequeños productores o asociaciones, que producen y comercializan sus productos directamente al consumidor final a través de tianguis o mercados establecidos.

La actividad del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), de acuerdo a lo establecido en la Ley de Productos Orgánicos en México (LPO), reconoce aquellos SCOP que tienen procedimientos bien definidos y documentados sobre el proceso de certificación participativa. En estos documentos debe ser posible constatar que los pequeños productores implementan prácticas de manejo, nutrición de cultivos, control de plagas y enfermedades, prácticas de cosecha, transporte, procesado, empaclado o etiquetado, etc., atendiendo los principios y criterios de producción orgánica, que se encuentran en la LPO. (Mayorga, 2021)

El comité TONAEM realiza visitas a la unidad de cada uno de sus productores para garantizar que cumplan con los estándares de productos orgánicos. Se registran completamente sus procesos productivos en bitácoras; se registra y verifica en las visitas que tanto sus abonos como la composta sean 100% orgánicos, el suelo de producción como sus parcelas, su cultivo, que tengan un sistema de riego por goteo, que los animales no sean maltratados, entre otras normas y lineamientos. De no llevarse un seguimiento y control en las unidades de producción el comité sanciona al productor retirando su producto del tianguis orgánico.

La producción agrícola se lleva a cabo sin el uso de productos químicos con prácticas sustentables que garantiza alimentos naturales y saludables. Los agricultores generan productos para su propio consumo y también para venta, preocupándose por la seguridad alimentaria y nutricional. El Tianguis de productos orgánicos fue establecido en 2016 y se ha convertido en un punto de encuentro clave para aquellos que buscan opciones de alimentos frescos y cultivados

de manera sostenible. El Tianguis TONAEM se encuentra localizado en el municipio de Villa del Carbón, ubicado en la calle Miguel Enríquez Manzana 009, C.P. 54300, Estado de México.

Los canales de comercialización de los pequeños productores de la asociación productores locales A.L.P.R. TONAEM son:

1. Venta directa en la unidad de producción
2. Venta sábado y domingo en el Tianguis orgánico de Villa del Carbón
3. Venta directa a Restaurantes de la localidad

Se tiene una experiencia previa de comercialización de canastas de hortalizas en el Centro Universitario UAEM Valle de México que se localiza en Boulevard Universitario S/N Valle Escondido, Río San Javier, 54500 Cdad. López Mateos, Méx., CUVM-UAEMéx, procedentes de la asociación TONAEM Tianguis Orgánico de Villa del Carbón, TONAEM-TOVC, promocionada por una docente del espacio universitario. La forma de operación era la siguiente:

1. Se recibían pedidos de los profesores del CUVM-UAEMéx directamente con la promotora vía WhatsApp y directamente de palabra. La recepción de pedidos se realizaba de lunes a sábado.
2. Los sábados por la noche se enviaban la lista de pedidos a la asociación TONAEM-TOVC, con el objeto de apartar los productos para las canastas solicitadas
3. Con la lista de pedidos realizados la promotora se dirigía, en su vehículo particular, los domingos al Tianguis orgánico a recolectar, puesto por puesto, los productos a colocar en las canastas. No siempre se tenían los productos completos para cada canasta, debido a que no se conocía a tiempo la cantidad de artículos solicitados para su cosecha y disponibilidad. Los productos faltantes eran substituidos por algún otro para completar el precio estándar de las canastas.
4. El domingo por la tarde, la promotora en su domicilio armaba cada una de las canastas solicitadas para su entrega al día siguiente.
5. Los lunes realizaba la entrega de las canastas a los compradores en las instalaciones del CUVM-UAEMéx.

En este esquema de comercialización de canastas, la responsabilidad logística recaía sobre la promotora: el gasto de recolecta y entrega de las canastas, la gestión de pagos, difusión y promoción. La labor de comercialización de canastas de hortalizas se realizaba sin fines de lucro, la intención fue promover el consumo de productos orgánicos generados por pequeños productores de la localidad; y de esta forma también apoyarlos económicamente con la venta de sus productos. La cantidad de canastas de hortalizas comercializadas por semana era de 20 unidades. Este esquema de comercialización no era sostenible económicamente y dependía totalmente de la buena voluntad, tiempo y disponibilidad de la promotora.

1.2 Marco Contextual y Marco Espacial

Este trabajo se lleva a cabo en el Centro Universitario UAEM Valle de México, se realizaron vistas de campo en la comunidad rural de los pequeños productores del sector agropecuario de Villa del Carbón, elaborando un análisis para determinar el potencial beneficio económico de la entrega de pedidos a clientes de la comunidad del CUVM de las canastas de hortalizas.

La delimitación espacial de este trabajo implica la implementación de canales D2C (Direct-to-Consumer) como mecanismo para acortar los Circuitos de Comercialización de las canastas de hortalizas provenientes de la asociación ubicada en Villa del Carbón. El análisis se centra sobre la procedencia de los potenciales clientes provenientes de la comunidad del CUVM, y en consecuencia la zona de influencia del CUVM; los lugares a considerar en el análisis son los municipios de Villa del Carbón, Atizapán de Zaragoza, Nicolás Romero, Cuautitlan Izcalli, Naucalpan y Tlanepantla.

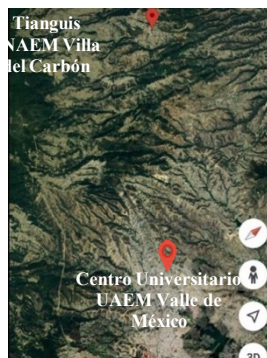


Figura 1.10 Distancia del Centro Universitario UAEM al Tianguis TONAEM Villa del Carbón, Captura Google Earth, 2024

1.2.1 Localización específica del proyecto



Imagen 1 Municipio Atizapán de Zaragoza, Edo. Méx.

Captura Google Earth, 2024



Imagen 2 Centro Universitario UAEM Valle de México.

Captura Google Earth, 2024



Figura 1.13 Casco del Centro Universitario UAEM.

Captura Google Earth

1.3 Actualidad y relevancia del tema

Este tema propuesto es actual y relevante de acuerdo al plan curricular de la Carrera de Ingeniería Industrial vinculadas a las materias de Investigación de Operaciones, Administración de Operaciones, Administración Estratégica, Manufactura de Clase Mundial, Comercialización, en el área de logística y transporte terrestre de mercancías. (Caplice & Sheffi, 2006)

1.4 Planteamiento del problema

De acuerdo con el portal de datos abiertos Data México del gobierno de México, los trabajadores de apoyo en actividades agrícolas representan una fuerza laboral de 5.76k MXN personas, cuyo salario promedio es de \$2.62k MXN y, 10.9% mujeres con salario promedio de \$3.54k MXN (Leguizamón et al., 2023) . Mejorar el ingreso es una prioridad, que puede ser alcanzable ampliando los canales de venta. En este caso se plantea la entrega de productos a domicilio.

Bajo este contexto el problema se centra en los desafíos que enfrentan los pequeños productores del Tianguis TONAEM, para expandir su mercado considerando la eficiencia en la distribución de sus productos.

Los problemas según el Censo Agropecuario 2022 (HERNÁNDEZ, 2022) los principales problemas de los pequeños productores son:

1. Acceso limitado a los mercados locales
2. Necesidad de facilitar la conexión con los mercados locales
3. Demasiado intermediarismo

La implementación de canales cortos de comercialización o entrega directa al consumidor menos intermediarios entre el productor y el destinatario final. Estos canales cortos tienen como beneficio principal permitir una mejor comprensión de las necesidades y preferencias del consumidor y brindan a los productores un mayor control sobre el precio final de sus productos.

Se parte de la base de clientes y dada su punto de entrega; se establece un modelo de ruteo eficiente para la entrega de los pedidos de los productos, con el fin de reducir el tiempo de entrega, minimizar los costos y optimizar recursos. Este modelo de ruteo debe considerar la utilización óptima de recursos y la minimización de gastos, proponiendo rutas económicamente convenientes.

1.5 Objetivo General y Específicos

1.5.1 Pregunta de Investigación

¿Cómo evaluar la conveniencia de un punto de entrega, para la venta directa al consumidor (D2C) en la distribución de productos orgánicos, dada la ubicación de un grupo de clientes, pedido?

1.5.2 Objetivo General

Desarrollar un algoritmo para el análisis de enrutamiento para productos agrícolas, a través de canales de venta directa al consumidor (D2C) entrega de productos.

1.5.3 Objetivos Específicos

- Investigar algoritmos para la planificación y enrutamiento eficiente que permitan decidir el área de expansión de mercado agrícola.
- Plantear escenarios para distribución y entrega de pedidos D2C
- Obtención de resultados

1.6 Justificación

La Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y agricultura (FAO), tiene como finalidad alcanzar la seguridad alimentaria para todos y asegurar que todas las personas puedan acceder regularmente a una cantidad suficiente de alimentos de calidad que les permita llevar una vida activa y saludable.

Por otro lado, el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) por su parte se centra en la reducción de la pobreza en áreas rurales. Se centra en eliminar la pobreza, el hambre y la malnutrición; aumentar su productividad y sus ingresos; y mejorar la calidad de sus vidas. Haciendo énfasis en la agricultura y el desarrollo rural sostenible para aumentar la producción de alimentos y mejorar la seguridad alimentaria.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, el hambre, la discriminación contra mujeres y niñas y proteger el planeta. Dando valor a cada uno de los proyectos de investigación, con ello garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad. (Caceres, 2024)

Los ODS son interdependientes, por lo que puede contribuir a varios ODS los cuales están integrados por 17 (Rius Torrijos, 2024). En este proyecto se llevan a cabo los siguientes 3 ODS:

2	Hambre cero	Lograr la seguridad alimentaria, garantizar una alimentación nutritiva y promover la agricultura sostenible.
12	Producción y consumo responsables	Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, incluyendo la reducción del desperdicio y el uso eficiente de recursos.
13	Acción por el clima	Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos.

Tabla 1.1 ODS y sus Características. Elaboración propia, 2024: Recuperada de la ONU: Los ODS en la Investigación

La FAO presenta recomendaciones para expandir los canales de comercialización tradicionales, considerar los siguientes puntos para el marketing:



Figura 1.14 Recomendaciones para el Marketing

- **Proceso de venta**

Retomando el proyecto de canasta de hortalizas del CUVM de 20 canastas por semana, ahora, se considera el objetivo de venta de 25 canastas por semana.

- **Público objetivo**

En mercado objetivo se tiene a la comunidad del Centro Universitario (UAEM) particularmente a Profesores, ya que CUVM cuenta con más de 200 docentes.

- **Difusión**

Registro de pedidos con Tecnologías nuevas.

- **Dificultades**

Factibilidad de entrega de pedidos en D2C a sus domicilios, en las zonas de Nicolás Romero, Atizapán, Naucalpan, Cuautitlán Izcalli.

Este proyecto se enmarca dentro de un contexto donde se busca mejorar la eficiencia en la distribución, entrega y ubicación de puntos de venta para productos agrícolas. Específicamente, se enfoca en beneficiar a los pequeños productores de Villa del Carbón.

La relevancia de este proyecto se fundamenta en varios aspectos. En primer lugar, la eliminación de intermediarios, contribuirá a reducir los costos asociados a la cadena de distribución, lo que aumentará la rentabilidad para los agricultores. Además, la optimización de rutas y tiempos de

entrega permitirá una gestión logística más eficiente, garantizando que los productos lleguen frescos y en óptimas condiciones a los consumidores finales.

1.7 Hipótesis

Hipótesis₀= Mediante un análisis de sensibilidad (what if) se mejora la técnica de comparar diferentes escenarios y el beneficio promedio por unidad en la planificación de entregas de productos agrícolas a domicilio.

Hipótesis_a= Mediante un análisis de sensibilidad **NO** se mejora el beneficio promedio por unidad en la planificación de entregas de productos agrícolas a domicilio.

1.9 Alcances y limitaciones

1.9.1 Alcances

En este trabajo, se diseña y simula un algoritmo específico para la planificación y enrutamiento eficiente de productos agrícolas a través de canales de venta directa al consumidor (D2C). Esto implica la aplicación práctica de conceptos teóricos estudiados en la revisión bibliográfica, planteando diferentes escenarios para la distribución y entrega de pedidos, permitiendo evaluar la eficacia del algoritmo propuesto en diversas situaciones. Esta información proporciona la eficiencia y la viabilidad práctica de dicha propuesta.

1.9.2 Limitaciones

La disponibilidad de datos precisos y actualizados sobre la producción agrícola de los pequeños productores del Tianguis Orgánico TONAEM de Villa del Carbón, la demanda de los clientes y la infraestructura logística puede ser limitada, lo que podría afectar la precisión de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos están limitados a las condiciones específicas del Tianguis Orgánico TONAEM de Villa del Carbón y pueden no ser aplicables a otros contextos o regiones. Los factores externos, como cambios en las condiciones climáticas, regulaciones gubernamentales o fluctuaciones en los precios de los productos agrícolas, pueden influir en la efectividad de la planificación y enrutamiento propuestos, por lo cual estos factores deben ser considerados.

1.10 Marco metodológico

1.10.1 Desde el punto de vista de su aplicación

Por medio de la recolección y análisis de datos relevantes y suficientes, como son: cantidad de productos orgánicos del tianguis TONAEM, distribución geográfica de los productores y conectividad entre unidades de producción.

Se lleva a cabo un de análisis de ruteo, algoritmos de optimización, en canales D2C del Tianguis Orgánico, cuidando la sostenibilidad de los productos de este mercado.

1.10.2 Desde el punto de vista de sus objetivos

Es una investigación descriptiva ya que expone técnicas de planificación agrícola y ruteo en canales D2C ya que desarrolla estudios de factibilidad para cada escenario de distribución y entrega de pedidos, diseñando un estudio completo de técnicas de evaluaciones de rutas D2C.

1.10.3 Desde el punto de vista de su modalidad

Es una investigación científica pura, cuantitativa, donde se diseña un algoritmo.

FASES	Descripción	Métodos
Fase 1	Analizar revisión bibliográfica	Análisis-Síntesis del marco teórico y marco contextual

Fase 2	Investigar algoritmos para la planificación y enrutamiento eficiente de productos agrícolas, a través de canales de venta directa al consumidor (D2C) para la distribución de productos orgánicos	Comparar diferentes de algoritmos y seleccionar el algoritmo más conveniente D2C para que aumente considerablemente el margen de beneficio
Fase 3	Realizar un análisis What if? Para evaluar los costos asociados a la entrega de un nodo dado	Análisis de sensibilidad de los diferentes escenarios.
Fase 4	Presentar los resultados obtenidos	Describir resultados

Tabla 1.2 Metodología de investigación de ruteo y planificación agrícola en canales D2C para el Tianguis Orgánico TONAEM de Villa del Carbón. Elaboración propia, 2024.

CAPÍTULO II Marco Teórico y Estado del Arte

Fase 1 Analizar revisión bibliográfica

2.1 Formas de comercialización

Los CCC son una serie de experiencias relativamente modernas y de diverso tipo, por ello han aparecido una gran variedad de alternativas mediante las cuales agricultores como consumidores buscan una nueva forma de relación y de rentabilidad a determinadas zonas periurbanas.

Se identificaron tres tipos principalmente de CCC, en los cuales existen distintas formas de conexión entre consumidor y productor. (Hernández et al., 2023)

- “Cara a cara” o de venta directa, productos los cuales el consumidor compra directamente al productor o a quien lo ha procesado.
- “Proximidad espacial” donde el producto se pone a la venta en la zona o región donde fueron producidos y los consumidores saben el origen del producto
- “Especialmente extendidos” son los casos en que los productos son trasladados al consumidor que esta fuera de la región y puede que este no tenga ningún conocimiento personal del proceso de los productos, pero aun así son canales cortos ya que está involucrada a la información del productor.

En cuanto a las formas preponderantes de venta de los pequeños productores de la asociación TONAEM, se destacan el mercado orgánico en Villa del Carbón y la venta a restaurantes de la localidad. Estos canales de venta acortan los circuitos de comercialización, lo que beneficia tanto al productor como al medio ambiente al reducir el transporte necesario en la cadena de distribución debido a su enfoque local.

2.1.1 Innovación en la comercialización

De acuerdo con (ZUÑIGA et al., 2020) durante la pandemia algunas (os) agricultoras (es) familiares tuvieron que encontrar la forma de llegar a las (os) consumidoras (es), para lo cual empezaron a utilizar aplicaciones en los celulares; por ello se toma en cuenta que para la innovación en la comercialización los productores sigan implementando tecnologías para hacer llegar a los consumidores sus productos, tales como redes sociales, aplicaciones de tienda online, WhatsApp, Facebook, YouTube. entre otras, para que así comercialicen los productos de forma directa y permitan acortar los circuitos de comercialización.



Figura 2.1 Innovación en la Comercialización

2.1.2 ¿Cómo funciona por parte del productor?

Una experiencia total

Con el canal D2C es un control total: el stock, el almacenamiento, la manufactura, el marketing, la distribución de las ventas en transportes y atención al cliente; obteniendo información directa y rápida del mercado. (Macias Vélez & Pilaguano Enríquez, 2023)

Una experiencia digital

Con el modelo D2C mediante el canal de venta directa digital se hace para agilizar la compra y evitar los costos de mantenimiento de tiendas físicas, con una imagen de marca totalmente controlada, rutear todo sobre el producto, mostrando toda la información y detalles que quieran observar los clientes finales, ya que de ellos depende gestionar los pedidos, dudas, quejas y reseñas. (Moreno Beltrán, 2020)

Experiencia omnicanal

El medio digital implica que el fabricante necesita estar en todas partes al mismo tiempo, actuar como un retailer clásico, por eso mismo implementar en el centro universitario el canal de distribución, poner a disposición del cliente final el catalogo online completo, plan básico de distribución debe especificar las cantidades y la secuencia de entregas al realizar (Olivera, 2004) y apoyar en el enrutamiento eficazmente. (Moreno Beltrán, 2020)

El sistema se implementará en el espacio universitario en donde se invitará a pequeños productores a participar ofertando sus mercaderías a través de una tienda virtual, se realizará la consolidación de las compras de la comunidad universitaria o tianguis orgánico TONAEM que se realizará de forma regular, por lo que se pretende utilizar un modelo o algoritmo de ruteo para la planificación agrícola en Canales D2C -Direct to Consumer- (Macías Vélez & Pilaguano Enríquez, 2023) esto quiere decir un modelo de negocio -Venta directa al Cliente final sin intermediarios- esto se considera un canal D2C.

2.1.3 Alimentación y Agricultura (FAO)

En la Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y agricultura (FAO). Se constituyó en 1945 y cuenta actualmente con 191 miembros, su función principal es la de conducir las actividades internacionales encaminadas a erradicar el hambre, actuar como un foro neutral donde todos los países se reúnen para negociar acuerdos y debatir políticas y ayudar a los países en desarrollo y a los países en transición a modernizar y mejorar sus actividades agrícolas, forestales y pesqueras, con el fin de asegurar una buena nutrición para todos. Estas funciones hacen de la FAO el foro por excelencia de los debates en torno a la agricultura y la seguridad alimentaria.

Tiene como finalidad alcanzar la seguridad alimentaria para todos y asegurar que todas las personas puedan acceder regularmente a una cantidad suficiente de alimentos de calidad que les permita llevar una vida activa y saludable. Los tres objetivos principales de esta organización son:

- Erradicar el hambre, la inseguridad alimentaria y de la malnutrición
- La eliminación de la pobreza y el avance hacia el progreso económico y social para todos
- La gestión del uso sostenible de los recursos naturales, como la tierra, el agua, el aire, el clima y los recursos genéticos, en beneficio de las generaciones de hoy y de mañana.

(Mora Monserrate, 2024)

El Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) por su parte se centra en la reducción de la pobreza en áreas rurales. Para ello trabaja con poblaciones rurales en países en desarrollo para eliminar la pobreza, el hambre y la malnutrición; aumentar su productividad y sus ingresos; y

mejorar la calidad de sus vidas. Todos los programas financiados por el FIDA abordan de alguna manera la seguridad alimentaria y nutricional. El FIDA ha apoyado a cerca de 483 millones de personas en las cuatro últimas décadas. (LA FAO, 1990)

“El principal objetivo de la agricultura y el desarrollo rural sostenibles es aumentar la producción de alimentos de manera sostenible y mejorar la seguridad alimentaria. Esto requerirá la adopción de iniciativas en materia de educación, la utilización de incentivos económicos y el desarrollo de tecnologías nuevas y apropiadas, para así garantizar suministros estables de alimentos nutricionalmente adecuados, el acceso de los grupos vulnerables a esos suministros y la producción para los mercados; el empleo y la generación de ingresos para aliviar la pobreza; y la ordenación de los recursos naturales y protección del medio ambiente.

Es preciso dar prioridad al mantenimiento y mejoramiento de la capacidad de las tierras agrícolas con mayores posibilidades para responder a la expansión demográfica. Sin embargo, también es necesario conservar y rehabilitar los recursos naturales de tierras con menores posibilidades con el fin de mantener una relación hombre/tierra sostenible”.

2.1.4 Canales de Distribución

Los canales de distribución son los medios por los cuales se mueve un producto o servicio desde el fabricante hasta el consumidor final; Es decir, es la parte de la cadena de suministros que se encarga de hacer llegar el bien o servicio generado por los productores, a manos de los usuarios que van a adquirirlo. Existen varios tipos de canales de distribución como, por ejemplo: Canales cortos, canales largos, canales exclusivos, canales selectivos y canales mixtos. en este proyecto de investigación se requiere de un canal corto CC. (Pérez Rojas, 2023)

Los canales cortos son aquellos que implican pocos intermediarios entre el productor y el destinatario final(de Castro & García, 2004); por ejemplo, en el proyecto se implementó un sistema tecnológico para venta del producto agropecuario que será vendido directamente a los consumidores a través de un sitio web en este caso se estaría utilizando un canal corto.

2.1.5 ¿Para qué sirve el canal de distribución corto? (Julca Góngora & Montenegro Villacorta, 2024) (Vidal Rodríguez, 2019)

- **Control mejorado:** Los productores tienen más control sobre cómo se distribuyen y venden sus productos, lo que puede garantizar que se cumplan los estándares de calidad y la imagen de marca.
- **Costes reducidos:** Menos intermediarios significan menos ganancias pagadas en diferentes niveles de la cadena de distribución. Esto puede conducir a precios más bajos para los consumidores y/o mayores ganancias para los productores.
- **Comunicación directa con los clientes:** Permite una comunicación y retroalimentación más directa con los clientes, lo que puede ayudar a comprender mejor sus necesidades y preferencias.
- **Velocidad de entrega:** Los canales simples pueden conducir a una entrega más rápida y eficiente de productos a los clientes.
- **Adaptabilidad a productos específicos:** Puede ser particularmente útil para saber a qué productos tener mayor enfoque más dirigido y controlado.
- **Reducir el conflicto:** Con menos partes, hay menos riesgo de conflicto en el canal, lo que puede conducir a una cadena de suministro más fluida y eficiente.

2.1.6 Características del canal de distribución corto

- **Número limitado de intermediarios:** Como ya se mencionó en un sistema de distribución corto, hay pocos o ningún intermediario entre el productor y el consumidor final.
- **Los productores aumentan el control:** la simplicidad del canal permite un mayor control sobre la distribución, el precio, la promoción y otros aspectos de la comercialización del producto.
- **Comunicación directa:** Al llevar a cabo un canal corto conlleva a facilitar una comunicación y retroalimentación más directa con los clientes, lo que puede ayudar a comprender mejor sus necesidades y preferencias.

- **Costos de distribución reducidos:** Con menos intermediarios, hay menos márgenes y comisiones a pagar, lo que puede reducir los costos de distribución.
- **Velocidad de entrega:** esto puede permitir que los productos se entreguen a los clientes de manera más rápida y eficiente.
- **Estrategias de marketing directo:** Vender directamente a los consumidores a través de la tienda en línea.

2.1.7 Elementos del canal corto de distribución

- **Fabricante:** todo comienza con el productor o productora de bienes o servicios. En el canal de distribución corto, el productor juega un papel más activo para hacer llegar el producto al consumidor final.
- **Ventas directas al consumidor:** en muchos casos, los productores pueden vender directamente a los consumidores. Esto se puede lograr a través de su propia tienda física, tienda en línea, feria, mercado local o cualquier otro método que permita la conexión directa con los consumidores.
- **Mercadeo y Promoción:** debido a su conexión más directa con los consumidores, los fabricantes tienen mayor control y responsabilidad sobre el mercadeo y la promoción de sus productos.
- **Atención al cliente y retroalimentación:** la comunicación directa con los consumidores permite una retroalimentación más instantánea y un servicio al cliente más personalizado. Esto puede ayudar a mejorar los productos y adaptarse mejor a las necesidades del mercado.
- **Control de precios:** los productores tienen mayor control sobre el precio final de sus productos, ya que no hay muchos intermediarios agregando sus propios diferenciales y comisiones.
- **Adaptabilidad:** el circuito corto puede ser más flexible y adaptable a los cambios en el mercado o las preferencias del consumidor.

2.2 Beneficios

2.2.1 Beneficios económicos (Vidal Rodríguez, 2019)

- Mayor comunicación entre los agentes involucrados
- Negociación de precios (precios más justos)
- Confianza en la venta de origen de los productos

2.2.2 Beneficiarios directos

27 productores agrícolas los cuales son vendedores y conforman el tianguis TONAEM

2.2.3 Beneficiarios indirectos

Docentes y alumnos del C.U. UAEM y clientes cerca de los domicilios de entrega establecidos

2.3 Canal Corto y D2C

Los Canales Cortos de Comercialización (CCC) son distintas formas de conexión entre consumidor y productor (Hernández et al., 2023), además utilizando el canal D2C

2.4 Ruteo

El ruteo se refiere al proceso de planificar y optimizar las rutas que deben seguir nuestros vehículos para entregar los pedidos de manera eficiente y puntual. Es muy importante contar con direcciones normalizadas de entrega, en horarios de inicio, direcciones (trayectos) y asignación de entregas.

Precisa que, al considerar los siguientes factores de manera integral, se puede optimizar significativamente el ruteo de distribución, lo que resulta en ahorros de costos, mejora en la eficiencia y un aumento en la satisfacción del cliente. (Huaman Huancas & Angeles Núñez, 2024)

- Mejorar la gestión vehicular, mediante la optimización de combustible, menos distancias recorridas y mejor cuidado de los vehículos.
- La ruta debe permitir contar con vías alternativas y ofrecer soluciones en caso de contratiempos.

- Si las entregas, se realizan de manera adecuada, crecen la confianza y la relación con los clientes (Alcaide, 2015)
- Los Factores involucrados en el Ruteo de distribución logística, cuentan con una serie de factores para poder diseñar una ruta óptima que permita la entrega de los pedidos de manera eficiente y además existan múltiples factores críticos a tomar en cuenta de acuerdo a las características de la ruta
- La distancia óptima, no siempre es la distancia más corta entre dos puntos, existen factores como el tráfico, las condiciones del camino y las restricciones legales pueden hacer que una ruta larga sea más rápida o rentable. Evitar las horas de mayor tráfico vehicular puede significar una gran diferencia en el tiempo total de entrega y, por lo tanto, en la eficiencia de la ruta.
- También las dimensiones de carga son importantes a considerar, ya que se debe de tomar en cuenta el peso de la carga, el volumen, la capacidad del vehículo y su peso máximo.
- El tipo de carga requiere condiciones especiales, como refrigeración o manejo cuidadoso, lo que puede limitar las opciones al momento de cargar.
- Las ventanas de entrega, son restricciones temporales para algunos clientes o destinos, estas ventanas, tienen tiempos específicos para recibir entregas, impactando la secuencia en la realización de múltiples entregas en una sola ruta. Existe Flexibilidad del cliente, en algunos casos las ventanas de entrega pueden ser negociables, para la flexibilidad en la planificación.
- Los costos de mantenimiento dependen de las fluctuaciones en los precios del combustible, o el mantenimiento de los vehículos, lo que puede hacer que ciertas rutas sean más costosas en diferentes momentos.
- Algunas rutas pueden requerir el pago de peajes o licencias especiales, lo que debe incorporarse en el análisis de costos.
- Las condiciones climáticas pueden tener un impacto significativo en la viabilidad de una ruta. Por ejemplo, algunas carreteras pueden ser intransitables durante el invierno o en condiciones de lluvia intensa.
- Las leyes locales o nacionales pueden afectar las rutas, como las restricciones de circulación en ciertas áreas, en ciertos horarios, o para ciertos vehículos.

CAPÍTULO III

Fase 2: Investigar algoritmos para la planificación y enrutamiento eficiente de productos agrícolas, a través de canales de venta directa al consumidor (D2C) para la distribución de productos orgánicos

En esta fase se aborda como se comercializarán las canastas de productos orgánicos de los pequeños productores de la Asociación TONAEM, por medio de CCC (canales cortos de comercialización), por lo que se requiere investigar algoritmos de ruteo para la optimización de rutas con entregas a domicilios en base a pedidos (hortalizas) mediante CCC y D2C.

3.1 Modelos de optimización

En los modelos de optimización de rutas, significa encontrar la ruta de distribución más eficiente para múltiples paradas o repartos con un menor costo posible, minimizar tiempo, entre otras variedades de complejidades, es decir “seleccionar la ruta más eficiente para llevar mercancía a su destino”, puede que parezca fácil, pero encontrar la mejor ruta es un proceso complejo. (Saldaña Rabanal, 2023)

En seguida se especifican los modelos de optimización más comunes para generar las rutas de distribución.

3.1.1 Método del barrido

Es utilizado para aumentar la eficiencia en costos vinculados a la distribución para micro emprendedores cuando salen a repartir sus productos a diferentes clientes y lograr que el costo total asociado al transporte sea el menor posible, ejemplos: gastos de combustible, mantenimiento de vehículos, etc. El principio de esta técnica se basa en optimizar costos, en no pasar dos veces por el mismo punto o cerca del mismo en la distribución de la mercancía. (Pedraza, 2016)

Los pasos a seguir para realizar este método son los siguientes:

1. Saber cada una de las paradas que se deben realizar en un mapa o cuadrícula, incluyendo el punto de origen.

2. Se traza una línea recta desde el lugar de origen, que gira en sentido de las manecillas del reloj, hasta que se intercepte una parada.
3. Se empieza a diseñar la ruta con el punto de origen y puntos encontrados que lleguen a el límite de mercancía que pueda transportar el vehículo, regresando al punto de origen se cierra la distribución y a continuación se sigue barriendo y diseñando las próximas rutas. (Pedraza, 2016)

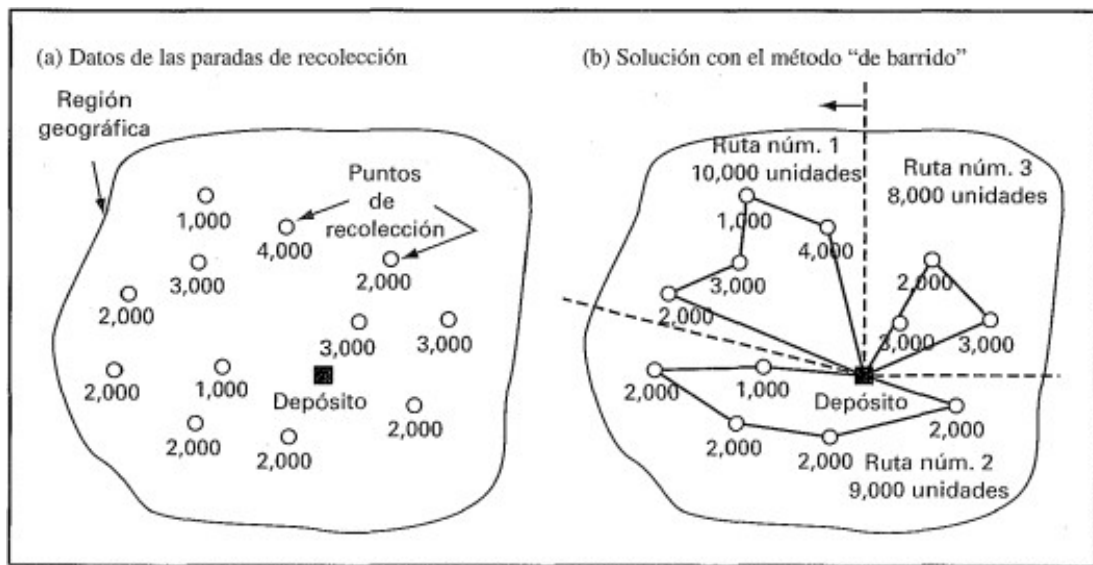


Figura 3.1 Métodos de programación y diseño de rutas" por R.H. Ballou, *Logística: Administración de la Cadena de Suministro*, p. 241, 2005 Pearson Prentice Hall.

3.1.2 Problema del vendedor viajero (TSP, por sus siglas en inglés)

Este modelo de optimización es un clásico en la teoría de grafos y la optimización combinatoria. El objetivo es encontrar la ruta más corta que permita a un vendedor visitar un conjunto de ciudades una sola vez y regresar a la ciudad de origen.

Este método se utiliza cuando los clientes son demasiados, consiste en hallar el camino más corto que recorre en una situación de n ciudades o puntos de interés, donde cada ciudad es visitada exactamente una vez antes de regresar al punto de origen con el menor costo posible. (Calvo Almeida, 2022)

Utilizaremos el ejemplo anterior solo que a este le asignaremos un nuevo cliente (Cliente E) con dicha distancia.

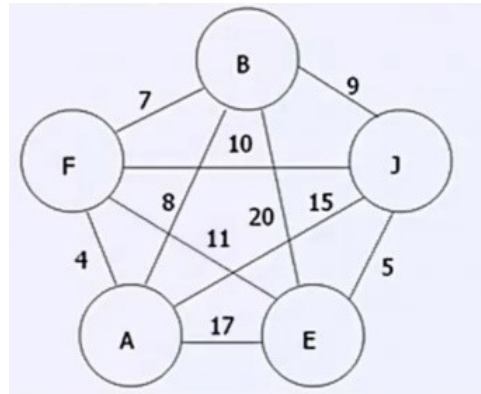


Figura 3.2 Agente Viajero TSP, Taha 2012.

Los pasos a seguir para realizar este método son los siguientes:

1. La solución empezara desde el punto de origen (B) y buscaremos el camino más corto que se conecta a ella entre F, A, E, J: que sería $F=7$

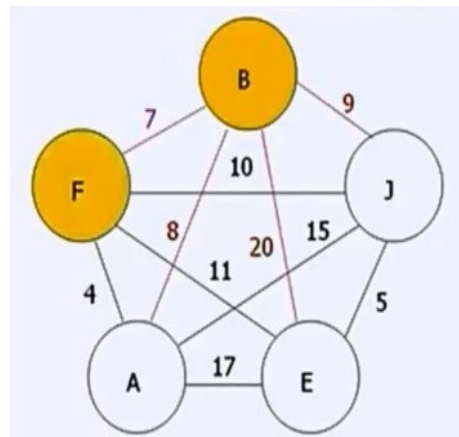


Figura 3.3 Agente Viajero camino más corto TSP, Taha 2012.

2. Con el punto F haremos lo mismo, veremos que distancia es la más corta entre los otros clientes A, E, J sabiendo que ningún camino se tiene que repetir: que sería $A=4$

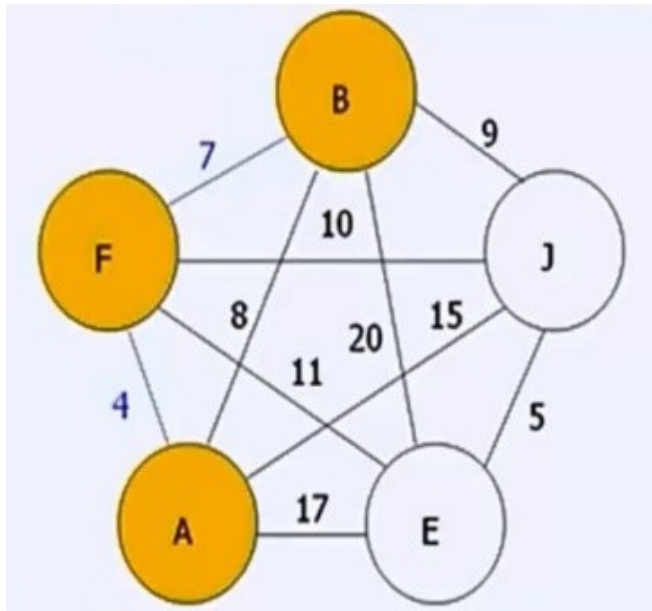


Figura 3.4 Agente Viajero distancia más corta TSP, Taha 2012.

3. Se vuelve hacer lo mismo con el punto A entre los otros clientes J, E: que sería $J=15$

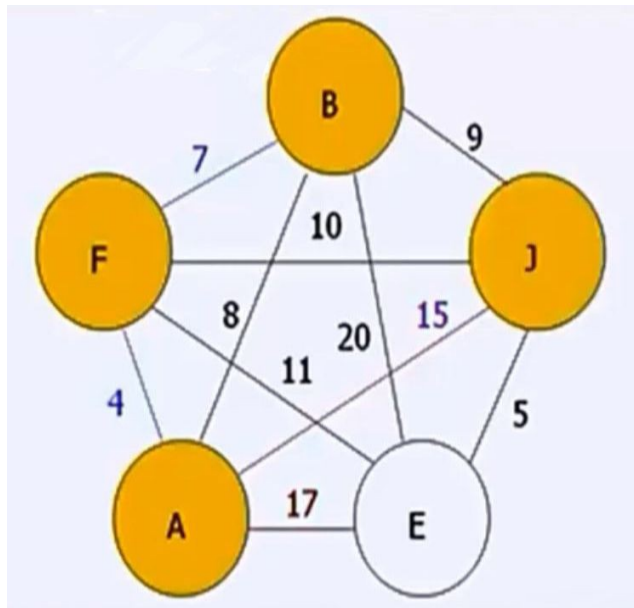


Figura 3.5 Agente Viajero TSP mismo recorrido con los otros clientes, Taha 2012.

4. Una vez más hacemos solo entre J y E que es el último recorrido que falta: que sería $E=5$

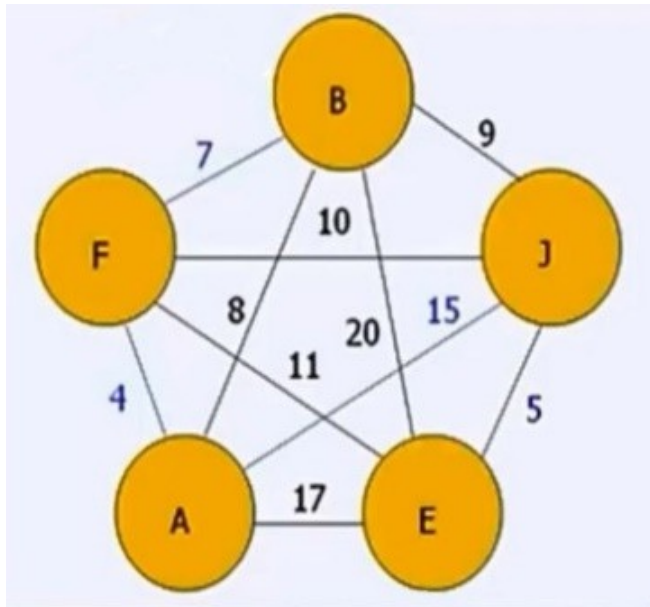


Figura 3.6 Agente Viajero TSP mismo último recorrido, Taha 2012.

- Y por último llevamos del cliente E al punto de origen B que sería =20

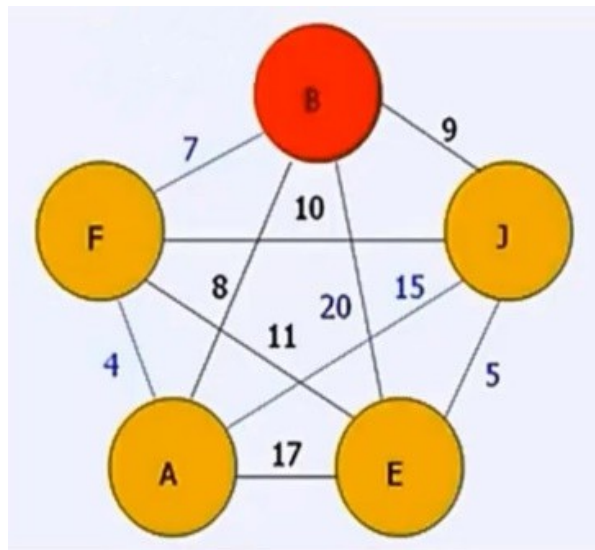


Figura 3.7 Agente Viajero TSP regreso al punto de origen, Taha 2012.

- Hacemos la sumatoria de todos los kilometrajes y nos da la solución óptima+
Solución: BFAJEB

$$\text{Costo: } 7+4+15+5+20=51$$

3.2 Algoritmos Comunes para Resolver el TSP

3.2.1 Fuerza Bruta:

Es el método más directo y sencillo. Examina todas las posibles rutas y selecciona la de menor costo, genera todas las permutaciones posibles de las ciudades y calcula la longitud de cada ruta.(Olivera, 2004)

Si hay “n” ciudades, el número de rutas posibles es $(n-1)!$ y el costo de una ruta C se calcula como:

$$C = \sum_{i=1}^n d(c_i, c_{i+1})$$

donde “d” es la distancia entre las ciudades c_i y c_{i+1} .

Este método no implica la aplicación de ningún algoritmo sistemático, solo consiste en explorar todos los recorridos posibles, es un método fácil y sencillo de utilizar.

Supongamos que la empresa B necesita satisfacer la necesidad de 3 clientes (F, J, A) con dicha distancia

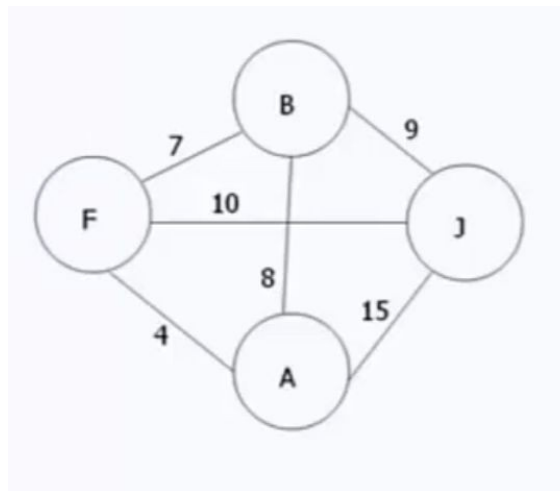


Figura 3.8 Método de fuerza bruta. Ballou, *Logística: Administración de la Cadena de Suministro*, p. 241, 2005 Pearson Prentice Hall.

Los pasos a seguir para realizar este método son los siguientes:

- a) Empezaremos con los caminos posibles siempre empezando desde la organización y regresando a ella:

BFJAB
BFAJB
BJFAB
BAFJB
BJAFB
BAJFB

- b) Una vez obtenidos los caminos, se eliminan los que son inversa:

BFJAB
BFAJB
BJFAB

- c) Cuando se quedan los caminos que no tienen inversa se hace la sumatoria de lo que es su trayecto:

$$\begin{aligned}BFJAB &= 7+10+15+8=40 \\ BFAJB &= 7+4+15+19=35 \\ BJFAB &= 9+10+4+8=31\end{aligned}$$

- d) Por último, el camino que tenga menor distancia será la solución óptima:

$$BJFAB=9+10+4+8=31$$

Con este algoritmo se identifica la solución exacta, sin embargo, es ineficiente para grandes números de ciudades debido a su crecimiento factorial en tiempo de ejecución $O(n!)$, donde n es el número de ciudades, este método es viable solo para un número muy pequeño de ciudades. (Buentello Duque, 2019)

3.2.2 Algoritmo VPTW

El problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW, por sus siglas en inglés) es una extensión del problema de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP). En este caso, se añaden restricciones de capacidad y cada cliente (i) está asociado a un intervalo de tiempo $[a_i, b_i]$, conocido como ventana de tiempo. Los vehículos deben partir del depósito, y se consideran tanto el tiempo de viaje (t_{ij}) para cada arco (i, j) como un tiempo de servicio adicional (s_i) para cada cliente (i) . (Padua Dueñas & Segura Peñuela, 2018)

El servicio a cada cliente debe comenzar dentro de su ventana de tiempo específica, y el vehículo debe detenerse en el lugar del cliente durante un tiempo determinado. En caso de que el vehículo llegue antes del tiempo especificado, se permite esperar hasta el inicio de la ventana de tiempo (a_i). Generalmente, las matrices de costos y tiempos de viaje son las mismas, y las ventanas de tiempo se definen asumiendo que todos los vehículos salen del depósito en el instante (0) . Además, las restricciones de las ventanas de tiempo inducen una orientación implícita en cada ruta, incluso si las matrices originales son simétricas, por lo que el VRPTW se modela usualmente como un problema asimétrico. (Duarte Alleuy, 2009)

El objetivo del VRPTW es encontrar una colección de exactamente (K) circuitos simples con el costo mínimo, de manera que (i) cada circuito visite el depósito; (ii) cada cliente sea visitado por exactamente un circuito; (iii) la suma de las demandas de los clientes en un circuito no exceda la capacidad del vehículo (C) y (iv) el servicio a cada cliente comience dentro de su ventana de tiempo ($[a_i, b_i]$), con una parada del vehículo durante (s_i) unidades de tiempo.

El VRPTW es un problema NP-duro en sentido fuerte, ya que generaliza el CVRP, que surge cuando $(a_i = 0)$ y $(b_i = +\infty)$ para cada $(i \in V \setminus \{0\})$. Además, el problema del viajante de comercio con ventanas de tiempo (TSPTW) es un caso especial del VRPTW en el cual $(C \geq d(V))$ y $(K = 1)$.

3.2.3 Programación Dinámica

La programación dinámica es una técnica de "divide y vencerás", descomponiendo el problema en subproblemas más pequeños y almacenando las soluciones intermedias para evitar repeticiones, resolviendo cada subproblema, y luego se combinan para resolver el problema global. (Lago Cabrera, 2011)

El algoritmo de Held-Karp

Es una solución de programación dinámica para resolver el problema del viajante de comercio o TSP (Traveling Salesman Problem). Es una solución exacta, lo que significa que encuentra la ruta óptima. Sin embargo, su desventaja es que tiene un alto costo computacional, ya que su complejidad es de $O(n^2 * 2^n)$, donde n es el número de ciudades. (Medina et al., 2011)

La idea central es usar programación dinámica para construir soluciones óptimas para subproblemas más pequeños.

1. Se representa un conjunto de nodos denotado con S un subconjunto de los nodos, y con $C(i,S)$ el costo mínimo de recorrer todas las ciudades en el conjunto S , iniciando desde i hasta N . Esto se calcula de forma recursiva.
2. Fórmula de recurrencia:

$$C(i,S) = \min_{j \in S} [(C(j,S \setminus \{i\}) + d(j,i))]$$

Donde:

- $S \setminus \{i\}$ es el conjunto S sin la ciudad i ,
- $d(j,i)$ es la distancia entre la ciudad j y la ciudad i ,
- El costo mínimo para ir de la ciudad j a i , pasando por todas las ciudades de S .

Para empezar, el costo mínimo de viajar desde la ciudad 1 hasta ella misma es cero:

$$C(1,\{1\})=0$$

Una vez calculado el costo mínimo para todos los subconjuntos de ciudades, el resultado será:

$$\text{Resultado final} = \min_{j \in S} [(C(j,S) + d(j,i))]$$

Esto busca el costo mínimo para regresar desde cualquier ciudad i a la ciudad inicial.

Este algoritmo tiene aplicaciones importantes en:

- **Logística:** Optimización de rutas para camiones de reparto.
- **Planificación de circuitos:** En la fabricación de circuitos electrónicos, minimizar la longitud del cableado.
- **Turismo:** Diseño de itinerarios turísticos óptimos.

A pesar de su exactitud, este algoritmo se utiliza más para nodos de 20 a 25, ya que su complejidad crece exponencialmente con el número de nodos. Para problemas grandes, se usan métodos heurísticos como algoritmos genéticos o recocido simulado.

Este permite resolver el problema con mejor eficiencia que la fuerza bruta, aunque sigue siendo exponencial. Usando el enfoque de Held-Karp, se pueden almacenar soluciones parciales y combinarlas para construir la solución óptima. (DE, TONYSE, 2008)

3.2.4 Algoritmos Aproximados.

Es un algoritmo heurístico que selecciona la siguiente ciudad más cercana que no ha sido visitada, inicia en una ciudad y en cada paso se elige la ciudad más cercana disponible. El proceso continúa hasta que se visiten todas las ciudades. (Ortíz Tovar, 2016)

No tiene una fórmula exacta, pero el costo en cada iteración es simplemente $d(i,j)$ donde i es la ciudad actual y j es la más cercana no visitada.

En este algoritmo se proporciona soluciones rápidas, pero no garantiza la solución óptima. Es fácil de implementar, pero suele dar soluciones subóptimas.

3.2.5 Algoritmo de Christofides

Es un algoritmo de aproximación que garantiza una solución que está dentro de un 50% de la óptima, crea un árbol generador mínimo, luego ajusta las conexiones para formar un ciclo que cubra todas las ciudades.

Garantiza una solución dentro de un 1.5 veces de la óptima en el caso de un grafo completo con distancias métricas y crea un árbol generador mínimo, luego ajusta las conexiones para formar un ciclo que cubra todas las ciudades.

Utiliza un árbol generador mínimo y un emparejamiento mínimo. El costo total es $T+M$, donde T es el costo del árbol generador mínimo y M el costo del emparejamiento mínimo, proporciona una aproximación eficiente y es conocido por tener el mejor factor de aproximación garantizado. (Sierra Fernández, 2023a)

3.3 Metaheurísticas:

3.3.1 Algoritmos Genéticos.

Utilizan principios de selección natural para evolucionar soluciones a través de generaciones y se Basado en la evolución natural, este algoritmo usa poblaciones de soluciones (individuos) y técnicas como selección, cruce y mutación para encontrar soluciones cercanas a la óptima. La selección se basa en una función de aptitud. Los individuos más aptos tienen mayor probabilidad de ser seleccionados para la reproducción. (Crespo Sánchez et al., 2022)

$$p_i = \frac{f_i}{\sum f_i}$$

Se utilizan para problemas de optimización grandes, aunque no garantiza la óptima.

3.3.2 Simulated Annealing.

Basado en el proceso de enfriamiento de metales, este algoritmo permite aceptar soluciones no tan favorables al principio, para evitar caer en mínimos locales. Explora el espacio de búsqueda aceptando soluciones no tan favorables con una probabilidad decreciente, que depende de una variable que disminuya con el tiempo como la “temperatura”. (Ferro, 1999)

La probabilidad de aceptar una peor solución se da por

$$P = e^{-\frac{\Delta E}{T}}$$

Donde ΔE es la diferencia en costo entre las soluciones y T es la temperatura actual y evita quedarse atrapado en mínimos locales, permitiendo encontrar soluciones cercanas a la óptima en un espacio de búsqueda complejo.

3.3.3 Optimización por Enjambre de Partículas

Este algoritmo simula el comportamiento de grupos de partículas para explorar el espacio de soluciones. Cada partícula (solución) se mueve a través del espacio de búsqueda influenciada por su mejor posición y la mejor posición global del enjambre. (Cambranis Lopez, 2014)

Fórmula:

$$v_i(t + 1) = wv_i(t) + c_1r_1(p_i - x_i(t))K + c_2r_2(Ig - x_i(t))K$$

Donde v_i es la velocidad, x_i la posición, p_i es la mejor posición de la partícula y “g” es la mejor global, este es útil en espacios de búsqueda continuos y ha sido adaptado para problemas discretos como el TSP, aunque puede no encontrar siempre la mejor solución

$$v_i(t + 1) = wv_i(t) + c_1r_1(p_i - x_i(t))K + c_2r_2(Ig - x_i(t))K$$

Donde v_i es la velocidad, x_i la posición, p_i es la mejor posición de la partícula y “g” es la mejor global. (Morán Bermúdez, 2015)

Este algoritmo es útil en espacios de búsqueda continuos y ha sido adaptado para problemas discretos como el TSP, aunque puede no encontrar siempre la mejor solución

3.4 Elección del algoritmo de la ruta más corta para la comercialización de las canastas orgánicas.

El contexto de esta investigación, se centra en los desafíos que enfrentan los pequeños productores del Tianguis TONAEM, para expandir su mercado por medio de la implementación de canales cortos de comercialización D2C, partiendo del mercado objetivo de la comunidad del Centro Universitario (UAEM). Se toma como escenario de estudio los registros de los pedidos de los profesores, se realiza la comercialización D2C desde el punto CU UAEM Valle de México hasta los domicilios que se encuentran ubicados en las zonas de Nicolás Romero, Atizapán, Naucalpan, Cuautitlán Izcalli.

MUNICIPIO	COLONIAS
Naucalpan de Juárez	<ul style="list-style-type: none"> • Lomas Verdes 5A SECC • Fuentes de Satélite • Paseo de Echegaray
Cuautitlán Izcalli	<ul style="list-style-type: none"> • Laguna La Piedad • Bosques del Lago
Nicolás Romero	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes San José • Campestre Liberación
Tlalnepantla	<ul style="list-style-type: none"> • Valle Ceylan • Jacarandas
Atizapán	<ul style="list-style-type: none"> • Lomas de Atizapán • México Nuevo
Cdad. López Mateos	<ul style="list-style-type: none"> • Residencial Calacoaya • Lomas Lindas • Fraccionamiento Real del Pedregal • Boulevard Universitario

Tabla 3.1 Entrega a domicilios. Elaboración propia, CU UAEM Valle de México, 2024.

En este trabajo la distribución comenzará desde el punto de recogida, que será el Centro Universitario. Desde allí, se llevará a cabo una distribución directa al consumidor (D2C) hacia cada uno de los clientes mencionados en la tabla 3.1. Estos clientes son profesores del Centro Universitario Valle de México, quienes serán el punto de partida para el análisis de este sistema de distribución.

En la siguiente tabla (3.2) se muestra las ubicaciones (o nodos) y el número de canastas solicitadas, representando un total de 25 canastas

ID	CLIENTE	MUNICIPIO	CANTIDAD
1	Fuentes San José	Nicolás Romero	2
2	Fraccionamiento Real del Pedregal	Cdad. López Mateos	2
3	Campestre Liberación	Nicolás Romero	5
4	Bosques del Lago	Cuautitlán Izcalli	2
5	Lomas Lindas	Cdad. López Mateos	3
6	México Nuevo	Atizapán	2
7	Lomas de Atizapán	Atizapán	2
8	Jacarandas	Tlalnepantla	3
9	Residencial Calacoaya	Cdad. López Mateos	1
10	Paseo de Echegaray	Naucalpan de Juárez	1
11	Fuentes de Satélite	Naucalpan de Juárez	1
12	Lomas Verdes 5A SECC	Naucalpan de Juárez	2
13	Valle Ceylan	Tlalnepantla	1
14	Laguna La Piedad	Cuautitlán Izcalli	1

Tabla 3.2 Cantidades de canastas a distribuir. Elaboración propia, CU UAEM Valle de México 2024.

En seguida se presenta las características de los algoritmos de acuerdo al tamaño de nodos programados

Algoritmo	Complejidad	Garantiza Optimalidad	Ideal para Tamaños de n
Fuerza Bruta	$O(n!)$	Sí	$n < 10$
Programación Dinámica	$O(n^2 * 2^n)$	Sí	$n < 20-25$
Vecino Más Cercano	$O(n^2)$	No	$n < 50$
Christofides	$O(n^3)$	Sí (en métricos)	$n < 50$
Algoritmos Genéticos	$O(g * n^2)$	No	$n > 50$
Simulated Annealing	$O(n \log n)$	No	$n > 50$
PSO	Similar a AG	No	$n > 50$

Tabla 3.3 Comparación de algoritmos investigados llevar a cabo la distribución de comercialización D2C desde el punto de origen del CU UAEM Valle de México a todos los puntos y de regreso. Fuente: Varios autores referidos en este trabajo, 2024.

De acuerdo a la tabla anterior tabla (3.3), se tiene que: La Fuerza Bruta explora todas las posibles soluciones para encontrar la mejor, es simple de implementar; garantiza encontrar la solución óptima, sin embargo como es exponencial en el tiempo de ejecución, su corrida se tarda en la ejecución y es impráctica para grandes conjuntos de datos. (Betti & Giraldez, 2020)

La Programación Dinámica se divide en subproblemas más pequeños y resuelve cada uno de ellos, almacenando resultados intermedios, es más eficiente que la fuerza bruta para problemas con superposición de subproblemas y ofrece soluciones óptimas. Sin embargo, puede requerir una mayor cantidad de memoria; complejidad de implementación. (Hernández, 2006)

El Vecino Más Cercano, comienza desde un punto y siempre elige el punto más cercano que no ha sido visitado es rápido y fácil de implementar, pero no siempre garantiza la solución óptima; puede resultar en rutas subóptimas. (Peña Rodríguez, 2016)

En el Algoritmo de Christofides se combina un árbol de expansión mínima con un emparejamiento perfecto para encontrar una ruta que cubre todos los nodos y proporciona una solución de al menos un 1.5 veces el costo óptimo, pero su desventaja es que es más complejo que el vecino más cercano y además aún no es óptimo. (Sierra Fernández, 2023b)

Los Algoritmos Genéticos utilizan principios de evolución y selección natural para explorar soluciones potenciales que se pueden localizar en soluciones cercanas a la óptima, con espacios de búsqueda grandes y complejos que no siempre garantizan la optimización, además que pueden ser lentos en converger. (Reina et al., 2020)

El Simulated Annealing emula el proceso de recocido metalúrgico, permitiendo que se acepten soluciones peores con cierta probabilidad para escapar de óptimos locales, es muy bueno y usado para problemas con muchos óptimos locales, pero requiere una configuración cuidadosa de parámetros y la calidad de la solución depende del enfriamiento.

El Particle Swarm Optimization (PSO) modela el comportamiento social de grupos de partículas (soluciones) que se mueven por el espacio de búsqueda es fácil de implementar y sintonizar; a menudo concluye rápidamente, pero quedarse atrapado en varios puntos óptimos locales, es decir sus parámetros son muy sensibles. (Concha, 2012)

Como resultado de lo expuesto, se opta por utilizar el Algoritmo de Programación Dinámica Held-Karp para gestionar la comercialización de canastas de productos orgánicos de los pequeños productores de la Asociación TONAMEM. Este enfoque parte del CU Valle de México de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y se dirige a los diferentes puntos de distribución de las canastas orgánicas de la asociación TONAEM de los pequeños productores, y se elige por varias razones que se detallarán a continuación:

La optimización de rutas de este problema se formula por medio del agente viajero (TSP), ya que se busca minimizar la distancia total de la ruta y algoritmo Held-Karp proporciona una solución óptima, garantizando la eficiencia en la distribución.

- 1) El algoritmo es estable y, aunque su complejidad es $O(n^2 * 2^n)$, resulta más manejable que los métodos de fuerza bruta. Esto lo convierte en una opción adecuada para este problema, especialmente considerando que el número de puntos de distribución (destinos) es moderado en la comercialización de estas canastas.
- 2) La Exactitud de la programación dinámica Held-Karp asegura que se considere cada posible ruta y se utilicen soluciones previas, lo que es crucial en la distribución de productos frescos y la optimización de costos.
- 3) En cuanto a la consideración de Costos y distancias, la metodología permite incluir fácilmente diferentes criterios de costo y distancias, adaptándose a las necesidades de la Asociación TONAEM.

La elección de este algoritmo Held-Karp se basa en la necesidad de una solución óptima en un problema de optimización de rutas para resolver la comercialización D2C de las canastas de

productos orgánicos de la Asociación TONAEM de los pequeños productores de Villa del Carbón.

Este algoritmo depende de varios factores, incluidos el número de ciudades, el tiempo disponible y la necesidad de una solución óptima. Para problemas pequeños, la fuerza bruta o la programación dinámica son adecuadas, también es importante considerar el costo de la gasolina, casetas, y horas pico de tráfico y para una cantidad más grande de nodos o destinos, se deben considerar los métodos aproximados o metaheurísticos.

3.5 La aplicación típica de el algoritmo de Held-Karp procede de la siguiente manera:

- 1) Se halla un subgrafo de circuito hamiltoniano tal que, partiendo de un punto de origen
 - a) Se recorra todos los nodos una sola vez y volviendo al punto de origen
 - b) Que el costo sea mínimo
- 2) Se construye una matriz de distancias
- 3) Se inicia del nodo 0 (Punto de Origen)
- 4) Se define d_{ij} como el costo (distancia) de llegar al nodo j desde i
- 5) Se define $g(c, S)$ como la distancia mínima partiendo del nodo 0, visitando todos los nodos S una sola vez y terminando en el nodo c .
- 6) Si $S = \emptyset$, entonces $g(c, s) = d_{kc}$, en otro caso: FASE 1 $g(c, S) = \min_{x \in S - c} (g(s, S - c) + d_{xc})$
 - 7) El costo mínimo del circuito total será: FASE 2 $M = g_N(n, \{1, \dots, N\}) + d_{nN1}$
- 8) La secuencia de los nodos está dada por los resultados en la **FASE**

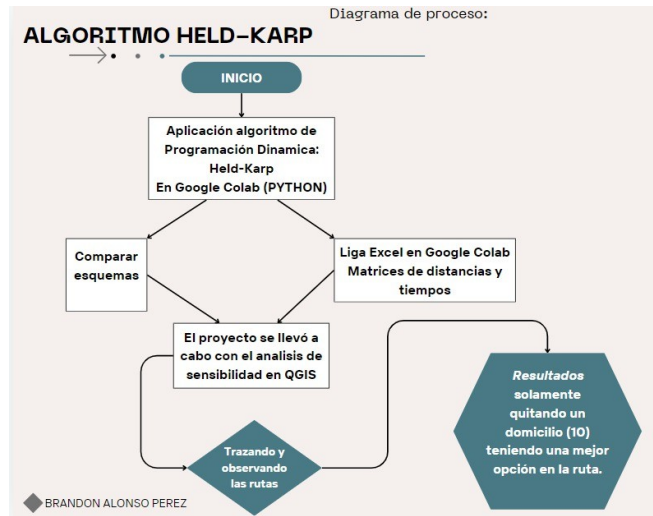


Figura 3.4 Desarrollo del algoritmo Held-Karp. Elaboración propia, a partir de su concepción, 2024
 En la figura (3.4) se describe como se procedió a recorrer la ruta más óptima de acuerdo al número de nodos (destinos) para la distribución de las canastas de hortalizas orgánicas de los pequeños productores agrícolas de la Asociación TONAEM a partir del CU UAEM Valle de México, mediante el algoritmo Held-karp, desarrollando cada paso:

	A	B	C	D
1	N. CLIENTE	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD
2	1	Boulevard Universitario	19.586	-99.28424
3	2	Fuentes San Jose	19.588993	-99.291942
4	3	Fraccionamiento Real del Pedregal	19.59035	-99.280153
5	4	Campestre Liberación	19.597199	-99.277608
6	5	Bosques del Lago	19.609323	-99.258774
7	6	Lomas Lindas	19.570282	-99.250465
8	7	México Nuevo	19.561187	-99.263115
9	8	Lomas de Atizapán	19.553647	-99.26513
10	9	Jacarandas	19.534954	-99.233437
11	10	Residencial Calacoaya	19.534293	-99.237551
12	11	Paseo de Echegaray	19.496002	-99.232039
13	12	Fuentes de Satélite	19.523566	-99.262768
14	13	Lomas Verdes 5A SECC	19.519863	-99.272051

Figura 3.5 Matriz de tiempos y distancias de los destinos de comercialización. Elaboración propia, 2024.

- 1) Se elabora una tabla Excel, colocando cada uno de los tiempos (min) y distancias (km) de todos los nodos (todos contra todos) teniendo como base las longitudes y latitudes de cada punto de entrega.
- 2) Se elabora la matriz de distancias de los destinos, figura (3.6).

Matriz de distancias													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	1.65660107	1.29618261	1.94936994	5.46100816	5.25940638	6.40634596	9.97319005	10.3355687	10.3355687	21.2683954	15.962416	14.4510935
1	1.68508148	0	2.18099606	2.83418339	6.83821592	6.14421983	7.29115941	9.2541144	11.258376	11.2203822	22.1532089	16.8472294	15.335907
2	0.67965572	1.38447636	0	1.82875763	5.83279016	5.13879407	6.28573366	8.24868865	10.2529502	10.2149564	21.1477831	15.8418037	14.3304812
3	2.0996195	2.80444013	1.41996377	0	3.69606944	5.43901432	6.5859539	8.54890889	10.5531705	10.5151767	21.4480034	16.1420239	14.6307015
4	5.82332493	6.52814556	5.14366921	3.38446788	0	7.68021944	16.2378543	14.6898466	20.0164544	19.0478682	22.3122123	20.6790725	19.1677501
5	6.51644755	7.22126818	5.83679183	6.48896233	7.78393277	0	3.24246717	4.99470667	6.99896822	6.96097445	13.3057507	18.2592288	16.7479064
6	6.59944077	7.3042614	5.91978505	6.57195555	15.8421844	2.09251205	0	2.67600752	5.77883379	5.74084002	12.0856162	9.89981563	9.28426293
7	9.12269177	9.8275124	8.44303604	9.09520655	14.3250371	3.2688372	1.78787728	0	5.49872938	5.46073561	11.8055118	8.38266831	7.7671156
8	10.4139894	11.11881	9.73433364	10.3865042	18.3003312	5.91043212	6.35938925	6.07698925	0	0.75307028	7.05534688	5.63803495	9.0221739
9	10.2473828	10.9522034	9.56772704	10.2198976	18.9029859	5.74382552	6.19278265	5.91038265	0.60266871	0	6.99627902	5.51639663	8.90053557
10	19.5722092	20.2770298	18.8925534	19.544724	21.1642906	10.826212	11.2751691	10.9927691	6.56586445	6.23084171	0	6.84089981	8.09852053
11	15.7198714	16.424692	15.0402157	15.6923862	20.9222168	13.7026463	12.2216864	10.6736787	4.71178802	4.67379424	7.3140773	0	4.24618276
12	14.792131	14.4969516	14.1124753	14.7646458	19.9944763	11.0527264	9.57176643	8.0237588	7.54299584	7.50500206	9.69892049	4.39294102	0

Figura 3.6 Matriz de distancias de los destinos de comercialización
Elaboración propia, 2024.

- 3) Se elabora la matriz de tiempos. Figura (3.7)

Matriz de tiempos													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	6	5	8	20	17	19	17	30	31	41	39	36
1	5	0	6	9	21	16	19	24	31	31	42	40	36
2	3	4	0	7	20	13	16	21	28	28	39	37	34
3	8	9	6	0	14	14	17	23	29	29	41	37	34
4	20	20	16	13	0	23	27	32	38	38	41	47	43
5	15	17	13	16	23	0	15	18	25	25	36	34	31
6	16	20	15	17	29	8	0	7	19	19	30	23	20
7	15	24	20	23	34	13	8	0	15	15	27	17	14
8	30	33	30	32	42	24	23	19	0	4	20	17	22
9	32	33	30	32	48	24	24	20	3	0	19	15	18
10	38	43	41	50	48	39	33	27	19	19	0	21	20
11	38	41	37	39	51	30	26	18	18	17	19	0	11
12	35	38	34	37	49	28	24	15	21	21	19	13	0

Figura 3.7 Matriz de tiempos de los destinos de comercialización

Elaboración propia, 2024.

4) Mediante la gráfica (3.8) se presenta el recorrido de todos los destinos a todos los destinos de comercialización de las canastas orgánicas.

Para llevar a cabo las ubicaciones con tiempos y distancias se utilice la plataforma Google Colab (QGIS), activando complementos QuickMapServices y Online Routing Mapper para agregar los diferentes conjuntos de datos y mapas, de acuerdo al proyecto de comercialización y distribución a los clientes (D2C).

El Google Colab, es un programa que permite escribir, ejecutar y compartir código Python en los servidores en la nube de Google, y se utiliza en: Aprendizaje automático y Deep Learning Análisis de datos, Educación e investigación, Simulaciones científicas, Desarrollo colaborativo, Prototipado y prueba de código.

Algunas de las características de Google Colab son:

- Permite ejecutar celdas de código como si se tratara de un cuaderno de Jupyter Notebook
- Permite utilizar librerías de aprendizaje máquina y procesamiento de imágenes
- Permite visualizar los resultados directamente en el navegador
- Es ideal para trabajar en equipo
- Se puede acceder a él desde cualquier navegador

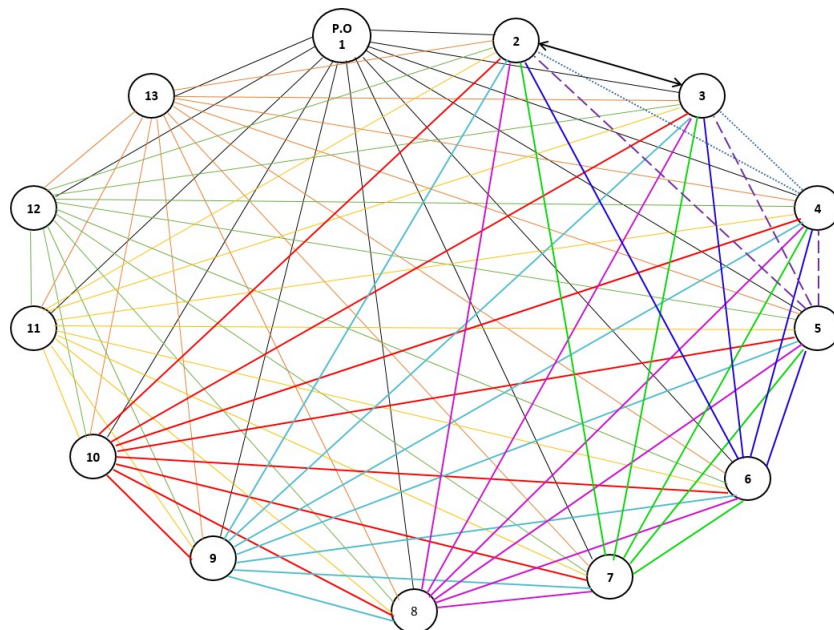


Figura 3.8 Recorrido de todos los destinos a todos los destinos de comercialización de las canastas orgánicas. Elaboración propia, 2024.

Además, se utilizó el **QGIS** (Sistema de Información geográfica), que es un software libre con una licencia Pública General GNU (GLP), que ayuda en el procedimiento, análisis, modelamiento, editar, crear proyecciones, toma de decisiones y publicar información geoespacial y soporta formatos raster y vectoriales.

En la figura (3.9) se presenta como se liga la ubicación de los destinos, mediante el sistema de información geográfica (GIS), que es una herramienta para trabajar con diferentes tipos de bases de datos textos, numéricos, alfanuméricos, fotografías, etc. de acuerdo a su posición geográfica, utilizando el complemento QuickMapServices, con el que se puede visualizar una gran cantidad de mapas base, sin necesidad de descargar cartografía raster o vectorial.

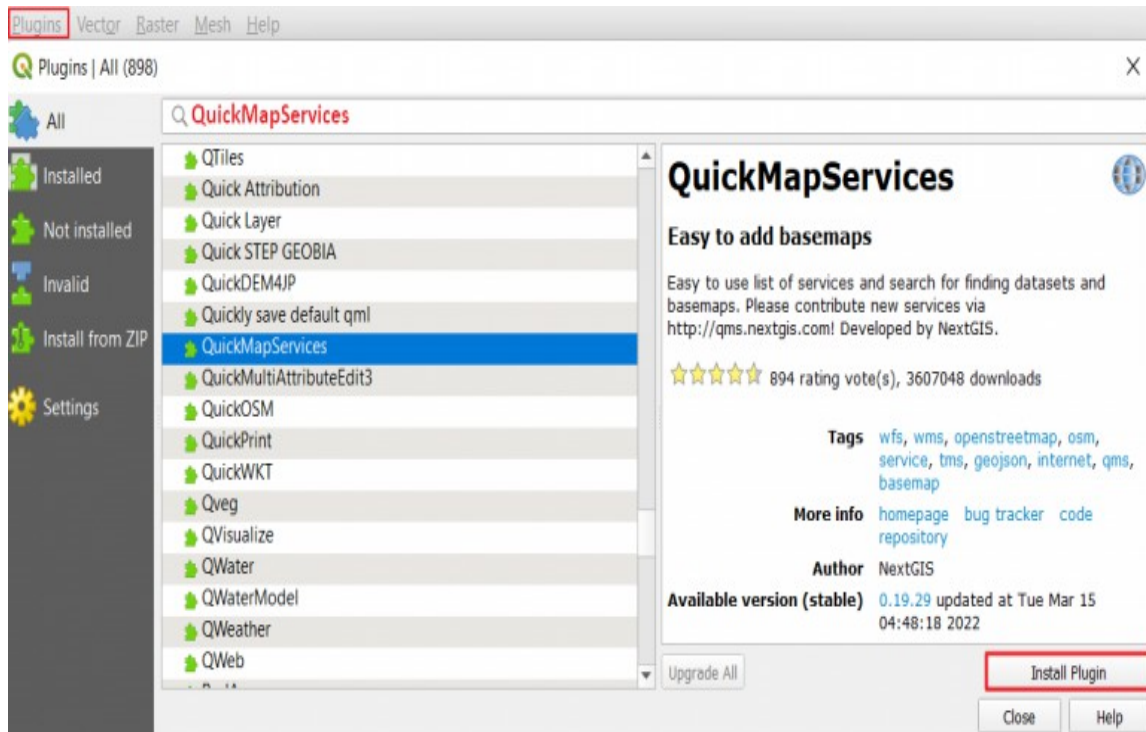


Figura 3.9 Complemento QuickMapServices, captura extraída de QGIS, 2024

También existe el apoyo en online Routing Mapper, como complemento útil y sencillo para calcular la ruta más corta desde un mapa base de OSM o desde cualquier capa al que se disponga. Posteriormente se agrega online routing mapper a QGIS que se encuentra dentro de la barra de herramientas en el menú superior, como complemento.

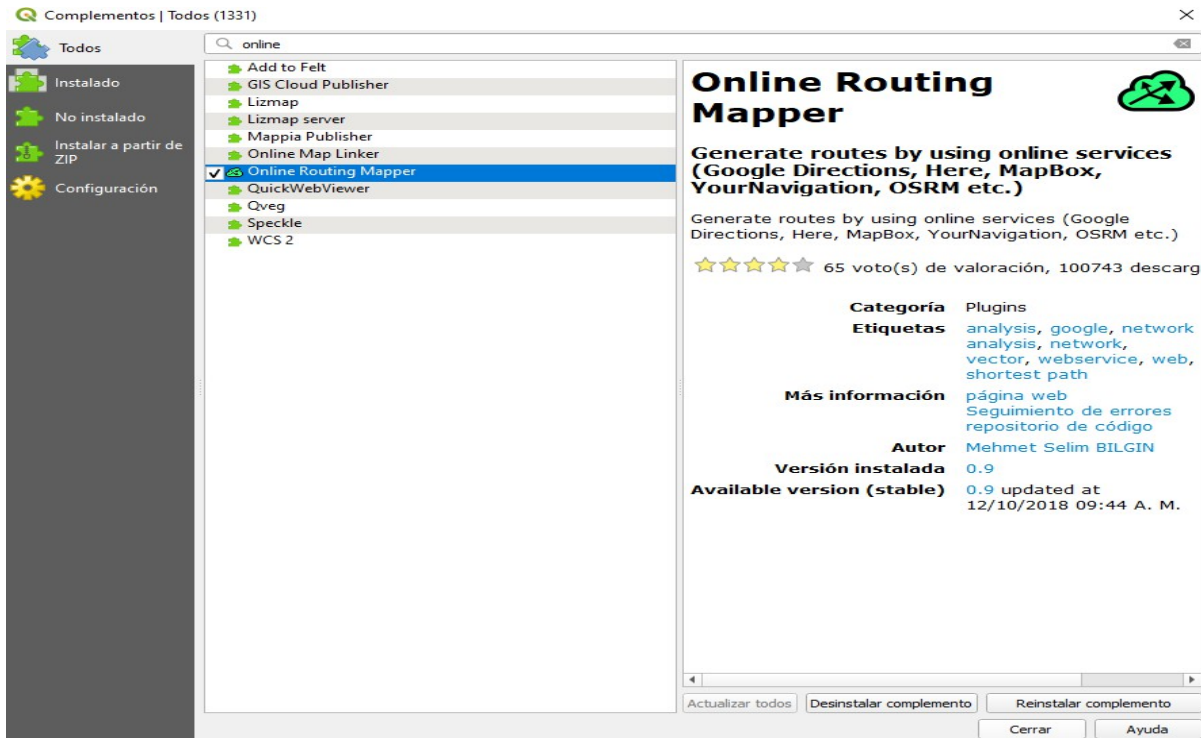


Figura 3.10 Complemento Online Routing Mapper, captura extraída de QGIS, 2024

En la barra de herramientas de la figura (3.10) se presentan los programas y complementos instalados, se prosigue a identificar las ubicaciones y rutas presentadas, definiendo la ruta más corta en el menor tiempo posible.

En la siguiente figura (3.11) se presenta el algoritmo de matriz de distancia, programado en PYTHON y se utiliza la herramienta Google Colab, ligando el archivo de Excel de la matriz de distancia de los 13 puntos definidos de entrega.

```

import numpy as np #Importar librería de numpy
import pandas as pd #Importar librería de Pandas

from google.colab import files
uploaded = files.upload()

Elegir archivos Ningún archivo seleccionado Upload widget is only available when the cell has been executed in the current
Saving Matriz_distancias.csv to Matriz_distancias.csv

import pandas as pd
import io

matriz_distancias = (pd.read_csv('Matriz_distancias.csv', usecols=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13])).

def tsp_dp(distance_matrix):
    n = len(distance_matrix)
    dp = np.inf * np.ones((1 << n, n))
    dp[1][0] = 0 # Costo de estar en el nodo inicial (ciudad 0)

    # Crear una matriz para reconstruir la ruta
    parent = [[-1] * n for _ in range(1 << n)]

    # Recorrer todos los subconjuntos de nodos
    for mask in range(1 << n):
        for u in range(n):
            if mask & (1 << u):
                # Recorrer todos los nodos que se pueden visitar desde u
                for v in range(n):
                    if mask & (1 << v) == 0:
                        next_mask = mask | (1 << v)
                        new_cost = dp[mask][u] + distance_matrix[u][v]
                        if new_cost < dp[next_mask][v]:
                            dp[next_mask][v] = new_cost
                            parent[next_mask][v] = u

    # Encontrar el costo mínimo al regresar al nodo inicial
    min_cost = np.inf
    end_mask = (1 << n) - 1
    last_node = -1

    # Encontrar el costo mínimo al regresar al nodo inicial
    min_cost = np.inf
    end_mask = (1 << n) - 1
    last_node = -1

    for u in range(1, n):
        cost = dp[end_mask][u] + distance_matrix[u][0]
        if cost < min_cost:
            min_cost = cost
            last_node = u

    # Reconstruir la ruta
    path = []
    mask = end_mask
    for _ in range(n):
        path.append(last_node)
        next_node = parent[mask][last_node]
        mask ^= (1 << last_node)
        last_node = next_node

    path.reverse()
    path.append(0) # Regresar al nodo inicial

    return min_cost, path

shortest_path_cost, shortest_path = tsp_dp(matriz_distancias)
print("El costo de la ruta más corta es:", shortest_path_cost)
print("La secuencia de nodos es:", shortest_path)

```

El costo de la ruta más corta es: 56.642737276999995
 La secuencia de nodos es: [0, 9, 8, 10, 11, 12, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0]

Figura 3.10 Programación de distancias en PYTHON Captura extraída en PYTHON, 2024

En la figura (3.11) se presenta el programa Held-Karp, que proporciona una solución óptima, garantizando la eficiencia en la distribución, con una distancia es de 56 km, que se muestra en de acuerdo a la secuencia de nodos, al seleccionar cada una de las capas del recorrido.

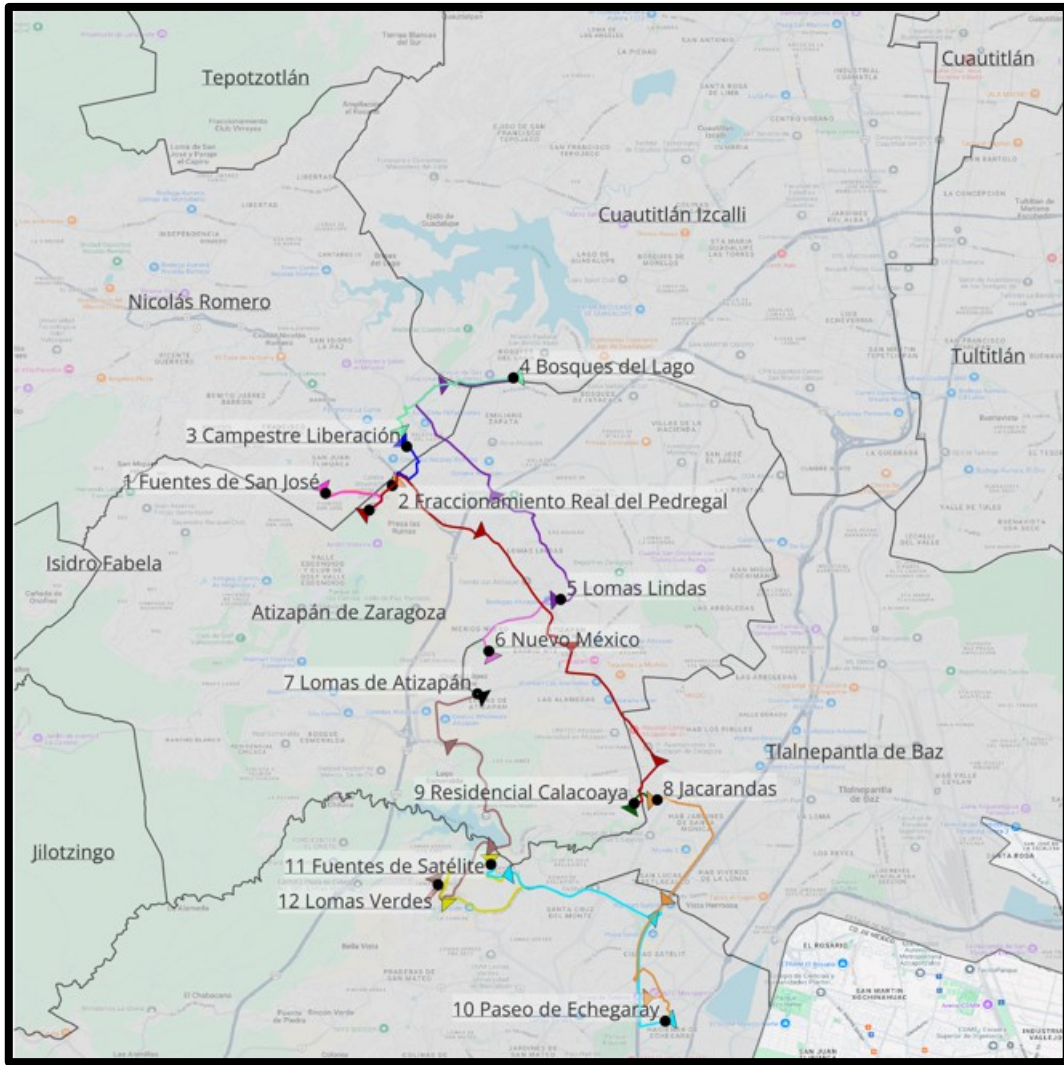


Figura 3.11 Distancia recorrida. Captura extraída de la ubicación geográfica después solución óptima, al seleccionar cada una de las capas del recorrido, 2024

En la siguiente tabla (3.12) se presenta el algoritmo de matriz de tiempos, programado en PYTHON, y nuevamente se utiliza la herramienta Google Colab, ligando el archivo de Excel de la matriz de tiempo de los 13 puntos definidos de entrega.

```

import numpy as np #Importar librería de numpy
import pandas as pd #Importar librería de Pandas

from google.colab import files
uploaded = files.upload()

Elegir archivos: Ningún archivo seleccionado Upload widget is only available when the cell has been executed in the current browser session. P
Saving Matriz_tiempos.csv to Matriz_tiempos.csv

import pandas as pd
import io

matriz_distancias = (pd.read_csv('Matriz_tiempos.csv', usecols=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13])).to_numpy().tolist()

def tsp_dp(distance_matrix):
    n = len(distance_matrix)
    dp = np.inf * np.ones(1 << n, n)
    dp[1][0] = 0 # Costo de estar en el nodo inicial (ciudad 0)

    # Crear una matriz para reconstruir la ruta
    parent = [[-1] * n for _ in range(1 << n)]

    # Recorrer todos los subconjuntos de nodos
    for mask in range(1 << n):
        for u in range(n):
            if mask & (1 << u):
                # Recorrer todos los nodos que se pueden visitar desde u
                for v in range(n):
                    if mask & (1 << v) == 0:
                        next_mask = mask | (1 << v)
                        new_cost = dp[mask][u] + distance_matrix[u][v]
                        if new_cost < dp[next_mask][v]:
                            dp[next_mask][v] = new_cost
                            parent[next_mask][v] = u

    # Encontrar el costo mínimo al regresar al nodo inicial
    min_cost = np.inf
    end_mask = (1 << n) - 1
    last_node = -1

    # Encontrar el costo mínimo al regresar al nodo inicial
    min_cost = np.inf
    end_mask = (1 << n) - 1
    last_node = -1

    for u in range(1, n):
        cost = dp[end_mask][u] + distance_matrix[u][0]
        if cost < min_cost:
            min_cost = cost
            last_node = u

    # Reconstruir la ruta
    path = []
    mask = end_mask
    for _ in range(n):
        path.append(last_node)
        next_node = parent[mask][last_node]
        mask ^= (1 << last_node)
        last_node = next_node

    path.reverse()
    path.append(0) # Regresar al nodo inicial

    return min_cost, path

shortest_path_cost, shortest_path = tsp_dp(matriz_distancias)
print("El costo de la ruta más corta es:", shortest_path_cost)
print("La secuencia de nodos es:", shortest_path)

```

El costo de la ruta más corta es: 165.0
La secuencia de nodos es: [0, 3, 4, 10, 8, 9, 11, 12, 7, 6, 5, 2, 1, 0]

Figura 3.12 Matriz de tiempos. Captura extraída del Programación de tiempos en PYTHON, 2024

En la figura (3.13) se muestra nuevamente la aplicación de QGIS, siendo la ruta más corta en tiempos, obteniendo 165 min (2hrs, 45min), como resultado de la secuencia de nodos, agregando cada capa, para la visualización de dicho recorrido en tiempo.

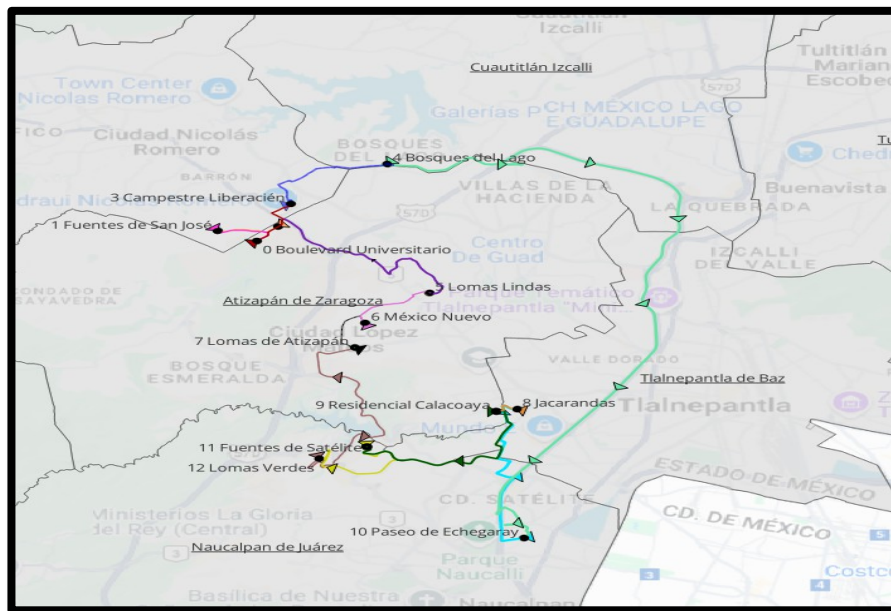


Figura 3.13 Tiempo de recorrido. Captura extraída de la solución óptima la ubicación geográfica después, al seleccionar cada una de las capas del recorrido, 2024

3.6 Análisis de Sensibilidad de los diferentes escenarios

El análisis de sensibilidad o *¿what if?* es una técnica que permite evaluar cómo la solución a un modelo se ve afectada en relación con cambios en los parámetros del modelo. En el escenario planteado de análisis de ruteo interesa determinar el costo asociado o incurrido por considerar un nodo en el ruteo, es decir se desea evaluar el costo de entrega para el nodo dado.

Para evaluar el costo asociado a un nodo en la ruta planificada se usará una heurística basada en el algoritmo de Floyd para grafos. El algoritmo de Floyd sirve para encontrar la distancia entre dos nodos cualesquiera en un grafo o red y tiene una complejidad de $O(V^3)$ siendo V el número de nodos en el grafo. La idea clave dentro del algoritmo de Floyd es explotar los nodos intermedios para calcular una mejor ruta entre dos nodos dados, y para eso utiliza la relación de recurrencia:

$$c[i][j] = \min(c[i][j], c[i][k] + c[k][j])$$

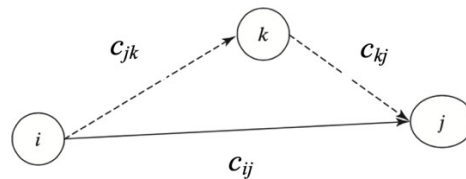


Figura 3.14 Análisis de sensibilidad o *what if*. Captura tomada del libro *algoritmo de Floyd-Warshall*, 2021.

Esta idea es adaptada para realizar el análisis de sensibilidad sobre una ruta dada, para determinar el costo asociado por incluir el nodo k como punto de entrega. Y es aplicada de la siguiente forma para evaluar el coste de incluir un nodo en el recorrido:

Sea $T = (D_0, D_1, D_2, \dots, D_i, D_j, D_k, \dots, D_n, D_0)$ un tour o recorrido en los nodos destino D_l , contemplando a D_0 , como nodo inicial y final. Sean C_{pr} , los costes o pesos asociados al arista del nodo D_p , al nodo D_r . y sea C_T el costo total del tour, obtenido como la suma de los costes de cada nodo en el tour. Sea U_r La utilidad del nodo r por incluirlo en el tour T , entonces se

define la utilidad del tour como la suma de las utilidades de cada uno de los nodos en el tour y lo denotaremos por U_T .

Definimos el coste de oportunidad del nodo D_k con respecto a los nodos D_i, D_j denotado por $O_{k(i,j)}$ y dado por el siguiente cociente:

$$O_{k(i,j)} = (C_{ik} + C_{kj}) / C_{ij}$$

Sea O_T la suma de todos los costes de oportunidad de los nodos en el tour T ; definimos el coste relativo del nodo D_k en el tour T , denotado por W_k , como:

$$W_k = O_{k(k-1,k+1)} / O_T$$

El coste relativo es el porcentaje del coste por incluirlo en el tour T .

Por ejemplo, considere el siguiente conjunto de nodos en el plano y el tour entre ellos dados en la figura siguiente, considerando al nodo A como nodo origen:

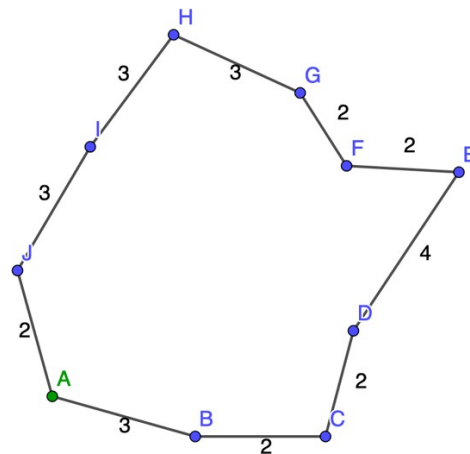


Figura 3.15 Ejemplo de análisis de sensibilidad. Captura tomada del libro algoritmo de Floyd-Warshall, 2021.

Y sea la matriz de costos entre nodos dada por:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0	3	5	6	8	7	6	7	5	2
B	3	0	2	3	5	5	7	8	4	3
C	5	2	0	2	4	5	7	8	5	5
D	6	3	2	0	4	2	5	6	4	5
E	8	5	4	4	0	2	3	4	4	5
F	7	5	5	2	2	0	2	4	4	2
G	6	7	7	5	3	2	0	3	3	4
H	7	8	8	6	4	4	3	0	3	5
I	5	4	5	4	4	4	3	3	0	3
J	2	3	5	5	5	2	4	5	3	0

Tabla 3.16 El coste total del tour es 26, la suma de los pesos, y si consideramos las utilidades de cada nodo unitarias, entonces la utilidad del tour es de 10.

Dado el nodo B el costo de oportunidad asociado y relativo a los nodos A y C se calcula de la siguiente forma:

$$O_{B(A,C)} = (C_{AB} + C_{BC}) / C_{AC}$$

$$O_{B(A,C)} = (3 + 2) / 5 = 1$$

Para el caso planteado los costes de oportunidad de los nodos restantes son:

$$O_{B(A,C)} = 1$$

$$O_{C(B,D)} = 1.33$$

$$O_{D(C,E)} = 1.5$$

$$O_{E(D,F)} = 3$$

$$O_{F(E,G)} = 1.33$$

$$O_{G(F,H)} = 1.25$$

$$O_{H(G,J)} = 2$$

$$O_{I(H,J)} = 1.2$$

$$O_{J(I,A)} = 1$$

La suma de los costes de oportunidad del tour T es $O_T = 13.61$; y sus correspondientes costes relativos a cada nodo son:

$$W_B = 0.07$$

$$W_C = 0.10$$

$$W_D = 0.11$$

$$W_E = 0.22$$

$$W_F = 0.10$$

$$W_G = 0.09$$

$$W_H = 0.15$$

$$W_I = 0.09$$

$$W_J = 0.07$$

Note que el coste relativo del nodo E es de 0.22 y es el nodo más costoso del tour

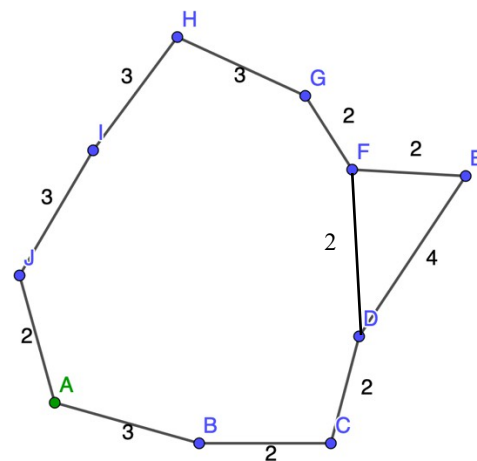


Figura 3.17 Eliminando el nodo E del tour T , el coste del nuevo tour es de 22 y la utilidad del tour es de 9. Captura tomada del libro algoritmo de Floyd-Warshall, 2021.

A partir de la ruta óptima mediante generada con el algoritmo Held-karp, se prosigue a realizar el análisis de sensibilidad basado los costes de oportunidad, para evaluar, los cambios en los datos de entrada (nodos) y evaluar cómo pueden afectar en el resultado final. (González Casabianca, 2016):

En general eliminar un nodo, ocasiona una disminución en la distancia total recorrida y el tiempo; sin embargo, el coste de oportunidad permitiendo evaluar el aporte al valor total de la

ruta. En la evaluación se puede considerar las cantidades de canastas de hortalizas orgánicas a entregar.

Mediante la eliminación de un nodo destino se impacta el costo de recorrido, en esta parte se utiliza la conceptualización del análisis "what if" que permite explorar escenarios hipotéticos que permite evaluar el costo de inclusión de un nodo en la ruta de entrega. El análisis de sensibilidad y un análisis "what if" en base a la idea del algoritmo de Floyd puede proporcionar una mejor comprensión de su robustez y eficiencia bajo diferentes condiciones.

El análisis de sensibilidad y un análisis "what if" del algoritmo de Floyd puede proporcionar una mejor comprensión de su robustez y eficiencia bajo diferentes condiciones.

Primero se eligen dos aristas en la ruta original conectadas por un nodo intermedio. Supongamos que tenemos una ruta representada como una secuencia de nodos

$$(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n)(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n).$$

Las aristas seleccionadas serían:

$$(A_i, A_{i+1})(A_i, A_{i+1}) \text{ y } (A_j, A_{j+1})(A_j, A_{j+1}).$$

Posteriormente se eliminan dos aristas de la ruta y se lleva a cabo un cálculo de la nueva longitud, generando una nueva ruta:

si la longitud total de la nueva ruta es significativamente menor que la de la ruta original, se acepta la nueva ruta. sino, se descarta y se prueban otras combinaciones.

Este proceso es iterativo, hasta encontrar la ruta más óptima en distancia, tiempos y costos.

Inicializa: Comienza con una ruta inicial RR.

Mejora iterativa:

Para cada par de aristas $(A_i, A_{i+1})(A_i, A_{i+1})$ y $(A_j, A_{j+1})(A_j, A_{j+1})$:

Calcula $L_{original}$ y L_{nueva} .

Si $L_{nueva} < L_{original}$:

Actualiza la ruta RR a la nueva ruta.

Repite el proceso hasta que no se encuentren más mejoras.

Este algoritmo es sencillo de implementar y puede proporcionar mejoras significativas en la longitud de la ruta, especialmente cuando se combina con otras heurísticas o métodos de optimización. Su eficiencia radica en la búsqueda local, donde se exploran soluciones cercanas para encontrar una mejor solución al problema del viajante, este método se aplica en este trabajo y se presentan sus resultados en el capítulo IV.

Es importante considerar los costos asociados al traslado, como el costo del vehículo, suponiendo que se ocupa una camioneta de marca Renault Kangoo, presentada en la figura (3.18), que es una opción óptima para el diseño y acomodo, permitiendo una facilidad, utilidad y comodidad de viaje

Esta camioneta Kangoo, permite gran ahorro en combustible gracias a su tecnología Eco-Mode, tiene una mayor resistencia y durabilidad, ofrece una zona de carga de $3.3m^3$ o 750 kg de carga (1900 kg peso máximo), cuenta con 12 puntos de fijación para asegurar la carga y los costos menores de servicios de mantenimiento a largo plazo son aproximadamente de \$1,569.00 cada 5,000 km, \$2,599.00 cada 10,000km, \$4,019.00 cada 60,000 km.

Esta propuesta aun no se establece en este trabajo , ya que se determina mediante la elección de los transporte con los que cuentan los pequeños agricultores de la Asociación TONAEM.



Figura 3.18 Diseño de transporte. Elaboración propia, 2024.

DIMENSIONES	
R Altura de la apertura de la puerta lateral corrediza	1.046 m
P Ancho de la apertura de la puerta lateral corrediza	1.494 m
M Altura máxima de carga	1.233 m
N2/N1 Ancho de la apertura de la puerta trasera (a 1m del suelo de carga)	1.170 m

Tabla 3.19 Diseño de transporte, dimensiones del transporte, opcional. Elaboración propia, 2024.

CAPÍTULO IV Resultados y Conclusiones

Para generar la ruta óptima en la entrega D2C de las canastas de productos orgánicos de la Asociación TONAEM de los pequeños productores de Villa del Carbón, se usa el algoritmo Held-Karp el cual entrega una ruta óptima. Posteriormente se aplicó la técnica de análisis de sensibilidad, que permite tomar decisiones a partir de ciertos cambios en los parámetros o suposiciones en el modelo de ruteo y analizar cómo estos cambios afectan los resultados.

Después de concebir este análisis de sensibilidad heurística, que se fundamenta en el contexto del algoritmo de Floyd y el enfoque 'what if?', se procede a plantear nuevos escenarios para la distribución y entrega de pedidos. En este apartado se presentan diferentes escenarios en términos de distancias y tiempos, partiendo de la ruta óptima y analizando el aporte al beneficio de cada nodo mediante el análisis de sensibilidad.

En la figura (4.1) se presentan todos los nodos (domicilios de entrega), donde se llevarán a cabo la distribución de las canastas, tomando como base este mapa para analizar los diferentes escenarios de las rutas, desarrollando el análisis de sensibilidad “what if?”.



Figura 4.1 Mapa de las ubicaciones geográficas para el ruteo de canastas considerando el factor distancia.

Captura extraída de QGIS, 2024, Elaboración propia, 2024.



Figura 4.2 Mapa de las ubicaciones geográfica para el ruteo de canastas considerando el factor tiempo.

Captura extraída de QGIS, 2024, Elaboración propia, 2024.

Los costos asociados para las rutas de entrega son diferentes para los factores de tiempo y distancia, en la siguiente tabla se realiza la comparación conforme al criterio o factor de optimización. Se observa que el factor tiempo en ambos criterios no difieren significativamente, por otro lado, considerando el factor distancia se tiene una diferencia de 15% respecto al factor tiempo, haciendo más conveniente optimizar considerando el factor distancia.

Factor de optimización	Costo en Tiempo	Costo en Distancia
Tiempo	165 min	65.16 Km
Distancia	170 min	56.64 Km

Los ingresos estimados conforme al punto de entrega y la cantidad de canastas se muestran en la siguiente tabla:

ID	CLIENTE	MUNICIPIO	CANTIDAD	Ingreso (\$)
1	Fuentes San José	Nicolás Romero	2	600
2	Fraccionamiento Real del Pedregal	Cdad. López Mateos	2	600
3	Campestre Liberación	Nicolás Romero	5	1,500
4	Bosques del Lago	Cuautitlán Izcalli	2	600
5	Lomas Lindas	Cdad. López Mateos	3	900
6	México Nuevo	Atizapán	2	600
7	Lomas de Atizapán	Atizapán	2	600
8	Jacarandas	Tlalnepantla	3	900
9	Residencial Calacoaya	Cdad. López Mateos	1	300
10	Paseo de EcheGARAY	Naucalpan de Juárez	1	300
11	Fuentes de Satélite	Naucalpan de Juárez	1	300
12	Lomas Verdes 5A SECC	Naucalpan de Juárez	2	600
Ingreso Total				\$ 7,800 MXN

A continuación, se aplica el análisis de sensibilidad a diversos nodos en la ruta para calcular el beneficio aportado y realizar la toma de decisiones correspondiente a la inclusión del nodo en la ruta. Se plantean 5 escenarios de interés para el análisis de sensibilidad; se considera evaluar el aporte de los nodos 4-10, 10-12, 11-12, 9-8; debido a que gráficamente estos nodos son puntos retirados al nodo origen. Para cada escenario se eliminan los nodos correspondientes, se genera la ruta óptima nuevamente con el algoritmo Held-Karp, se calcula el coste de la ruta y el beneficio aportado para realizar la toma de decisiones al respecto del nodo(s) eliminado(s).

Escenario 1.- Costo de nodos 4 y 10

Análisis de sensibilidad eliminando los nodos 4-10 considerando el factor distancia, figura (4.2). Realizando la eliminación, se calcula la ruta óptima obteniendo una ruta de 45.06 km, siendo menor por 11 km de la ruta original generada por el algoritmo Held-Karp.

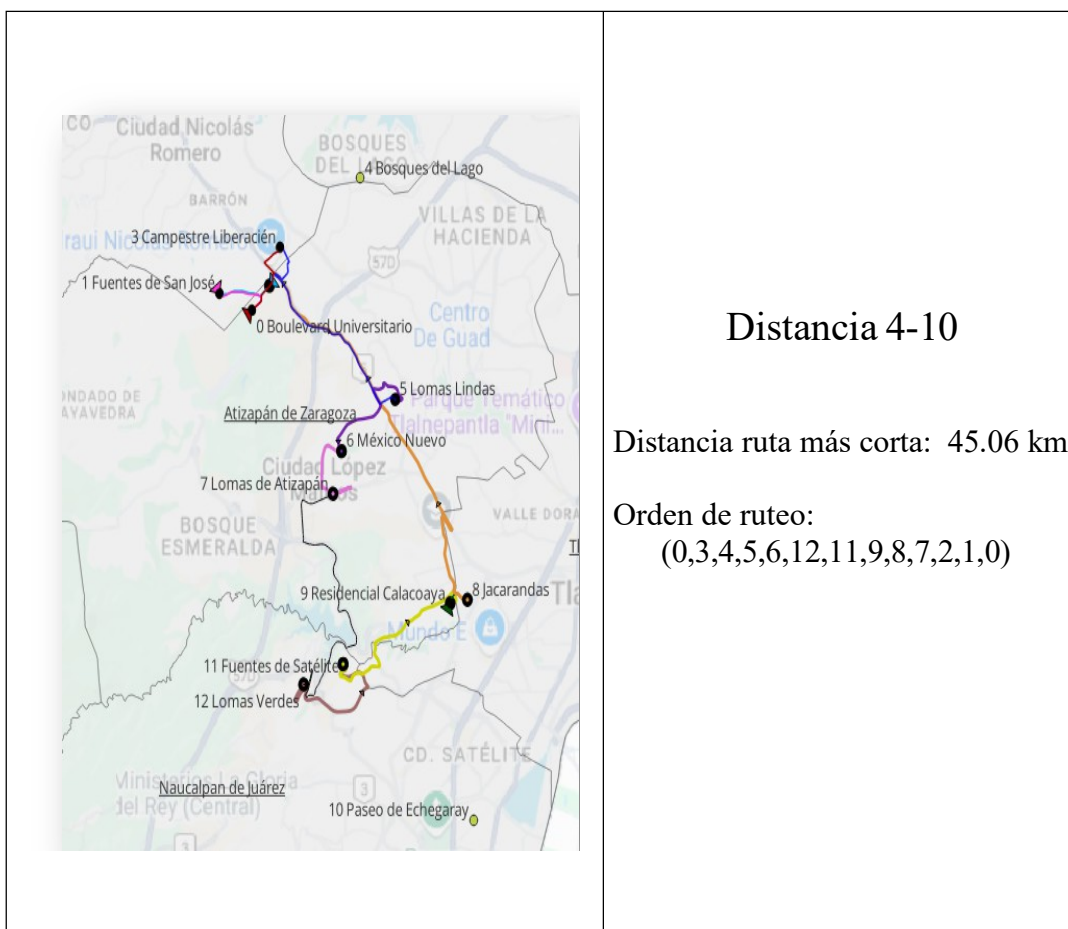
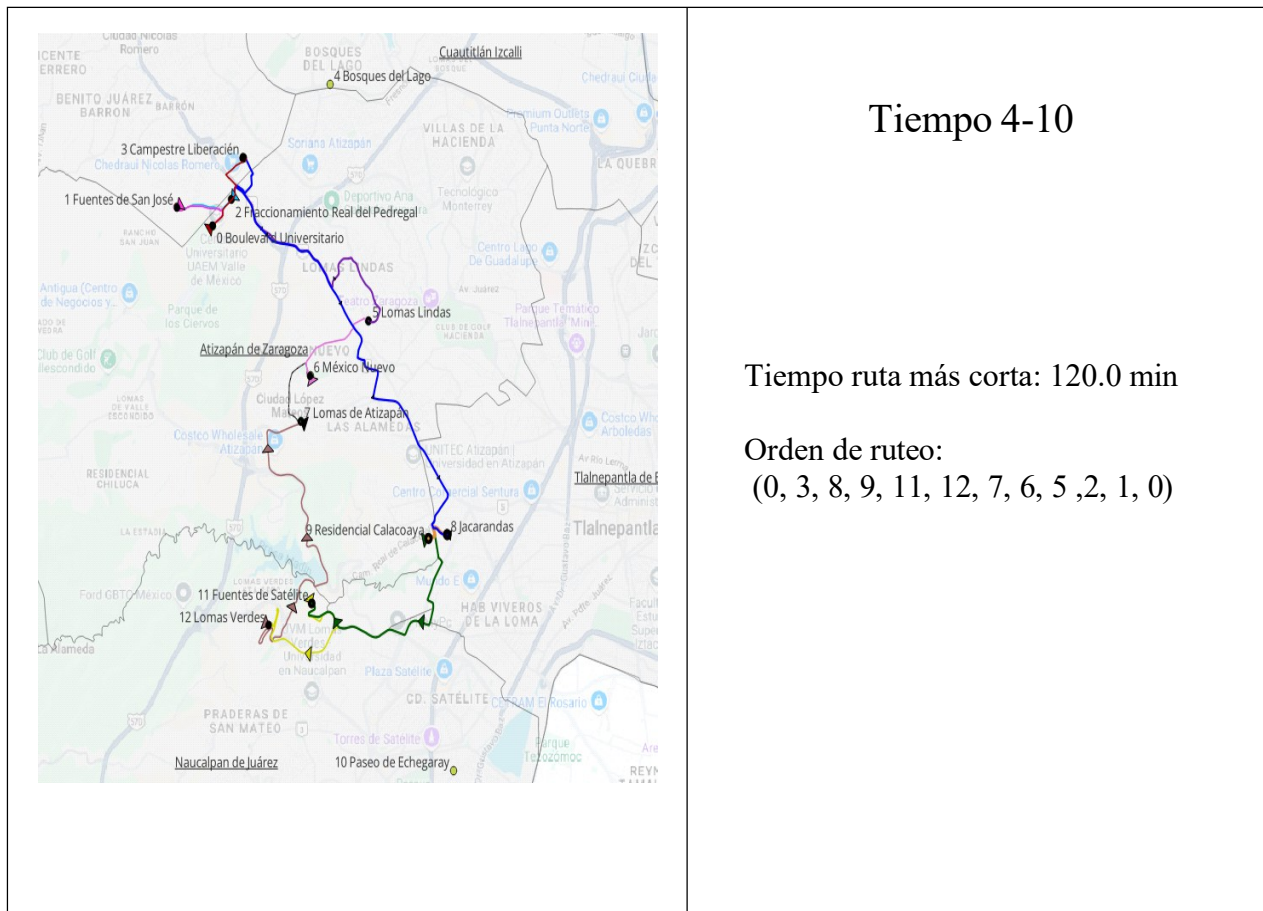


Figura 4.2 Corrida después de la eliminación de puntos (4,10) en distancia. Captura de la ubicación geográfica en QGIS, 2024

Análisis de sensibilidad eliminando los nodos 4-10 considerando el factor tiempo para la optimización, figura (4.3); se calcula la ruta óptima obteniendo una ruta de 120 min., siendo menor por 45 min. de la ruta óptima generada por el algoritmo Held-Karp.



*Figura 4.3 Corrida después de la eliminación de puntos (4-10) en tiempos.
Captura de la ubicación geográfica en QGIS, 2024*

Escenario 2

De acuerdo al análisis de sensibilidad, se eliminan los nodos 10-12 en distancias, figura (4.4). y se genera la corrida nuevamente, presentando una ruta de 44.30 km, siendo menor por 12 km de la ruta óptima generada por el algoritmo Held-Karp.

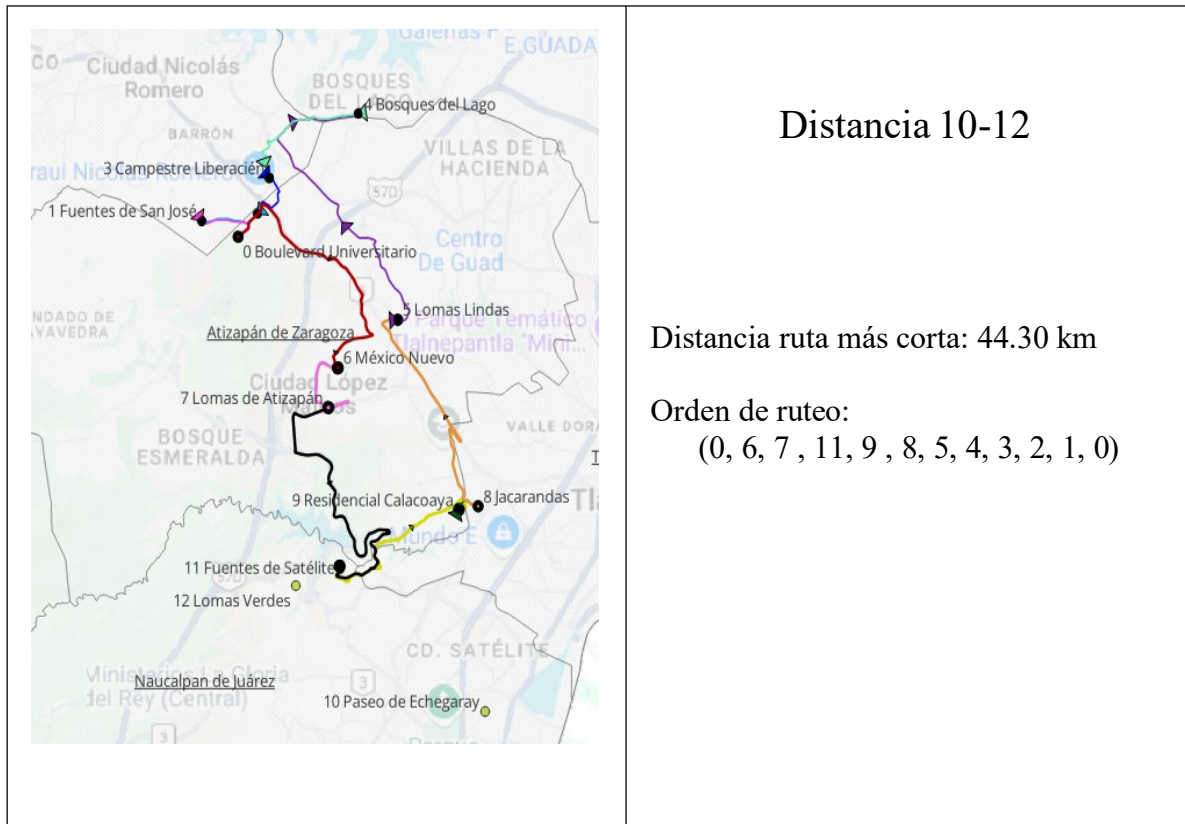


Figura 4.4 Corrida después de la eliminación de puntos (10-12) en distancias. Captura de la ubicación geográfica en QGIS, 2024

Se desarrolla nuevamente el análisis de sensibilidad eliminando los nodos 10-12 en tiempos, figura (4.5), generando la corrida nuevamente, presentando una ruta de 134 min., siendo menor por 31 min. de la ruta óptima generada por el algoritmo Held-Karp.

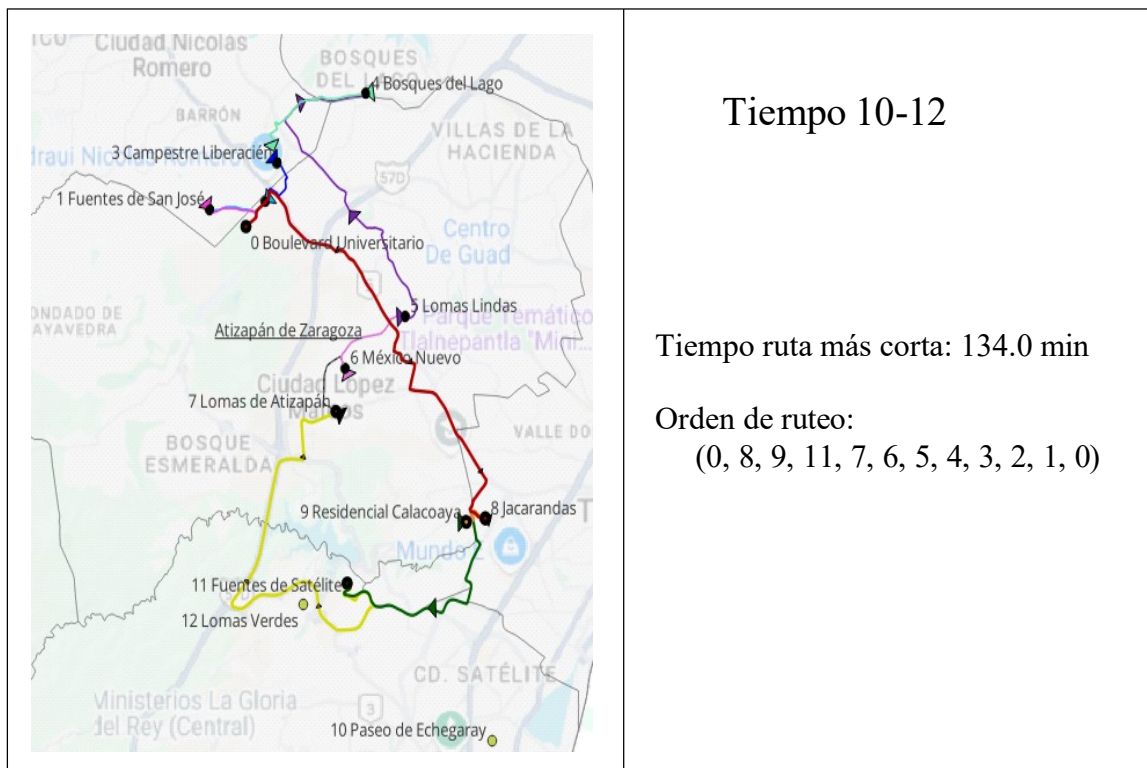


Figura 4.5 Corrida después de la eliminación de puntos (10-12) en tiempos. Captura de la ubicación geográfica en QGIS, 2024

Escenario 3

De acuerdo al análisis de sensibilidad, se eliminan los nodos 11-12 en distancias, figura (4.6). y se genera la corrida nuevamente, presentando una ruta de 48.52 km, siendo menor por 7.48 km de la ruta óptima generada por el algoritmo Held-Karp.

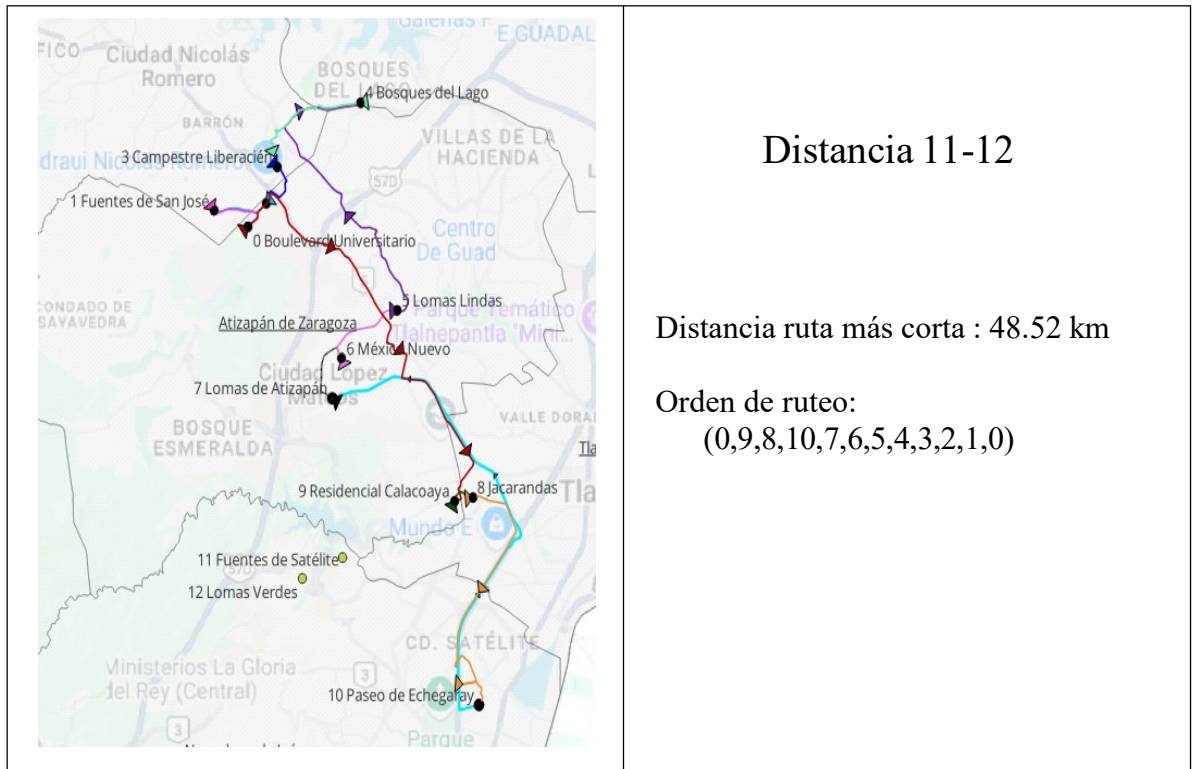


Figura 4.6 Corrida después de la eliminación de puntos (11-12) en distancias. Captura de la ubicación geográfica en QGIS, 2024

Se vuelve a ejecutar el análisis de sensibilidad eliminando los nodos 11-12 en tiempos, figura (4.7), generando la corrida nuevamente, presentando una ruta de 142 minutos, siendo menor por 23 min. de la ruta óptima generada por el algoritmo Held-Karp.

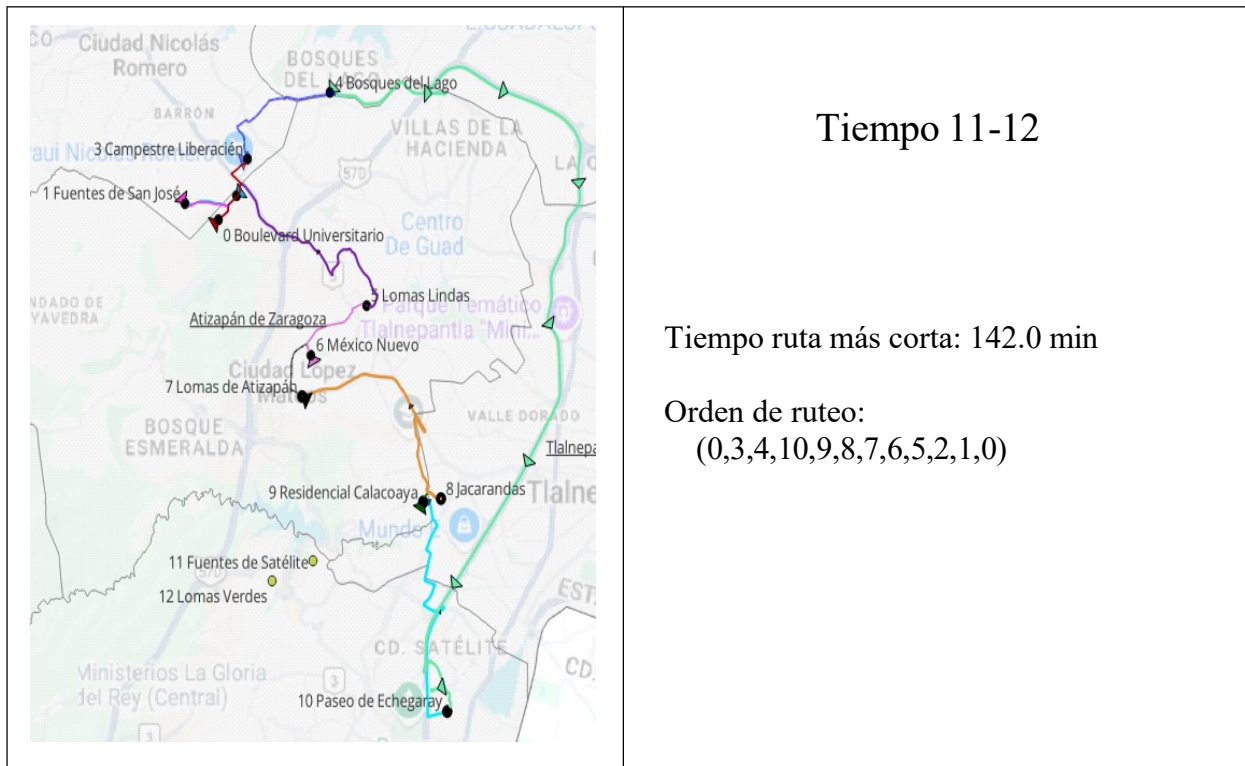


Figura 4.7 Corrida después de la eliminación de puntos (11-12) en tiempos. Captura de la ubicación geográfica en QGIS, 2024

Escenario 4

Por medio del análisis de sensibilidad se eliminan los nodos 9-8 en distancias, figura (4.8). generando la corrida nuevamente, presentando una ruta de 55.04 km, siendo menor por 0.96 km de la ruta óptima generada por el algoritmo Held-Karp.

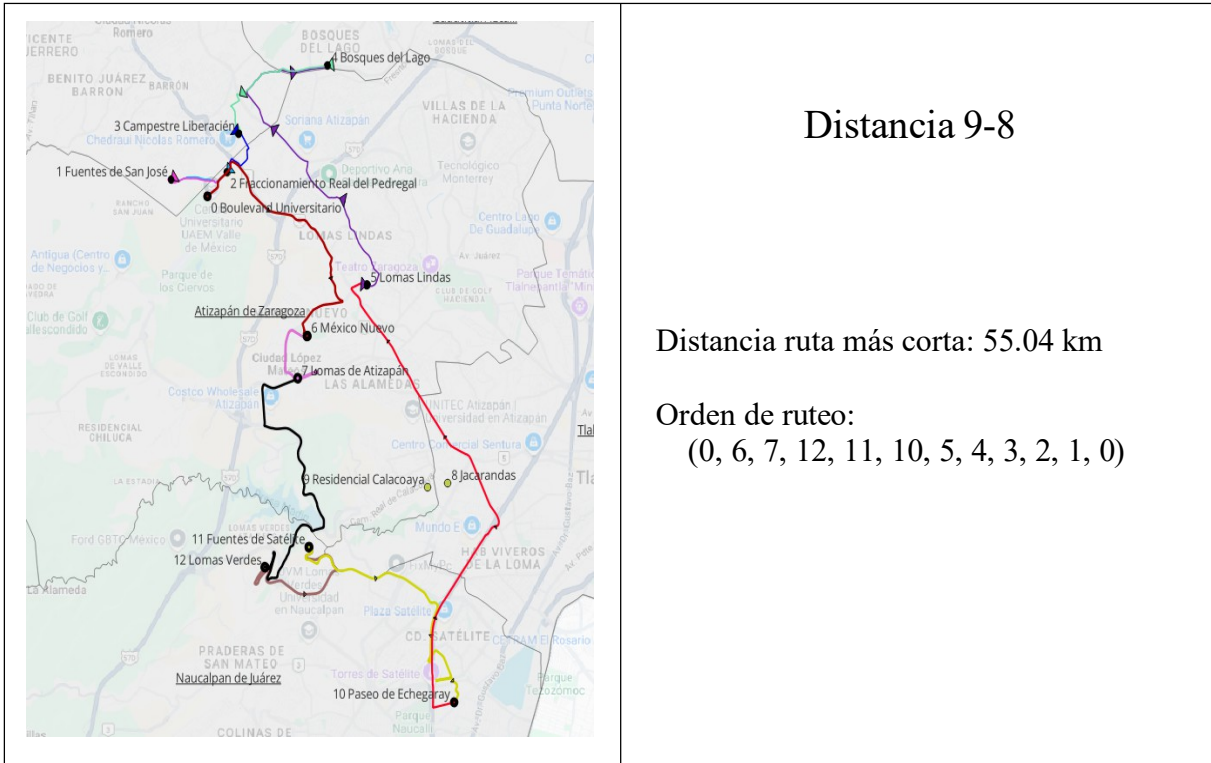


Figura 4.8 Corrida después de la eliminación de puntos (9-8) en distancias. Captura de la ubicación geográfica en QGIS, 2024

Nuevamente con el análisis de sensibilidad, se eliminan los nodos 9 y 8 en tiempos, figura (4.9). generando la corrida nuevamente, presentando una ruta de 148 min., siendo menor por 17 min. de la ruta óptima generada por el algoritmo Held-Karp.

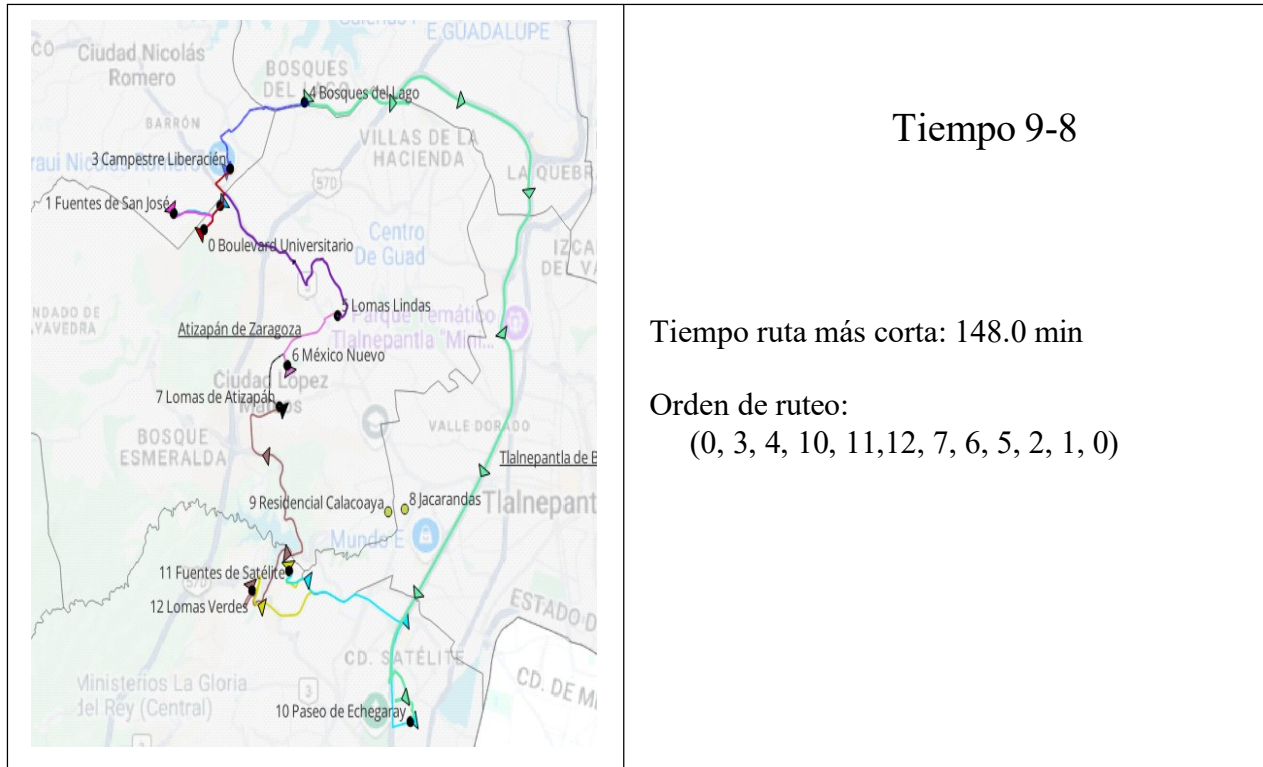


Figura 4.9 Corrida después de la eliminación de puntos (9-8) en tiempos. Captura de la ubicación geográfica después de la eliminación de puntos, 2024

Escenario 5

Como parte del análisis de sensibilidad, también se puede quitar un solo nodo, por último, se procede a eliminar el nodo 10, figura (4.10), se genera la corrida nuevamente, presentando una ruta de 48.08 km, siendo menor por 8.56 km de la ruta óptima generada por el algoritmo Held-Karp.

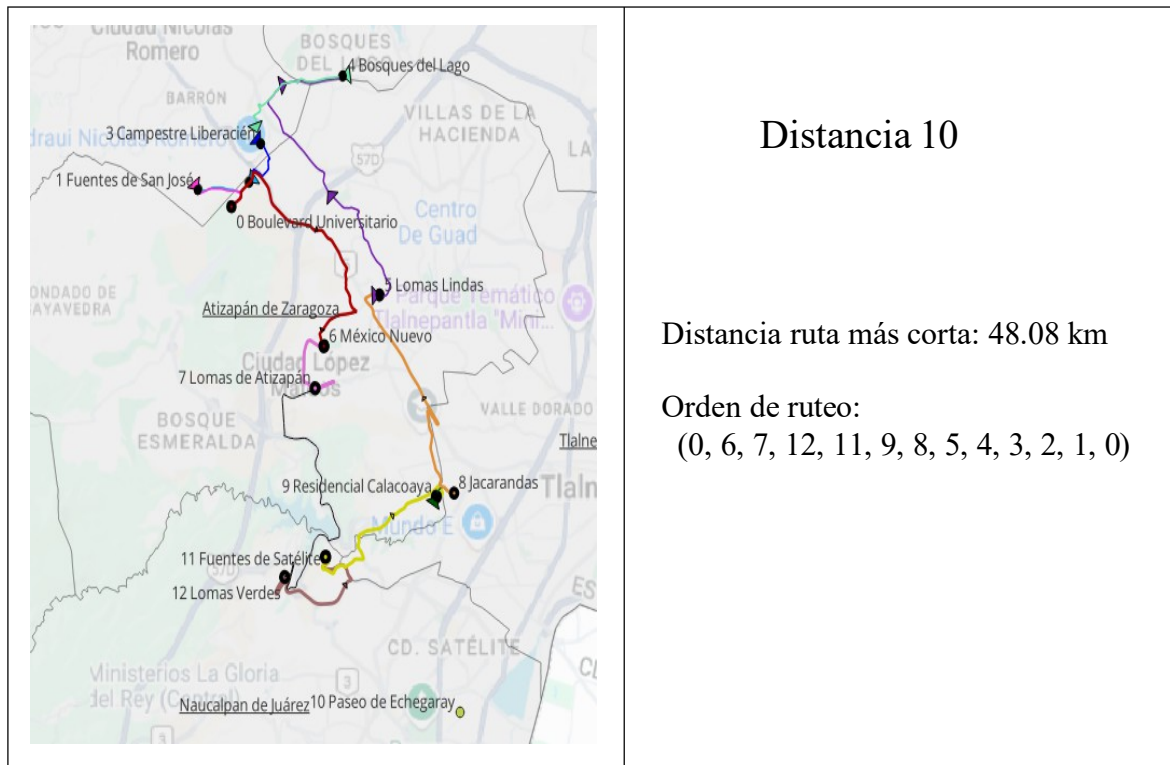
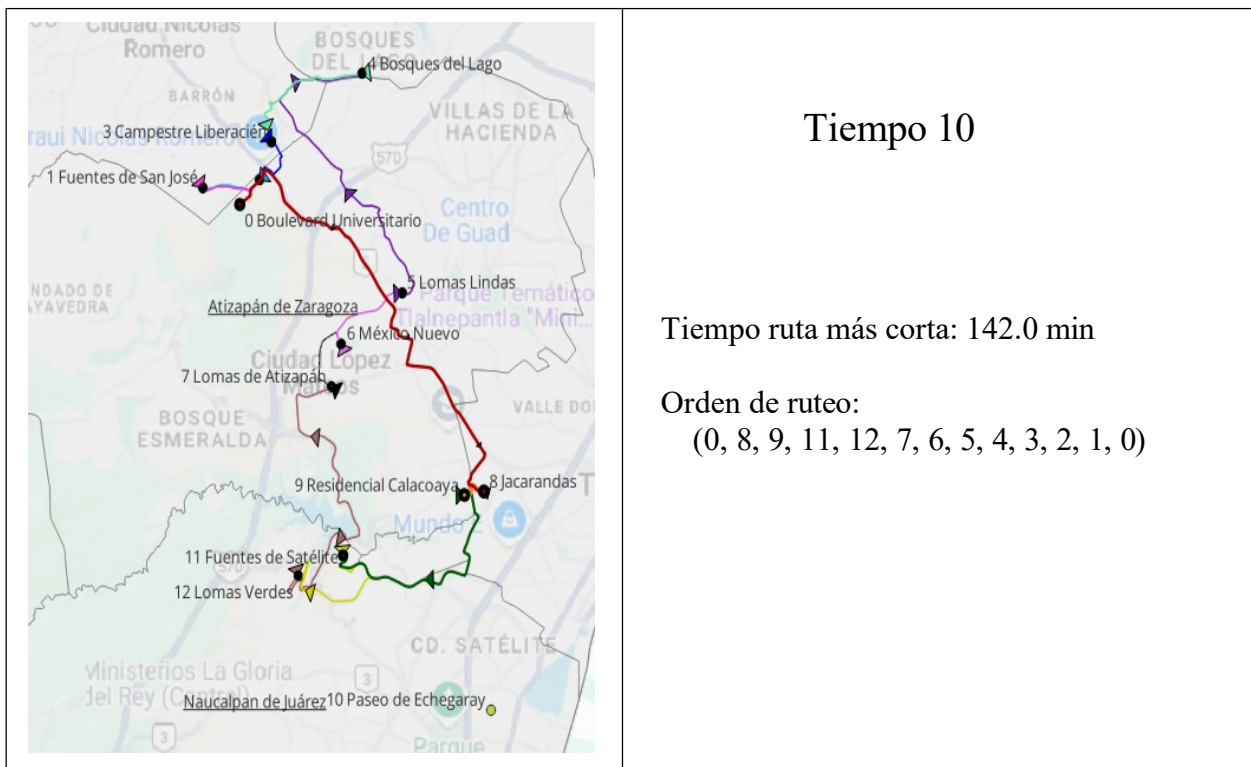


Figura 4.10 Ruta óptima de comercialización mediante el análisis de sensibilidad, eliminando un punto (10). Captura de la ubicación geográfica en QGIS, 2024

Nuevamente con el análisis de sensibilidad se elimina el nodo 10 en tiempos, figura (4.12).
Generando la corrida nuevamente, presentando una ruta de 142 min., siendo menor por 23 min.
de la ruta óptima generada por el algoritmo Held-Karp.



*Figura 4.11 Ruta óptima de comercialización mediante el análisis de sensibilidad, eliminando un punto (10).
Captura de la ubicación geográfica en QGIS, 2024*

A continuación, se presenta un esquema con mejor visualización quitando el nodo 10 figura (4.12). Solamente se observan las rutas que van conectadas con el nodo 10 que son los nodos 8 y 11.

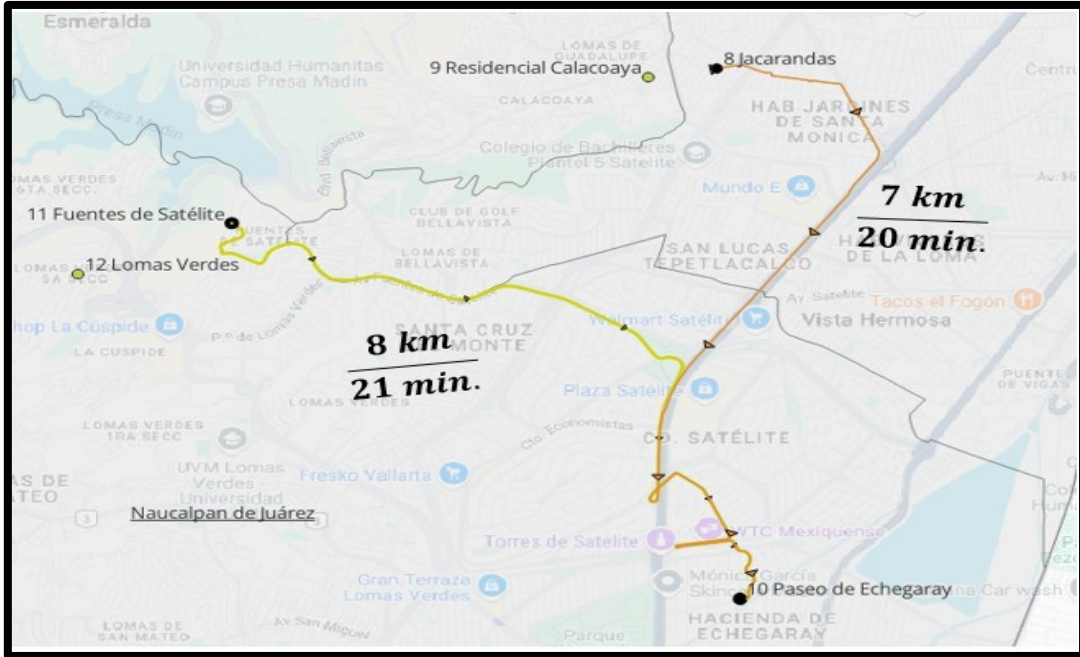


Figura 4.12 Captura de la ubicación geográfica después de la eliminación de un nodo (10), 2024

Luego de realizar el análisis de sensibilidad y presentar los escenarios generados, se calcula en porcentaje, la distancia y tiempo figura (4.13) que se optimizo en la figura (4.12).

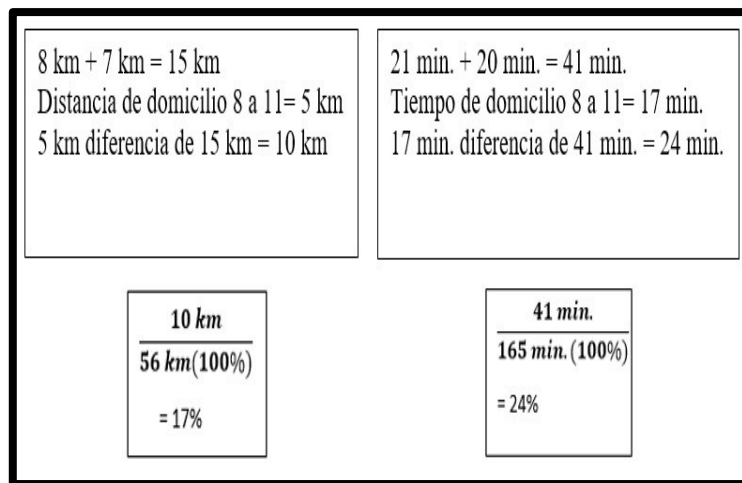


Figura 4.13 Porcentaje óptimo eliminando el punto 10. Elaboración propia, 2024

Se presentan todos los resultados de dicho análisis de sensibilidad en la Tabla (4.1) de acuerdo a los domicilios retirados, en distancias (km) y tiempos (min), para observar ciertas comparaciones y saber cuál llevar a cabo para la ruta de comercialización D2C de las canastas de productos orgánicos de los pequeños agricultores de la Asociación de TONAMEM de Villa del Carbón:

Domicilios retirados	Canastas entregadas	Distancia km	Tiempo minutos	Porcentaje de reducción respecto a la ruta original			
				Distancia Var %	Tiempo Var %	Ingreso Var MXN	Ingreso Var %
4-10	3	45.06 km	120 min	25%	37.5%	\$900	12%
10-12	3	44.30 km	134 min	27%	23%	\$900	12%
11-12	3	48.52 km	142 min	16%	16%	\$900	12%
9-8	4	55.04 km	148 min	2%	11%	\$1,200	16%
10	1	48.08 km	142 min	17%	24%	\$300	4%

Tabla 4.1 Domicilios retirados de acuerdo al análisis de sensibilidad. Elaboración propia, 2024.

De acuerdo a la tabla (4.1) se procede a generar las propuestas de los escenarios convenientes de acuerdo a la eliminación de algunos nodos:

⇒ Eliminando (4-10) se reduce a un tiempo 120 min, es decir 2 hrs. totales de acuerdo al tiempo óptimo anterior del held-karp (165 min).

⇒ Y se puede observar que al eliminar el punto 10, nos genera la mejor opción de la ruta óptima en distancia de recorrido, que son 48.08 km, 17% menos de recorrido y en tiempo son 142 min, disminución del 24%, con una reducción en el ingreso del 4%.

Por lo tanto, se concluye que, por medio del análisis de sensibilidad de escenarios, se muestra que la eliminación del punto 10, que resulta la opción más eficiente en términos de distancia y tiempo de recorrido, mediante una distancia de 48.08 km y un tiempo de 142 minutos, alcanzando una mejora relativa en el costo beneficio.

Es importante destacar que este análisis no incluye variables críticas, como los costos asociados (peajes y la variabilidad en el precio de la gasolina), recordando que el punto de origen es el CU UAEM Valle de México y no se contemplan estos factores.

De acuerdo a lo anterior realizamos los cálculos del beneficio que pueden obtener los pequeños productores al vender sus canastas de productos orgánicos:

El costo total es:

$$\begin{aligned} \text{Costo total} &= \$150 \text{ gasolina} + \$500 \text{ pago de repartidor y uso de vehiculo} \\ &= \$650 \end{aligned}$$

El costo fijo es considerando el vehículo con el cual hacen la entrega consolidada en el CUVM los productores y de ahí inicia el reparto a domicilio, la duración del ruteo es de aproximadamente 2.5 horas, el costo se estima en \$500 MXN.

Considerando un reparto de 25 canastas, se estima el punto de equilibrio por canasta en $\$650 / 25 = \26 MXN.

Considerando el costo de entrega en el CUVM fijado en \$220 MXN por los productores y el costo por canasta en el punto de equilibrio; se puede calcular el beneficio por canasta obtenido considerando un precio de venta a domicilio en \$300 MXN.

Por lo tanto, el costo de entrega por canasta se estima en costo de canasta en el CUVM más el punto de equilibrio para la entrega de canasta en el domicilio, $\$220 + \$26 = \$246$ MXN de donde el beneficio por canasta entregada en el domicilio se estima en $\$54$ MXN

Con las consideraciones anteriores, el beneficio esperado por ruta realizada es

$$\text{Beneficio} = \text{Beneficio por canasta} \times \text{Cantidad} = \$54 \times 25 \text{ canastas} = \$1,350 \text{ MXN}$$

De esta forma los beneficios esperados por el reparto de canastas a domicilio son los siguientes:

Periodo	Beneficio esperado
Semana	$\$ 1,350$ MXN
Mensual	$\$ 5,400$ MXN
Semestral	$\$ 32,400$ MXN
Anual	$\$ 64,800$ MXN

Es necesario destacar que para la estimación de beneficios solo se contemplan la venta de canastas de hortalizas orgánicas; pero se puede agregar productos denominados especiales por los productores como: miel, café, tortillas, salsas, chocolate, bálsamos, crema, productos para la piel, artesanías, entre otros para el reparto a domicilio; generando un beneficio extra al estimado.

Además, considerando el nivel socioeconómico de los destinos de entrega, como son: Lomas Verdes, Fuentes de Satélite, Bosques del Lago, Fuentes San José, Campestre Liberación, Jacarandas, Lomas de Atizapán, México Nuevo, Residencial Calacoaya, Lomas Lindas, Fraccionamiento Real del Pedregal, Boulevard Universitario en el Estado de México es diversa y varía dependiendo de la ubicación y el nivel de urbanización de cada una de ellas.

Tenemos que en Nicolás Romero, Atizapán, Bosques del Lago, Lomas de Atizapán y México Nuevo la situación socio economía es de clase trabajadora, con una economía que depende en

gran medida de la manufactura y el comercio local. Muchas de las personas que viven en esta zona trabajan en la Ciudad de México, lo que ha fomentado el desarrollo de zonas residenciales y comerciales en la periferia, y por lo mismo cuentan con la posibilidad de poder adquirir estos productos orgánicos lo cual les facilita que se los lleven a su casa, además de la falta de tiempo de adquirir este tipo de productos.

La situación socioeconómica en Lomas Verdes y Fuentes de Satélite son zonas de mayor nivel socioeconómico dentro del municipio de Naucalpan y Atizapán de Zaragoza, situadas cerca de la carretera México-Toluca. Son áreas de urbanización media a alta, con una importante presencia de casas de interés medio y alto. Lomas Verdes y Fuentes de Satélite son áreas donde predominan los sectores de clase media y alta, esto se refleja la cantidad de viviendas de buena calidad, centros comerciales, restaurantes y servicios especializados que se encuentran en estas zonas y las condiciones de infraestructura que son generalmente buenas y con acceso a servicios básicos como agua potable, drenaje y electricidad.

Atizapán de Zaragoza por su parte, es uno de los municipios con mayor nivel de desarrollo económico en el Estado de México. Cuenta con una mezcla de zonas residenciales, comerciales e industriales, en esta población también existen colonias populares y zonas residenciales, centros comerciales exclusivos, contando con una infraestructura bien desarrollada, con un buen acceso a servicios médicos, educativos, transporte y recreativos.

Naucalpan por su parte, es uno de los municipios más grandes y poblados del Estado de México y está muy cerca de la Ciudad de México, lo que lo convierte en un área de alta dinámica económica, tiene una población diversa. Hay zonas con altos índices de desarrollo humano, como Satélite y las áreas cercanas a la zona industrial, donde predominan sectores de clase media y alta.

Tlalnepantla es uno de los municipios con mayor actividad industrial del Estado de México, y su situación socioeconómica está marcada por una mezcla de zonas residenciales de alta calidad,

Es una zona muy industrializada, mientras que en el sur hay zonas residenciales de clase media y alta, como en las colonias de Lomas Verdes y Valle Dorado. Existen muchas empresas importantes, así como su cercanía con la Ciudad de México, favorece la economía local, zonas industriales y las residenciales de clase alta tienen acceso a una infraestructura adecuada.

Por lo tanto podemos concluir que en esta zona del Valle de México, donde se encuentran los puntos de entrega, se comercializan las canastas de productos orgánicos de pequeños productores y representa una oportunidad estratégica por varias razones: Es una población económicamente activa, ya que cuenta con un gran número de personas en edad laboral que buscan opciones prácticas y rápidas para adquirir alimentos, especialmente aquellos que tienen poco tiempo para visitar mercados o supermercados. También existe la demanda por conveniencia y salud, ya que esta oportunidad de venta apoya, especialmente aquellas mujeres que trabajan y tienen poco tiempo para seleccionar alimentos saludables y de calidad.

Las canastas orgánicas resuelven esta necesidad al ofrecer productos previamente seleccionados garantizando una dieta equilibrada sin consumir su tiempo. El interés por los productos orgánicos, actualmente ha sido una tendencia al alza, debido a su percepción como una opción más saludable y sostenible. Esto genera un mercado en crecimiento, especialmente en zonas urbanas donde las personas buscan alternativas a los productos convencionales.

La comercialización D2C canal de distribución directo al cliente, como entregas a domicilio, reduce costos operativos significativos, como renta de locales comerciales o pago de intermediarios. El gasto principal se limita al combustible, haciendo el modelo más rentable y eficiente (INEGI, 2020).

12. Referencias

Alcaide, J. C. (2015). *Fidelización de clientes 2ª*. ESIC editorial.

https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=87K_CQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=%E2%80%A2%09Si+las+entregas,+se+realizan+de+manera+adecuada,+crece+n+la+confianza+y+la+relaci%C3%B3n+con+los+clientes+&ots=RnSkPrB8Es&sig=kV6Ab8tgDBojqpgwWvI3Ue9LVA4

Beily, M. E., Brunori, J., Campagna, D. A., Cottura, G., Crespo, D., Denegri, G. D.,

Ducommun, M. de la L., Faner, C., Figueroa, M. E., & Franco, R. (2011). *Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar*.

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/189924>

Betti, A., & Giraldez, R. N. (2020). *Aplicación de técnicas basadas en aprendizaje profundo para la clasificación de imágenes satelitales y otras plataformas de observación terrestre* [PhD Thesis, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería; Argentina]. <https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/464>

BUENTELLO DUQUE, A. (2019). *Diseño de una metaheurística evolutiva orientada a la distribución de aerogeneradores en campos eólicos*.

<http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/789/1/Abelardo%20Buentello%20Duque.pdf>

Caceres, S. N. E. (2024). *Proyecto de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)* [PhD Thesis, Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC].

<https://repositorio.unitec.edu/handle/123456789/12983>

Calvo Almeida, V. M. (2022). *Análisis del problema del viajante*.

<https://gredos.usal.es/handle/10366/151474>

- Cambranis Lopez, J. J. (2014). *El optimizador de enjambre de partículas y su aplicación en sistemas eléctricos de potencia*. <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/3101>
- Caplice, C., & Sheffi, Y. (2006). Combinatorial auctions for truckload transportation. *Combinatorial auctions*, 21, 539-571.
- Concha, M. F. (2012). Hybrid Support Vector Machines to Classify Traffic Accidents in the Región Metropolitana de Santiago. *Journal of Technological Possibilism*, 1(2), 43-57.
- Crespo Sánchez, G., Pérez Abril, I., & García Sánchez, Z. (2022). Exploración científica de los algoritmos evolutivos en la reconfiguración óptima de redes de distribución eléctrica. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(1), 303-319.
- de Castro, E. D., & García, A. N. (2004). *Naturaleza de la distribución*. Distribución Comercial”, Enrique C. Díez de Castro (coord.), 3^a ed., McGraw
<https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24313w/Distribucion.pdf>
- DE, TONYSE. (2008). *PROPUESTA DE ALGORITMOS PARA LA REDUCCIÓN DEL ESPACIO MUESTRAL* [PhD Thesis, UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS].
https://repositorio.uci.cu/bitstream/ident/TD_1780_08/1/TD_1780_08.pdf
- Duarte Alleuy, B. E. (2009). *Heurística Basada en Generación de Columnas para el Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo y Flota Homogénea. Caso: Cervecerías Chile SA*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102020>
- Ferro, E. (1999). *Asignación y diagramabilidad de sistemas distribuidos de tiempo real duro*. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2199>

- González Casabianca, F. (2016). *Algoritmos de clustering en grafos estáticos y retos en grafos dinámicos*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstreams/7ed77892-448e-4efe-97e0-ccd44b9c0ede/download>
- HERNÁNDEZ, J. G. (2022). *Mercados públicos y circuitos cortos de comercialización de los pequeños productores de Larrainzar, Chiapas*.
<http://repositorio.unach.mx:8080/jspui/handle/123456789/4078>
- Hernández, J. G. V., Álvarez, M. V., & Elorza, A. V. (2023). Evolución y tendencias de la investigación científica en circuitos cortos de comercialización: Análisis bibliométrico internacional. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 20(2), 214-236.
- Huaman Huancas, J. C., & Angeles Núñez, K. R. (2024). *Impacto de una estrategia de distribución ecommerce sobre el nivel de servicio en la empresa Hermes Transporte Blindados, Chorrillos, 2023*. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/9865>
- INEGI, (2020) *Información Demográfica y Social ; Censo de Población y Vivienda 2020*.
https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos_abiertos
- Julca Góngora, E. F., & Montenegro Villacorta, P. A. (2024). *Marketing directo y satisfacción del cliente en una empresa de producción de helados, Moyobamba–2023*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/146674>
- LA FAO, U. (1990). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/Employment/docs/Recruitment_brochure_final_Spanish2.pdf

- Lago Cabrera, J. (2011). « *Smith-Waterman* » paralelo en arquitectura de many-core para búsquedas en bases de datos de secuencias [Master's Thesis, Universidad Internacional de Andalucía]. <http://dspace.unia.es/handle/10334/1456>
- Leguizamón, L. S., Hernández, F. G., Cabañas, A. A. G., & Arias, M. A. L. O. (2023). Agroecosistemas tradicionales del trópico mexicano: Los “bajíos” de Chiapas y sus características en el contexto actual. *Revista de ciencias sociales*, 29(2), 108-122.
- Macias Vélez, A. Y., & Pilaguano Enríquez, K. A. (2023). “Estrategias de marketing para incremento de las ventas en la microempresa Postres Valencia Provincia los Ríos año 2022”. [B.S. thesis, Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11295>
- Mayorga, J. C. V. (2021). Criterios jurisprudenciales y doctrinales sobre las conceptualizaciones de normalidad y necesidad en las deducciones en la ley de impuesto sobre la renta vigente. *Enfoque Disciplinario*, 6(1), 42-58.
- Medina, L. B. R., La Rota, E. C. G., & Castro, J. A. O. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. *Ingeniería*, 16(2), 35-55.
- Mora Monserrate, K. J. (2024). *Uso de la biotecnología reproductiva para el mejoramiento genético mediante la transferencia de embriones en ganado bovino* [B.S. thesis, BABAHOYO: UTB, 2024]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16048>
- Morán Bermúdez, N. (2015). *Desarrollo y aplicación del algoritmo PSO al problema TSP*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/13608>
- Moreno Beltrán, D. (2020). *Implementación de una herramienta de software virtual para entrenamiento en solución de problemas-TROUBLESHOOTING-del protocolo EIGRP*

[PhD Thesis, Universidad Santo Tomás].

<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22841>

Olivera, A. (2004). Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos. *Reportes Técnicos 04-08*.

https://www.academia.edu/download/31473900/Libro_Heuristica_para_Problemas_de_Transporte.pdf

Ortiz Tovar, S. S. (2016). *Solución del problema de múltiples agentes viajeros con cómputo evolutivo en paralelo*.

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25898/ORT%C3%8DZ%20TOVAR%20SONIA%20SARAH%C3%8D%20-%20DP.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Padua Dueñas, A. K., & Segura Peñuela, A. D. (2018). *Modelo para la solución de un problema de ruteo de vehículos con capacidad y ventanas de tiempo, en el servicio de transporte de canje y correo bancario*.

<https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/706>

Pedraza, L. (2016). *Aplicación del Método del Barrido para reducir los costos de recolección y transporte de residuos sólidos de la Empresa QUMIR SAC 2016*.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23850>

Peña Rodríguez, M. A. (2016). *Problema del viajante de comercio con periodicidad*.

<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1982/Problema+del+viajante+de+comercio+con+periodicidad.pdf?sequence=1>

Pérez Rojas, M. A. (2023). *Caracterización de los canales de distribución en el proceso de comercialización del cultivo de arándanos para el mercado bogotano*.

<https://repository.udca.edu.co/handle/11158/5387>

- Reina, D. G., Córdoba, A. T., & del Nozal, Á. R. (2020). *Algoritmos Genéticos con Python: Un enfoque practico para resolver problemas de ingeniería*. Marcombo.
https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=yExOEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT18&dq=Los+Algoritmos+Gen%C3%A9ticos+utilizan+principios+de+evoluci%C3%B3n+y+selecci%C3%B3n+natural+para+explorar+soluciones+potenciales+que+se+pueden+localizar+en+soluciones+cercanas+a+la+%C3%B3ptima,+con+espacios+de+b%C3%BAqueda+grandes+y+complejos+que+no+siempre+garantizan+la+optimizaci%C3%B3n,+adem%C3%A1s+que+pueden+ser+lentos+en+converger.+&ots=A6H_7G_9&sig=wPzuBTYyHNbq0DuA1hsxES0GEIA
- Saldaña Rabanal, A. (2023). *Optimización del proceso de distribución de productos de la Empresa Backus SAA-Centro de distribución Cajamarca-año 2017*.
<http://190.116.36.86/handle/20.500.14074/5965>
- Sierra Fernández, A. (2023a). *Algoritmos heurísticos para el problema del viajante: Colonia de hormigas y Christofides*. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/29846>
- Sierra Fernández, A. (2023b). *Algoritmos heurísticos para el problema del viajante: Colonia de hormigas y Christofides*. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/29846>
- Vidal Rodríguez, A. (2019). *Análisis de los canales cortos de comercialización en la comunidad autónoma de Madrid: Caso práctico sobre la comarca de Las Vegas*.
<https://oa.upm.es/id/eprint/56825>
- ZUÑIGA, E. C. C., ZUÑIGA, N. C., & MONTILLA, I. A. L. (2020). Agricultura familiar e plataformas digitais no contexto da COVID-19. *Boletim Covid-19, Campinas, 15*, 2020-07.