



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

TITULO DEL TEMA DE TESIS:

Desarrollo Logístico de Orquídeas Cuerna.

TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE:

Ingeniero Industrial

NOMBRE DEL AUTOR:

Aldo Sadot Sotelo Ruiz

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Beatriz Martínez Bahena

Cuernavaca, Morelos a 13 de Octubre de 2021



Cuernavaca, Mor., a 30 de Agosto del 2021

DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA
DRA. JUANA ENRIQUEZ URBANO
DRA. BEATRIZ MARTINEZ BAHENA
DRA. ERIKA YESENIA AVILA MELGAR
MTRO. ALFONSO D´GRANDA TREJO
P R E S E N T E

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de:

TESIS

Titulado:

Desarrollo Logístico de Orquídeas Cuerna.

Que presenta (el) o (la) **C. Aldo Sadot Sotelo Ruiz**

Del programa educativo de: **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
 Directora
 Firmado Electrónicamente

D I C T A M E N

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQeI
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTÁMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que los abajo firmantes otorgan su voto aprobatorio y firman electrónicamente para dar validez.

VOTO	NOMBRE	FIRMA
	DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA	
	DRA. JUANA ENRIQUEZ URBANO	
	DRA. BEATRIZ MARTINEZ BAHENA	
	DRA. ERIKA YESENIA AVILA MELGAR	
	MTRO. ALFONSO D´GRANDA TREJO	

VALH/ kgss

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209
 Tel. (777) 329-70-00 Ext. 7039/ fcqei@uaem.mx





Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2021-08-31 23:28:20 | Firmante
jHu53dwUDK+PwxMbySY55TR7NKTGa46wXTnWpiFfroQLuzi6AXohxOU/mXu03XhUv34DkdUXnnHD00YlwTCWzgeGm9gwLXKDRhVvJyvpIxBNSyZTq4Ue/ePB6Onyz+qk9IB
FNrri/QguHG1S4RUjmgBrcl68C3tczKuDV+nLJNwG/4vqyPm/KQ6Sj5jouNvZBOd4Yl/z4kxg/3rByNXZpIlu4Wx6VapCU8Z1cEm1Ywy+KkoTBRSTOrj4QUQ8MEIPZJA5xEReymX
rWhdkH95G3Cuy8Kes8Clx9IKsLNDkiw3sczPzkXCqBVN0gFEPGIsiBkvAIV4xud71yC0eew0Q==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



iRVwqT

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/cTJKAsrwbXIFgLeqmcrmdGBW6Mt83br>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

JUANA ENRIQUEZ URBANO | Fecha:2021-09-01 16:52:32 | Firmante
 L1adNdb4h713ooGj69BqGoz1wHwmlGjV7Lir+VUjEwqUdajUbR5eHyH7vengLA147mAxZ2lZOmMTPGsWxexOpJ1EKbA1EFPVYLJbJm15ycqXQaEnBMYcHdyPoTbPjwvJ0z6vd/ChF0yTuikxT09019sG8xFcgQl+0CBJOeotjZvND3y879it+1fEzYBIGkUdFxfjVdTX1jxx2EQMPLNnoxu464z/INvTL7G8lkwX9vR9yagu7d3koFbZbNDF9fV90AGs8SLpXUAwLamp sca5qBADRr/pnMnUckAI82FHfmUlkTjJbtxyNUnZ55jSEQCTExkJ+bRqKdWRD3BtNA==

BEATRIZ MARTINEZ BAHENA | Fecha:2021-09-02 15:28:23 | Firmante
 LOBrWIZGAR5eY6kVyEpYg8o/AEk/KdPyT0yeolK0stYvzroGzO4ON2JfgWdOiyJASgAP+p2cJ6xZn7ejxdbCsSVRD2elB8Z3+Iz4Ozcj+UsG28Nkrmrzwues6+AfwAx+Y6IAbsR3kkSDTcb3TQoEPeB1LLzr2BhyPvIbx5p9Nhe7EvjHXhPcEZUbgDVeHCSnAZWUNKkjW2M/hMUSJ6OJTF+25cXK61Q1Z1SIPN7+R8cRO5pu1BwQ1uvHJmmY7uRDsr0pehSD4naYKcozbenJE7CEUM0X+7kDbz18WdNUMXOcrofBsF47xzovGfsT9h8/CR/PsGtu4cG6gQHPA==

JESUS DEL CARMEN PERALTA ABARCA | Fecha:2021-09-20 21:17:46 | Firmante
 SuZjEx0erhPvdpwQG4iqqE3XINfR8DBqfOa/OaSEho7RZe2Co9gh3pgZT4xmRo4WfICB5RpZZuEF89CjW1WSyhhWfvc3oQE4I+y9nhwGkCvNlWiiUYRpkM+J7Gjv4GX3NMefgzWYH+6zvbG1XHMBdKRI/wk8zqxmd1AsoHUmiiYfaORhorPIUKOPiQSAqjWhOBZObGivetQL/gQlro6IDhBryFKTV35sOh3XC7ie6PKzISYNdq8wZt+VAp049SpUJ4Zik/1SQir44A/aHPZSsi9Wjd3RQkCAA8+iFXwtaSNKz6Kh6Bh6HEg1AK7GK1uHe++ehbAS/2IH6dgt==

ERIKA YESENIA AVILA MELGAR | Fecha:2021-09-25 13:57:34 | Firmante
 E+YwU/koWAAAZHIDHoB8VBU26kFXstZXPiLrELAqXx+HwKveOm3EWrcMDj7iIjHHncefKGFc4WeCKAIZjY/RE9Jf0BO+hNw3LPF6oJIMDhtn7FL2n/0362Jv8i4V4JoKoW2bZrPGWkxc+o24fnBqf/gK73dlKy8ztohs0JzsQ5AAjI9jqoZl2K/F+ROndy4n+KORem78o2lg3SCTC91F9/LWUpvFKfXk9pH42fe3qh0X+6amxR1zTo2kLm0QYhzbSj8r9SRNHHDsaTilgFwZxPKl6WqJmn8gXl2+mCyncmCdYUzTpNNumTmOidQhQ0OW9+elZ89xGfrZ5LA==

ALFONSO D GRANDA TREJO | Fecha:2021-10-11 12:06:17 | Firmante
 yoz8yrweWUB/RzJvgJqjnlNyne+ADdh3ZwHKNJB8zJpZJdizhBpiYRfYUxc/RidbSjMckqSUpbh+6wyH8+hj8gF9uVCOEQyfm+ybMIHF6RmFhclPwkbvYXBzh6lvR/Xuay3i31uouwLqPbRPF41q65rUzWJ4Fufit7XEIFB6UcvtFYhHd4hF/OeVO2mNeQzqe+qLGBGMcvpplx4AkWUGxRFXH5rx8zPtUy2Gu3qUtu1tv98rsF8Mqxo5nxLYjJUKYUitRYUxNIAHf/to0Td akjgdkFelFpbTIOU87GgBFERhcAGB7NL8UWIRhweVMzjPo7as5jWmXfIm1j3wyPw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



k0ZVnx9tg

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/qllMLVaQwTcbstHVR3TCu5vEuvmV3w>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023

AGRADECIMIENTOS

Todo es gracias a mi mamá, por haber dedicado su vida en mí y en sacarme adelante a pesar de todas las dificultades que confrontamos durante mi vida; por ser la principal promotora de mis sueños, por cada día confiar y creer en mí, por siempre desear y anhelar lo mejor para mí, por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

Agradezco a la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo mi carrera universitaria.

Esta tesis es dedicada a Jennifer Sánchez Fuentes, mi mayor motivación, con todo mi amor para ella.

ÍNDICE

RESÚMEN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPITULO I “MARCO CONTEXTUAL”	12
ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
OBJETIVOS.....	14
JUSTIFICACIÓN	15
CAPITULO II “MARCO TEÓRICO”	16
FUNDAMENTACIÓN	16
CAPITULO III “METODOLOGÍA”	30
CAPITULO IV “ANÁLISIS DE RESULTADOS”.....	60
FASE FINAL	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Transporte.....	32
Tabla 2. Equipo	32
Tabla 3. Software	32
Tabla 4. Parámetros considerados.....	33
Tabla 5. Matriz de distancias.....	36
Tabla 6. Valores totales.....	37
Tabla 7. Matriz de costos	38
Tabla 8. Matriz de ahorro	39
Tabla 9. Punto de entrega 1	42
Tabla 10. Punto de entrega 2.....	43
Tabla 11. Punto de entrega 3.....	44
Tabla 12. Punto de entrega 4.....	45
Tabla 13. Punto de entrega 5.....	46
Tabla 14. Punto de entrega 6.....	47
Tabla 15. Punto de entrega 7.....	48
Tabla 16. Punto de entrega 8.....	49
Tabla 17. Punto de entrega 9.....	49
Tabla 18. Punto de entrega 10.....	50
Tabla 19. Punto de entrega 11	51
Tabla 20. Punto de entrega 12.....	51
Tabla 21. Punto de entrega 13.....	52
Tabla 22. Punto de entrega 14.....	52
Tabla 23. Rutas con mayor rentabilidad	53
Tabla 24. Unidades (plantas).....	53

Tabla 25. Ruta 1	54
Tabla 26. Ruta 2	54
Tabla 27. Ruta 3	54
Tabla 28. Centros de distribución	55
Tabla 29. Matriz de distancias.....	57
Tabla 30. Solución inicial.....	57
Tabla 31. Matriz de costos	58
Tabla 32. Matriz de ahorro.....	58
Tabla 33. Rutas finales	58
Tabla 34. Costo inicial	61
Tabla 35. Costo final	62
Tabla 36. Ahorro total	62
Tabla 37. Ahorro final.....	63
Tabla 38. Cronograma de actividades.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los métodos aproximados	22
Figura 2. Ruta inicial a) y ruta optimizada b)	26
Figura 3. Ubicación de puntos de distribución.....	34
Figura 4. Demanda semanal	34
Figura 5. Distancia de los puntos de distribución	35
Figura 6. Solución inicial	37
Figura 7. Ruta 0-13-0	40
Figura 8. Ruta 0-3-0	40
Figura 9. Ruta 0-13-3-0.....	40
Figura 10. Unidades	56
Figura 11. Distancia	56
Figura 12. Solución inicial	57
Figura 13. Ruta 1	60
Figura 14. Ruta 2	60
Figura 15. Ruta 3	60

RESÚMEN

La existencia de muchas dificultades que genera la pandemia del COVID-19 en los diferentes modelos de negocio, ha convertido a las ciudades en lugares más inteligentes con el nuevo comercio electrónico y ha adelantado a la tecnología a pasos agigantados.

La implementación de una heurística a través del diseño de rutas de entrega conlleva grandes desafíos para todo negocio en la actualidad, pero principalmente a esta empresa, ya que implica importantes cambios en la forma de laborar y administrar los recursos de la misma.

La presente investigación tiene como objetivo minimizar costos de transporte con el diseño de rutas de reparto optimizadas en función de tiempo y recursos.

Con esta finalidad, se aplica la heurística de Clarke y Wright, que es utilizada a la red de distribución de mercancías para disminuir los costos de transporte de las empresas, y propone una solución factible a los problemas del ruteo de vehículos.

Las conclusiones de la investigación son favorables, debido a la gran reducción de costos con la asignación de rutas optimizadas para la distribución de mercancías de la empresa, obteniendo un 71% de ahorro en costo de transporte.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, se vive una de las épocas más difíciles para todos los morelenses, esto debido a la pandemia que ha atravesado el mundo y que ha cambiado de gran manera la forma de vivir de la gente.

Al inicio de la contingencia, la mayoría de los negocios se mantuvieron en números rojos y muy pocos salieron adelante; por otro lado, existen los negocios que han sabido adaptarse a la nueva normalidad y han adecuado sus procesos como nunca, optimizando y mejorando la forma de laborar.

“Orquídeas Cuerna” nace de esa manera, con la intención de rescatar a los productores de plantas ornamentales del norte del Estado de Morelos, específicamente de Tetela del Monte.

Las entregas de productos a domicilio han aumentado de una forma acelerada para el resguardo de la salud de los consumidores y todos los involucrados en el proceso (repartidores, conductores, trabajadores de comercios, restaurantes, entre otros).

Esta ha sido la modalidad con la cual se han mantenido activas las ventas en medio de la contingencia sanitaria y es así como los comercios han percibido ingresos para no cerrar sus puertas.

Durante el crecimiento, la empresa se ha adaptado a diferentes situaciones que se presentaron durante la operatividad, pero para permanecer constantes en este modelo de negocio, era necesario optimizar el proceso y la optimización más adecuada que se puede implementar en la empresa debe ser en la entrega de mercancía (etapa final).

Es así, como nace este trabajo de investigación, donde se adecua la heurística de Clarke y Wright al modelo de la empresa, esto con la intención de aumentar la utilidad bruta y que se aprovechen de mejor manera los recursos que se utilizan para el correcto funcionamiento de la misma.

CAPITULO I “MARCO CONTEXTUAL”

ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Todo empezó a finales del año 2019, durante la época de la flor de Noche Buena, se apoyó a la distribución y en la participación de expos de esta flor tan típica, todo gracias a una invitación donde se pudo aprender todo el proceso que conlleva desde la plantación hasta la distribución.

Para el mes de febrero, específicamente a días de celebrar el día del amor y la mitad, nació la oportunidad de involucrarse en la venta y distribución de orquídeas, con resultados que no se esperaban, vendiendo todo el lote y sin la capacidad de cubrir la gran demanda que se generó.

Con estos resultados, se consideró seriamente en participar de lleno a este modelo de negocio con muchos planes, pero con una enorme dificultad que se presentó, la pandemia; que más tarde se convirtió en una oportunidad.

“Orquídeas Cuerna” empezó a operar formalmente a inicios del mes de mayo del año 2020, con la finalidad de vender y distribuir las plantas ornamentales de los productores de Tetela del Monte, que se vieron afectados con el cierre total de sus establecimientos a raíz de la contingencia sanitaria, hasta los hogares de los clientes del norte del Estado.

Las ventas se han realizado únicamente en línea y de manera exitosa, superando las expectativas y proyecciones de venta; también se ofrece servicio al cliente y garantía total del producto.

Todo esto, con ayuda de la creación de páginas oficiales en redes sociales (Facebook e Instagram), y de colaboraciones con figuras públicas; actualmente se cuenta con casi mil seguidores en conjunto.

La finalidad de este plan logístico es reducir los gastos operacionales que genera el transporte de la mercancía y así poder incrementar la utilidad bruta; pero también para la preparación de la venta de fin de año de la flor de temporada (Noche Buena).

Las operaciones de la empresa no son complejas, con el correcto marketing se ha llegado a muchos hogares de Cuernavaca y alrededores; sin embargo, se responderán las siguientes preguntas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de reparto de la empresa representa la mayoría del presupuesto mensual, por lo cual, se optimiza este proceso porque cualquier falla o demora en el sistema, genera grandes costos para el departamento de logística.

¿Cuáles son los mayores problemas logísticos que tiene la empresa?

- Impuntualidad a causa de la falta de planeación de rutas con los puntos de entrega.
- Problemas al ubicar los diferentes domicilios en Google Maps, debido a la poca actualización de vialidades que hay en el estado.
- Utilidad baja o casi nula a causa del mal diseño de ruta de entregas (una ruta de entregas ideal permite ahorrar tiempo y recursos de manera significativa, que se traducen a dinero).
- Problemas con el empaque y embalaje de la mercancía al transportarla, así como de cubicaje.

¿Qué factores se buscan reducir?

- Tiempo.
- Gastos operacionales.

¿Qué factores se buscan mejorar?

- Empaque y embalaje.

Al desarrollar este proyecto, permitirá reducir o eliminar los problemas antes presentados; y así como alcanzar el objetivo principal que es incrementar la utilidad mensual de la empresa.

El presente trabajo se desarrollará únicamente desde el enfoque logístico, utilizando las herramientas y características aprendidas durante la carrera de ingeniería industrial.

Este proyecto no incluye cambios en la parte comercial ni administrativa de la empresa.

OBJETIVOS

General

- Minimizar los costos de transporte mediante la aplicación de la heurística de Clark y Wright, para la creación de nuevas rutas de reparto optimizadas.

Específicos

- Reducir los gastos operacionales que genera el transporte de la mercancía.
- Ahorrar tiempos de entrega con ayuda del uso de diferentes técnicas y herramientas que permitan controlar el flujo de mercancía.

- Incrementar el margen de utilidad bruta con la mejora del proceso logístico con los recursos actuales y también considerando un panorama a largo plazo.
- Aplicar la heurística de Clark y Wright en dos escenarios.

JUSTIFICACIÓN

En este trabajo se propone elaborar un desarrollo logístico de la empresa “Orquídeas Cuerna”, que se dedica a la venta y distribución de plantas ornamentales en el norte del Estado de Morelos (Orquídea y Noche Buena), con presencia en diferentes municipios.

El objeto de estudio será incrementar la utilidad mensual de la empresa con un plan logístico que contribuya a reducir los costos operacionales que genera la venta y distribución de la mercancía con los diferentes puntos de entrega con lo que se cuentan y con la infraestructura actual.

La razón por la cual se realizó este desarrollo logístico es con la intención de aprovechar al máximo nuestra capacidad de transporte en función de las rutas de entrega, con ayuda de diferentes técnicas y herramientas de la ingeniería.

CAPITULO II “MARCO TEÓRICO”

FUNDAMENTACIÓN

Plantas ornamentales

Una planta ornamental es aquella que se cultiva y se comercializa con propósitos decorativos por sus características estéticas, como las flores, hojas, perfume, la peculiaridad de su follaje, frutos o tallos en jardines y diseños paisajísticos, como planta de interior o para flor cortada. Su cultivo, llamado floricultura, forma una parte fundamental de la horticultura. (Rojas, Bermúdez, & Jiménez, 2006)

Su importancia se ha incrementado con el desarrollo económico de la sociedad, el incremento de las áreas ajardinadas en las ciudades y el uso de plantas de interior en hogares y edificios públicos. (Rojas, Bermúdez, & Jiménez, 2006)

Las plantas ornamentales normalmente se cultivan al aire libre en viveros, con una protección ligera bajo plásticos o en un invernadero con temperatura controlada. Estas plantas se suelen vender con o sin maceta para ser trasplantadas al jardín o simplemente ubicadas como planta de interior. (Rojas, Bermúdez, & Jiménez, 2006)

La producción de este tipo de plantas se separa en tres grupos: (Rojas, Bermúdez, & Jiménez, 2006)

- Grupo 1: Árboles, arbustos y especies de jardín, tanto anuales o bienales, destinadas al cultivo en jardines privados, parques públicos o decoración urbana.
- Grupo 2: Plantas de florista utilizadas como flor cortada, junto con varas/ramas de hojas verdes para composiciones florales, como ikebana, ramos o bouquets, guirnaldas, coronas.

- Grupo 3: Plantas de interior cultivadas en maceta o pequeños contenedores como una maceta para decoración en el hogar o centros públicos.

La cantidad y variedad de especies en oferta en el mercado a nivel mundial depende principalmente de la tendencia de compra de los consumidores, que demandan variedad y máxima calidad. (Rojas, Bermúdez, & Jiménez, 2006)

Para que una planta llegue a tener valor comercial debe cumplir ciertos requisitos, como su resistencia a condiciones de cultivo adversas: tolerancia al suelo, riego o luz inadecuados, o a enfermedades y plagas. (Rojas, Bermúdez, & Jiménez, 2006)

La modificación de especies que cumplan estos requisitos ha dado lugar a desarrollar un campo de investigación científica que, apoyado por la tecnología, estudia la repercusión de compuestos químicos en los procesos vitales de las plantas, el cultivo en invernaderos bajo condiciones de luz y temperatura controladas o la creación de cultivares e híbridos manipulados genéticamente para, por ejemplo, que las plantas crezcan más compactas, alargar el periodo de floración, obtener flores más duraderas, grandes y vistosas o colores más vivos. (Rojas, Bermúdez, & Jiménez, 2006)

Orquídea (Orchidaceae)

Las orquídeas u orquidáceas (nombre científico Orchidaceae) son una familia de plantas monocotiledóneas que se distinguen por la complejidad de sus flores y por sus interacciones ecológicas con los agentes polinizadores y con los hongos con los que forman micorrizas. (Martija, 2019)

Se encuentran en la mayor parte del mundo, excepto en las regiones de clima desértico o polar, si bien son especialmente abundantes en la zona intertropical, donde crecen la mayoría de las especies de flores más vistosas. (Martija, 2019)

La orquídea es una planta que gracias a la complejidad y singular belleza de sus flores puede transformar los espacios del hogar al añadir un toque de color y elegancia natural. (Martija, 2019)

En el mundo existen aproximadamente 30,000 especies de orquídeas. En México, hay 1,400 variedades censadas, de las cuales 300 son especies autóctonas y endémicas del país. (Martija, 2019)

Noche Buena (*Euphorbia pulcherrima*).

Su nombre científico es *Euphorbia pulcherrima* y crece en forma silvestre en diferentes regiones del país. Sin embargo, estudios genéticos han identificado a Guerrero y Morelos como áreas ancestrales de esta especie. (Ramírez, 2019)

El cultivo de la nochebuena se ha expandido a otros países y en la actualidad es una de las plantas en maceta más vendida en el mundo. (Ramírez, 2019)

De acuerdo con datos de la Secretaría de Agricultura, en el 2019 la producción en México superará la cifra de 19 millones de plantas de 30 diferentes variedades. (Ramírez, 2019)

La flor de nochebuena es considerada el símbolo floral de la navidad. En México, la flor de nochebuena es una de las plantas más conocidas, duraderas y predilectas de las fiestas decembrinas. (Ramírez, 2019)

Nativa de México, la *euphorbia pulcherrima*, conocida comúnmente como flor de navidad, nochebuena, pastora, pascuero, noche buena, flor de pascua, estrella federal, poinsetia en EE. UU, o estrella federal en Argentina. (Ramírez, 2019)

Transporte y procesamiento de orquídeas

Las circunstancias de transporte y almacenamiento no son circunstancias ideales. Se debe procurar que el almacenamiento y el transporte no duren más de lo estrictamente necesario. El proceso debe transcurrir lo más rápido posible.

Durante el transporte de las plantas, la temperatura es un factor fundamental, ya que, las temperaturas inferiores a 15°C pueden causar daños por frío. Pero las temperaturas elevadas, sobre todo en combinación con poca luz, reducen la durabilidad de las flores.

Es recomendable mantener los períodos sin luz lo más cortos posible y también evitar corrientes de viento. Cerrar en lo posible muelles de carga y puertas.

Es importante no almacenar ni transportar nunca en el mismo espacio que frutas y verduras. Evitar en sus alrededores gases de escape y sobre todo materia vegetal en putrefacción.

Logística

La logística puede definirse como la ciencia que estudia la manera en que las mercancías, personas e información, superan el tiempo y la distancia de forma eficiente. (Robusté, 2005)

La logística empresarial podría incluso concebirse como un proceso estratégico por el que la empresa organiza y mantiene su actividad. La logística determina y gestiona los flujos de materiales y de información, internos y externos, tratando de adecuar la oferta de la empresa a la demanda del mercado en condiciones de optimización. (Robusté, 2005)

La logística incluye todas y cada una de las operaciones necesarias para mantener una actividad productiva, desde su programación de compras hasta su servicio postventa pasando por aprovisionamiento de materias primas, planificación y gestión de la producción, almacenaje, diseño, embalaje, etiquetaje, clasificación y distribución física. (Antún, Lozano, Hernández, & Hernández, 2005)

Enfoque logístico

Los problemas relacionados al transporte de mercancía se pueden encontrar en diversas aplicaciones en la industria. La solución de estos problemas es de suma importancia para el correcto funcionamiento en los sistemas logísticos.

El problema de transporte conocido como VRP (Problema de Ruteo de Vehículos – Vehicle Routing Problem por sus siglas en inglés). Se define como:

“El problema de diseñar rutas de entrega de mercancía a menor costo, donde cada ruta comienza y termina en un depósito central, el cual cuenta con una flota de vehículos y debe atender a un conjunto de clientes distribuidos geográficamente.” (Cardozo, 2013)

Los problemas de ruteo de vehículos (VRP) tienen diversas aplicaciones en la industria debido a que son importantes para el correcto funcionamiento de los sistemas logísticos. (Cardozo, 2013)

Con frecuencia son tratados como problemas de interés económico, porque buscan generar soluciones que minimicen aspectos como: el tamaño de las rutas, el número de vehículos, los tiempos de traslado, entre otros; los cuales impactan financieramente en las compañías. (Cardozo, 2013)

En la denominación de problemas de ruteo de vehículos VRP (Vehicle Routing Problem), se engloban un conjunto de técnicas, variables y personalizaciones que generan resultados distintos, dichos procedimientos pueden ser muy sencillos o complejos, depende del número de restricciones, posibles soluciones y tiempos requeridos de respuesta. (Cardozo, 2013)

Los problemas de ruteo de vehículos han sido de gran interés por ya más de cincuenta años, esto debido a que son considerados complejos y aún hay muchas oportunidades de mejora, además de su gran importancia como modelo de optimización. (Cardozo, 2013)

El CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem), se puede describir de manera sencilla como una flota de vehículos con capacidades homogéneas que tienen que satisfacer la demanda de un grupo de clientes que empiezan y finalizan su ruta en un centro de distribución al menor costo posible, además de identificar el orden de visita de estos. (Cardozo, 2013)

Los métodos para la resolución de problemas de tipo CVRP se clasifican en dos grupos: (Laporte, 2013)

- Grupo 1: Los algoritmos exactos. Buscan la solución más factible, pero tiene el inconveniente de requerir tiempos de ejecución elevados, pues valida y compara el conjunto de soluciones posibles.
- Grupo 2: Los algoritmos aproximados. Dan una solución suficientemente óptima (no la más adecuada) en un tiempo de ejecución razonable.

Los algoritmos con métodos exactos se basan en su formulación, como un problema de propagación mixta, quiere decir que cuenta con variables enteras y otras binarias. Uno de los más populares, es ramificación y acotación. (Chao, 1965)

Una herramienta informática que resuelve problemas de optimización a través de métodos exactos es Xpress-Mosel, pero tiene como desventaja el costo de la licencia, pues es bastante costosa. (Fico, 2018)

Para la resolución de problemas de tipo CVRP se usan heurísticas y metaheurísticas; son un modelo que encuentra una solución óptima entre un conjunto total de soluciones que logran solventar el problema de los elevados tiempos de ejecución. Con estos métodos no se tiene la garantía de obtener la solución óptima, aunque sí una suficientemente buena. (Cardozo, 2013)

Existe un conjunto de software comercial para la resolución de problemas con métodos aproximados. (The Institute for Operations Research and the Management Sciences, 2018)

Los métodos aproximados se clasifican en heurísticas y metaheurísticas (ver Figura 1).

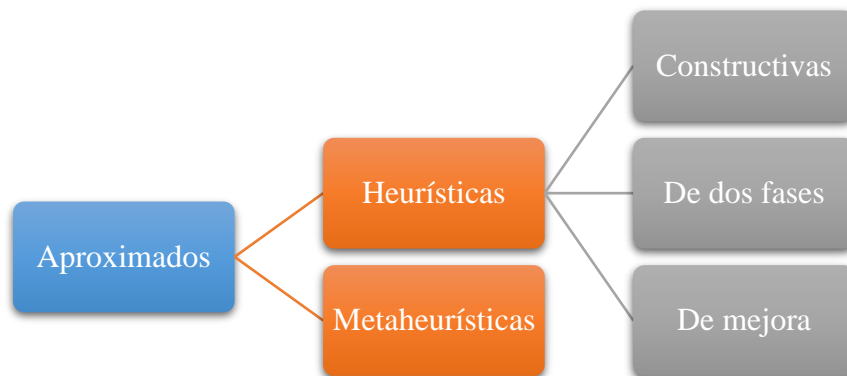


Figura 1. Clasificación de los métodos aproximados

- Los algoritmos heurísticos constructivos. Son técnicas iterativas que gradualmente van creando una solución, donde en cada paso se agrega un

nuevo elemento que se evalúa y se deshecha cuando no es mejor que otro. Un claro ejemplo es el método de Ahorros de Clarke & Wright. (Alinaghian, Kaviani, & Khaledan, 2015)

- Los algoritmos heurísticos de dos fases. Representan dos procesos: uno es la agrupación de vértices en rutas factibles y el segundo proceso es la construcción de la ruta, de tal manera que el problema se resuelve de manera secuencial. Un claro ejemplo es el método de Fisher y Jaikuman. (Ramalhinho & Serra, 2002)
- Los algoritmos heurísticos de mejora. Realizan una serie de intercambios de vértices dentro de una misma ruta o entre distintas rutas para buscar la mejor solución. Esta técnica consiste en búsquedas locales que parten de una solución completa y usando el concepto de vecindario recorren y evalúan parte del espacio para encontrar el óptimo local. Un claro ejemplo es, el método Swap. (Lum & Chen, 2015)
- Los algoritmos metaheurísticos Son la combinación de distintas técnicas heurísticas para realizar la exploración del dominio de búsqueda de una manera más eficiente. Algunos tipos de metaheurísticas son: recocido simulado, genéticos, redes neuronales, búsqueda tabú, colonia de hormigas y GRASP. (Toth & Vigo, 2002)

Heurístico

Un heurístico es un modelo que encuentra una solución óptima entre conjunto total de soluciones factibles, pero no garantiza que la solución seleccionada sea la óptima. (López, 2015)

El uso de un heurístico en cualquier problema complejo se justifica en la búsqueda de espacios de soluciones locales y tratando de buscar soluciones óptimas en tiempos razonables y evitar el estancamiento en el universo de soluciones. (López, 2015)

Es posible expresar que en problemas de espacios de búsqueda muy grandes no sólo es práctico usar este tipo de técnicas, sino que es esencial, pues dicha formulación discrimina rutas de búsqueda no prometedoras, lo cual, si se plantea de manera objetiva, las soluciones siempre serán óptimas. (López, 2015)

Dichos modelos sacrifican la validación del universo de soluciones y la detección de la solución óptima, para generar una en un tiempo razonable. (López, 2015)

En la empresa caso de estudio, actualmente no se cuenta con una gestión adecuada de recursos, ya que la forma en que se asignan las rutas de transporte es de acuerdo con la experiencia de los trabajadores, quienes desconocen los requerimientos de los puntos de entrega, ocasionando entregas fuera de tiempo o entregas incompletas.

Con el fin de cumplir los requerimientos de los puntos de entrega, es necesario proponer un plan de distribución, con la heurística de Clarke y Wright que garantice las entregas de los requerimientos al menor costo.

Heurística de Clarke y Wright

El heurístico de Clarke y Wright es aplicado a la red de distribución de mercancías para disminuir los costos de transporte de la empresa, y proponer una solución factible a los problemas del ruteo de vehículos, además de presentar al personal de la empresa una herramienta de toma de decisión para un mejor aprovechamiento de la flota de vehículos.

El Algoritmo de ahorros de Clark & Wright, es una de las técnicas más populares para resolver VRP a través de heurísticas, consiste en el principio de combinar una solución de dos rutas diferentes para formar una nueva ruta donde se validen los ahorros.

Es la heurística clásica más significativa para el VRP. Es un procedimiento simple que realiza una exploración limitada del espacio de búsqueda, y da una solución de calidad aceptable en tiempo de cálculo moderado.

La ecuación 1 representa la función objetivo, la cual consiste en minimizar el costo que genera el transporte de la mercancía. (Quintanilla, 2015)

$$S_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij} \quad (1)$$

Donde:

- s_{ij} es el valor del ahorro.
- d_{i0} es el costo del arco i al punto 0 o depósito.
- d_{0j} es el costo del arco 0 o depósito al punto j .
- d_{ij} es el costo del arco i al punto j .

La Figura 2 es una representación gráfica de lo que demuestra la ecuación 1; la figura 2a muestra el costo del arco i al punto 0 o depósito (d_{i0}) y el costo del arco 0 o depósito al punto j (d_{0j}), y en la figura 2b se aprecia la ruta optimizada, combinando ambos recorridos en una sola ruta de reparto.

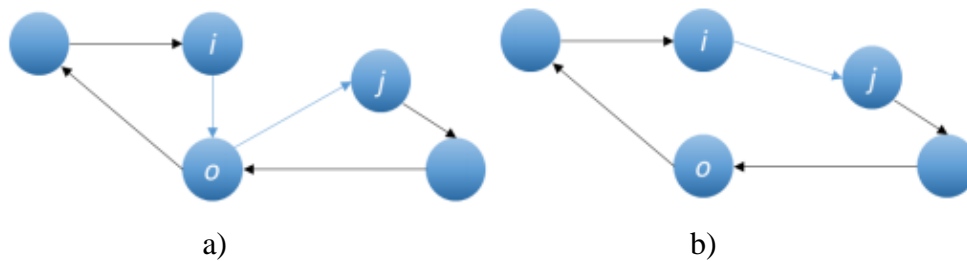


Figura 2. Ruta inicial a) y ruta optimizada b)

Como podemos observar, la heurística antes expuesta logra resolver el problema sin validar al conjunto posible de soluciones.

Muestra la confirmación de ruta de manera exacta. Aplicando la heurística antes mencionada para nuestro problema, la usaremos como la base para la búsqueda de rutas factibles con la finalidad de tener un mejor costo operacional.

Para su desarrollo, es necesario realizar los siguientes pasos:

- Paso 1.
 - Crear la matriz de ahorros.
 - Crear n rutas de la forma $(0, i, 0)$.
 - Crear matriz de ahorros S.
- Paso 2
 - Escoger mayor valor de la matriz S.
 - Unir ruta.
 - Eliminar arcos.
- Paso 3
 - Si $S \neq 0$, ir al paso 2.

Recursos físicos de una empresa

Los recursos físicos de las empresas son todos los bienes tangibles, en poder de la empresa, que son susceptibles de ser utilizados para el logro de los objetivos de la misma. (Rojas C. , 2001)

El conocimiento correcto de los recursos físicos y socioeconómicos hace posible decidir sobre su mejor manejo y aprovechamiento, y de esta manera se pueden conducir las actividades económicas hacia los tipos de explotación más adecuados. (Rojas C. , 2001)

Ejemplos de recursos físicos son: (Rojas C. , 2001)

- Bienes inmuebles: oficinas, galpones, terrenos, campos, etc.
- Maquinaria
- Automóviles y camiones
- Insumos para la producción: materiales, químicos,
- Material de oficina: computadoras, escritorios, muebles, impresoras, teléfonos,
- Productos terminados: disponibles para la venta o almacenados

Google Directions API

Google Directions API es un servicio que calcula las direcciones entre localidades, es posible obtener las trayectorias por un conjunto de modos de transporte, tales como tránsito, conducción, caminar y bicicleta. (Google Maps Platform, 2018)

El principal objetivo de este recurso es obtener el tiempo y distancia de arribo entre un punto y otro, también permite acceder a todas las posiciones de: la trayectoria, direcciones, elevaciones, entre otros atributos.

Ya que uno de los principales objetivos en la resolución de problemas de ruteo con vehículos capacitados, es la minimización de costos: la distancia entre un punto y otro genera un costo de operación, ya sea en el contexto de tiempo o en el monetario, por lo tanto, uno de los parámetros de entrada y configurable por el usuario final más importante para el modelo de solución, es la matriz de distancias de arribo, ya que con estas medidas es posible calcular los tiempos de recorrido y el consumo de combustible en un plan de distribución.

Google API también cuenta con una función para calcular la matriz de distancia directamente, sin embargo, se ha descartado la posibilidad de usar esta herramienta debido a las limitantes que genera en el propósito de cimentar la infraestructura informática para la adecuación de nuevos modelos de solución.

A continuación, se describe dichas restrictivas. (Google Maps Platform, 2018)

- La matriz de distancias permite sólo establecer 25 orígenes y 25 destinos, lo cual afecta la funcionalidad de la plataforma propuesta en este estudio. Lo cierto es que un problema real por lo regular implica más de 25 destinos en una empresa mediana de transporte de carga.
- La matriz de distancias calcula la distancia entre origen-destino, pero no entre destino-destino, lo cual limitaría a modelos de resolución de problemas de ruteo donde un vehículo tiene la capacidad de atender a más de un cliente en un solo viaje.
- La matriz de distancias no retorna los detalles de la ruta, por ejemplo, las direcciones textuales o los detalles de tránsito, lo cual es importante para problemas de ruteo que considere rutas prohibidas y peligrosas.

- La matriz de distancias no permite la modificación de la ruta propuesta (puntos de planeación), lo cual es importante para el transportista que de manera empírica conoce las rutas más peligrosas y decide sacrificar la más corta para optar por una con más seguridad.

CAPITULO III “METODOLOGÍA”

La metodología de solución para el problema de distribución de mercancía (Orquídeas Cuerna), se describe a continuación:

- Identificación de los puntos entrega.

Se seleccionan los 15 clientes con mayor demanda, ya que estos representan más del 80% de las ventas y una mejora en el diseño de rutas para estos, beneficiaría de gran manera la operatividad de la empresa.

- Recolección de datos.

Con ayuda de la aplicación de Google Maps, se obtienen las distancias de todos los puntos entre sí.

No se considera el consumo medio de combustible señalado en las especificaciones del vehículo. El consumo de combustible se obtuvo con la recolección diaria de datos en función de la distancia recorrida; ya que, al ser un vehículo con 14 años de antigüedad y considerando los diferentes tipos de carreteras con las que cuentan los traslados, existe gran variación en el consumo. Se llegó a la conclusión de considerar un consumo promedio de 15 litros de gasolina cada 100 kilómetros.

- Aplicación de heurística.

Ya con todos los datos recolectados, se utiliza la heurística de Clarke y Wright, que es aplicado a la red de distribución de mercancías para disminuir los costos de transporte de la empresa.

Con la información recolectada, se propone una solución factible a los problemas del ruteo de vehículos, además de presentar al personal de la empresa una herramienta de toma de decisión para un mejor aprovechamiento de la flota de vehículos.

Es la heurística clásica más significativa para el VRP; que se define como: “El problema de diseñar rutas de entrega de mercancía a menor costo, donde cada ruta comienza y termina en un depósito central, el cual cuenta con una flota de vehículos y debe atender a un conjunto de clientes distribuidos geográficamente.”

Actualmente la asignación de rutas para la entrega de mercancía es de acuerdo con la experiencia del personal que realiza la actividad, lo cual muestra que no se siguen métodos cuantitativos que permitan la asignación adecuada de los recursos y que consideren:

- La capacidad de los vehículos
- Distancias
- Tiempos de traslado

Los problemas relacionados al transporte de mercancía se pueden encontrar en diversas aplicaciones en la industria. La solución de estos problemas es de suma importancia para el correcto funcionamiento en los sistemas logísticos.

Se realizaron 2 escenarios, uno con la demanda actual y uno con la demanda proyectada a largo plazo.

ESCENARIO DE TRABAJO INICIAL

En este apartado, se presentan los recursos físicos iniciales en el proceso de optimización logística.

En la Tabla 1 se dan las especificaciones del transporte con el que cuenta la empresa, en la Tabla 2 y Tabla 3 se muestra el equipo y software utilizados en las pruebas experimentales.

Tabla 1. Transporte

Transporte	
Tipo	Camioneta
Nombre	Nissan X-Trail 2007
Versión	X-Trail 2.5 169 CV LE
Carrocería	Todoterreno
Combustible	Gasolina
Consumo	15 lt / 100 km

Tabla 2. Equipo

Equipo		
Tipo	Computadora	Celular
Nombre	Lenovo IdeaPad 100	Samsung Galaxy A30
Sistema operativo	Windows 8.1 Pro	Android 11
Almacenamiento	500 GB	32 GB

Tabla 3. Software

Software		
Tipo	Hoja de cálculo	Sitio web, mapa digital, aplicación web
Nombre	Excel	Google Maps
Versión utilizada	2013	Actual

Parámetros:

Conocer los parámetros con los que cuenta cualquier empresa, contribuye a una mejor implementación de la heurística, ya que considera todos los factores necesarios para una optimización en sus procesos.

En la Tabla 4 se adjuntan los parámetros considerados para este trabajo de investigación.

Tabla 4. Parámetros considerados

Parámetros considerados	
Tamaño de flota	1 vehículo
Capacidad	65 unidades (plantas)
Rendimiento	15 lt /100 km
Depósitos	1 (vivero)
Puntos de entrega	15

En la Figura 3 se muestra la ubicación de los 15 puntos de distribución, abarcando 4 municipios:

- Cuernavaca
- Temixco
- Jiutepec
- Emiliano Zapata

Se consideran sólo 15 puntos, ya que con el paso de los meses estos han representado más del 80% de las ventas, lo que los convierte en los más importantes y donde debe existir mayor atención.

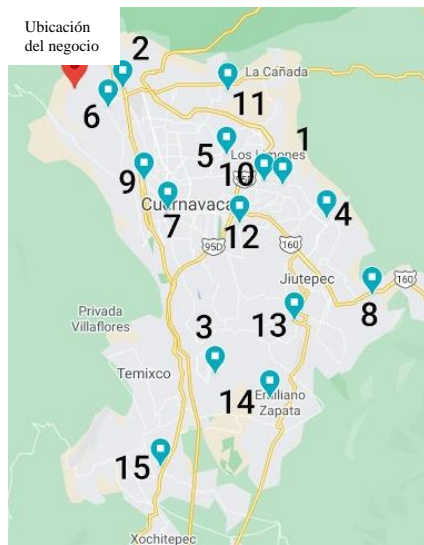


Figura 3. Ubicación de puntos de distribución

En la Figura 4 se observan los puntos de entrega antes mencionados, con la demanda que requiere cada uno de ellos. El punto de entrega número 9 es el de mayor demanda, representando el 16% de la demanda total; siendo este uno de los primeros clientes de la empresa.

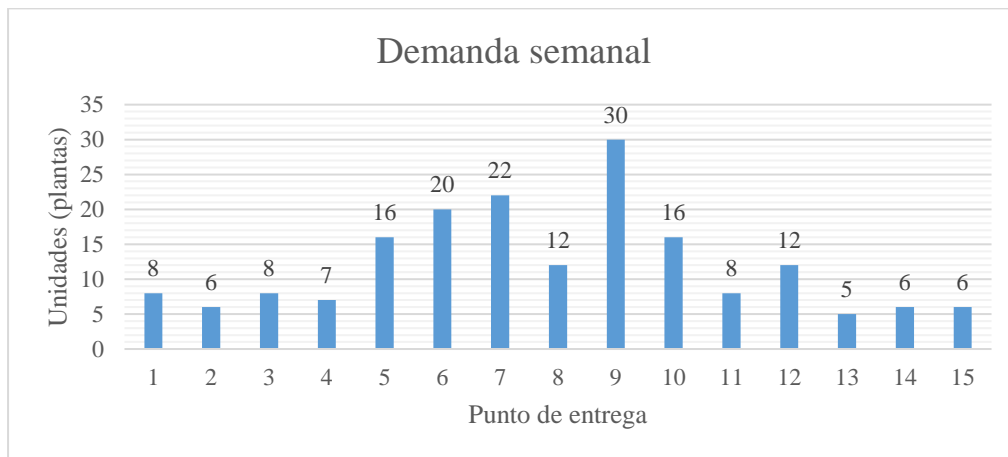


Figura 4. Demanda semanal

En la Figura 5 se expresa la distancia que existe desde el negocio hasta cada punto de distribución en función de kilómetros. La distancia promedio es de 15.02 kilómetros, siendo el punto número 6 el de mayor cercanía.

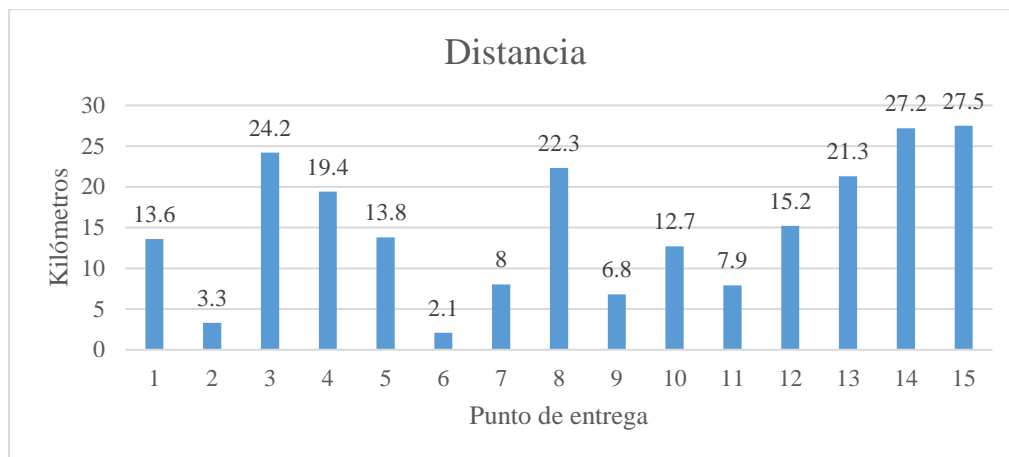


Figura 5. Distancia de los puntos de distribución

La matriz de distancias se utiliza para poder identificar de manera general, no sólo la distancia que existe entre todos los puntos al negocio, si no también, la distancia que existe entre los puntos de entrega entre sí.

En todos los gráficos, el negocio está representado por el punto 0, ya que este es el punto de partida para todas las rutas.

En la Tabla 5 se presentan todas las distancias de los puntos entrega, los cuadros negros representan distancia nula, ya que no existe distancia entre el mismo punto. Estas distancias se obtuvieron gracias a la aplicación de Google Maps, ya que es la distancia real que se recorre en carretera y ninguna es en línea recta.

No se considera la inclinación de las calles ni la afluencia vehicular que tiene cada una de ellas. Todas las distancias en la tabla están representadas en kilómetros.

Tabla 5. Matriz de distancias

Matriz de distancias																
#	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0		13.6	3.3	24.2	19.4	13.8	2.1	8	22.3	6.8	12.7	7.9	15.2	21.3	27.2	27.5
1	13.6		11.2	13.2	2.9	3.6	12.2	6.9	8.4	7.8	0.9	5.4	3	7.6	16.1	16.5
2	3.3	11.2		21.3	16.7	11.1	1.6	6.1	19.5	5	9.9	5.1	12.5	18.5	24.5	24.8
3	24.2	13.2	21.3		14.8	13.8	22.4	9.3	17.7	10.1	12.5	17.6	10.3	5.7	3	7
4	19.4	2.9	16.7	14.8		9.1	17.6	9.2	6.4	10.1	3.8	12.8	5.4	5.7	11.3	18.8
5	13.8	3.6	11.1	13.8	9.1		7.7	5.3	12.3	5.5	3.1	4.3	5.3	11.3	17.2	17.6
6	2.1	12.2	1.6	22.4	17.6	7.7		5.7	20.5	4.6	10.9	6.1	13.4	19.5	25.4	25.7
7	8	6.9	6.1	9.3	9.2	5.3	5.7		11.7	2.7	9.9	8.7	4.6	8.5	13.1	13.4
8	22.3	8.4	19.5	17.7	6.4	12.3	20.5	11.7		13.1	9	15.7	8.3	5.5	9.6	21.8
9	6.8	7.8	5	10.1	10.1	5.5	4.6	2.7	13.1		7.2	8.6	6.4	12.4	14	14.3
10	12.7	0.9	9.9	12.5	3.8	3.1	10.9	9.9	9	7.2		6.4	3.2	7.5	16	16.3
11	7.9	5.4	5.1	17.6	12.8	4.3	6.1	8.7	15.7	8.6	6.4		9.7	15.8	21.7	22
12	15.2	3	12.5	10.3	5.4	5.3	13.4	4.6	8.3	6.4	3.2	9.7		7.2	14.5	14.8
13	21.3	7.6	18.5	5.7	5.7	11.3	19.5	8.5	5.5	12.4	7.5	15.8	7.2		6.2	13
14	27.2	16.1	24.5	3	11.3	17.2	25.4	13.1	9.6	14	16	21.7	14.5	6.2		7.2
15	27.5	16.5	24.8	7	18.8	17.6	25.7	13.4	21.8	14.3	16.3	22	14.8	13	7.2	

En la Figura 6 se muestra el costo que genera el traslado de la mercancía y el regreso al negocio en función de la distancia recorrida. Entre mayor distancia, mayor será el costo de transporte, siendo el punto número 15 el más costoso.

La acción de ida y vuelta elevaría rotundamente el costo de transporte y es por eso por lo que se optimiza el proceso con menor número de rutas.

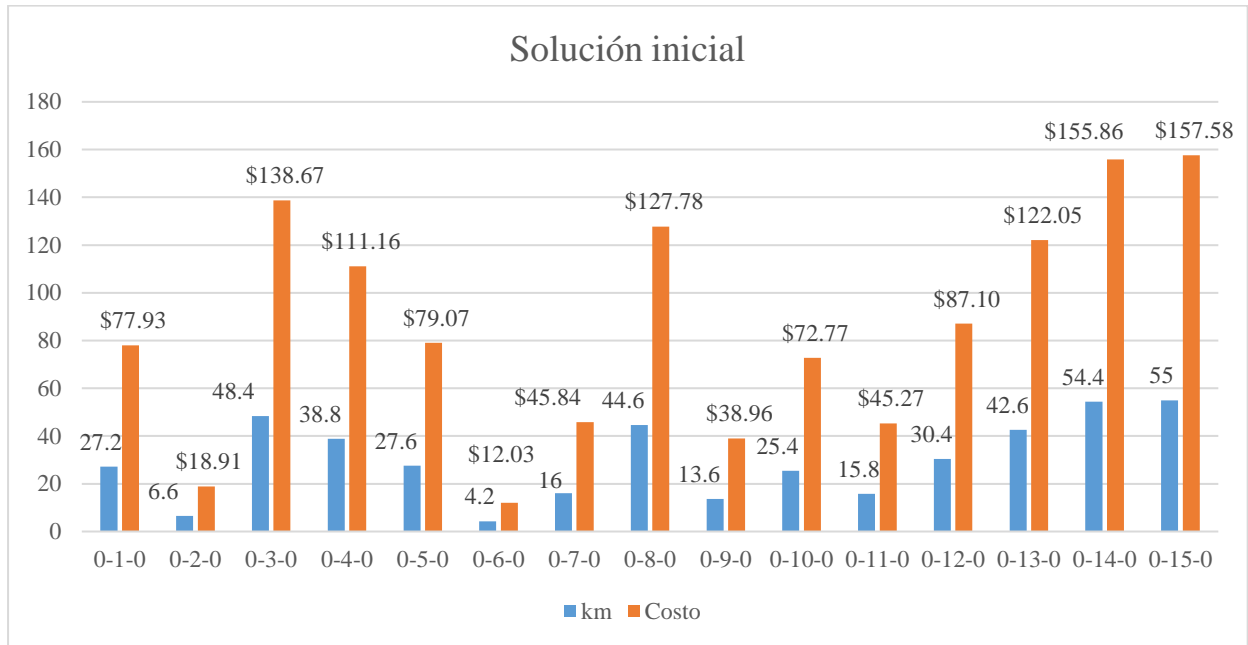


Figura 6. Solución inicial

En la Tabla 6 se identifican los valores totales obtenidos en la solución inicial (Figura 6), dando un recorrido total de 450 kilómetros.

Tabla 6. Valores totales

Valores totales	
Recorrido	450.6 km
Costo	\$1,290.97
Consumo (gasolina)	67.6 lt
Rutas	15

La Tabla 7 muestra el costo que genera el traslado al punto de entrega, además del costo que existe en el traslado de los puntos entre sí. Igualmente, los cuadros negros son nulos, ya que no existe costo entre sí mismos.

No se consideró el peso que genera la carga de mercancía, posiblemente en los puntos de mayor demanda el traslado generara un poco más de combustible a causa del peso, y por consecuencia, mayor costo con el incremento del consumo de combustible.

Tabla 7. Matriz de costos

Matriz de costos																
#	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0		\$ 38.96	\$ 9.45	\$ 69.33	\$ 55.58	\$ 39.54	\$ 6.02	\$ 22.92	\$ 63.89	\$ 19.48	\$ 36.39	\$ 22.63	\$ 43.55	\$ 61.02	\$ 77.93	\$ 78.79
1	\$ 38.96		\$ 32.09	\$ 37.82	\$ 8.31	\$ 10.31	\$ 34.95	\$ 19.77	\$ 24.07	\$ 22.35	\$ 2.58	\$ 15.47	\$ 8.60	\$ 21.77	\$ 46.13	\$ 47.27
2	\$ 9.45	\$ 32.09		\$ 61.02	\$ 47.85	\$ 31.80	\$ 4.58	\$ 17.48	\$ 55.87	\$ 14.33	\$ 28.36	\$ 14.61	\$ 35.81	\$ 53.00	\$ 70.19	\$ 71.05
3	\$ 69.33	\$ 37.82	\$ 61.02		\$ 42.40	\$ 39.54	\$ 64.18	\$ 26.64	\$ 50.71	\$ 28.94	\$ 35.81	\$ 50.42	\$ 29.51	\$ 16.33	\$ 8.60	\$ 20.06
4	\$ 55.58	\$ 8.31	\$ 47.85	\$ 42.40		\$ 26.07	\$ 50.42	\$ 26.36	\$ 18.34	\$ 28.94	\$ 10.89	\$ 36.67	\$ 15.47	\$ 16.33	\$ 32.37	\$ 53.86
5	\$ 39.54	\$ 10.31	\$ 31.80	\$ 39.54	\$ 26.07		\$ 22.06	\$ 15.18	\$ 35.24	\$ 15.76	\$ 8.88	\$ 12.32	\$ 15.18	\$ 32.37	\$ 49.28	\$ 50.42
6	\$ 6.02	\$ 34.95	\$ 4.58	\$ 64.18	\$ 50.42	\$ 22.06		\$ 16.33	\$ 58.73	\$ 13.18	\$ 31.23	\$ 17.48	\$ 38.39	\$ 55.87	\$ 72.77	\$ 73.63
7	\$ 22.92	\$ 19.77	\$ 17.48	\$ 26.64	\$ 26.36	\$ 15.18	\$ 16.33		\$ 33.52	\$ 7.74	\$ 28.36	\$ 24.93	\$ 13.18	\$ 24.35	\$ 37.53	\$ 38.39
8	\$ 63.89	\$ 24.07	\$ 55.87	\$ 50.71	\$ 18.34	\$ 35.24	\$ 58.73	\$ 33.52		\$ 37.53	\$ 25.79	\$ 44.98	\$ 23.78	\$ 15.76	\$ 27.50	\$ 62.46
9	\$ 19.48	\$ 22.35	\$ 14.33	\$ 28.94	\$ 28.94	\$ 15.76	\$ 13.18	\$ 7.74	\$ 37.53		\$ 20.63	\$ 24.64	\$ 18.34	\$ 35.53	\$ 40.11	\$ 40.97
10	\$ 36.39	\$ 2.58	\$ 28.36	\$ 35.81	\$ 10.89	\$ 8.88	\$ 31.23	\$ 28.36	\$ 25.79	\$ 20.63		\$ 18.34	\$ 9.17	\$ 21.49	\$ 45.84	\$ 46.70
11	\$ 22.63	\$ 15.47	\$ 14.61	\$ 50.42	\$ 36.67	\$ 12.32	\$ 17.48	\$ 24.93	\$ 44.98	\$ 24.64	\$ 18.34		\$ 27.79	\$ 45.27	\$ 62.17	\$ 63.03
12	\$ 43.55	\$ 8.60	\$ 35.81	\$ 29.51	\$ 15.47	\$ 15.18	\$ 38.39	\$ 13.18	\$ 23.78	\$ 18.34	\$ 9.17	\$ 27.79		\$ 20.63	\$ 41.54	\$ 42.40
13	\$ 61.02	\$ 21.77	\$ 53.00	\$ 16.33	\$ 16.33	\$ 32.37	\$ 55.87	\$ 24.35	\$ 15.76	\$ 35.53	\$ 21.49	\$ 45.27	\$ 20.63		\$ 17.76	\$ 37.25
14	\$ 77.93	\$ 46.13	\$ 70.19	\$ 8.60	\$ 32.37	\$ 49.28	\$ 72.77	\$ 37.53	\$ 27.50	\$ 40.11	\$ 45.84	\$ 62.17	\$ 41.54	\$ 17.76		\$ 20.63
15	\$ 78.79	\$ 47.27	\$ 71.05	\$ 20.06	\$ 53.86	\$ 50.42	\$ 73.63	\$ 38.39	\$ 62.46	\$ 40.97	\$ 46.70	\$ 63.03	\$ 42.40	\$ 37.25	\$ 20.63	

La Tabla 8 es la matriz de ahorro, la que revela por completo el ahorro total que genera la combinación de puntos de entrega en una misma ruta. En la parte inferior de la tabla, se enumeran de mayor a menor los costos en función del punto al que pertenece.

Tabla 8. Matriz de ahorro

Matriz de ahorro															
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		\$ 16.33	\$ 70.48	\$ 86.24	\$ 68.19	\$ 10.03	\$ 42.12	\$ 78.79	\$ 36.10	\$ 72.77	\$ 46.13	\$ 73.92	\$ 78.21	\$ 70.77	\$ 70.48
2	\$ 16.33		\$ 17.76	\$ 17.19	\$ 17.19	\$ 10.89	\$ 14.90	\$ 17.48	\$ 14.61	\$ 17.48	\$ 17.48	\$ 17.19	\$ 17.48	\$ 17.19	\$ 17.19
3	\$ 70.48	\$ 17.76		\$ 82.51	\$ 69.33	\$ 11.17	\$ 65.61	\$ 82.51	\$ 59.88	\$ 69.91	\$ 41.54	\$ 83.37	\$ 114.03	\$ 138.67	\$ 128.07
4	\$ 86.24	\$ 17.19	\$ 82.51		\$ 69.05	\$ 11.17	\$ 52.14	\$ 101.13	\$ 46.13	\$ 81.08	\$ 41.54	\$ 83.66	\$ 100.28	\$ 101.13	\$ 80.51
5	\$ 68.19	\$ 17.19	\$ 69.33	\$ 69.05		\$ 23.49	\$ 47.27	\$ 68.19	\$ 43.26	\$ 67.04	\$ 49.85	\$ 67.90	\$ 68.19	\$ 68.19	\$ 67.90
6	\$ 10.03	\$ 10.89	\$ 11.17	\$ 11.17	\$ 23.49		\$ 12.61	\$ 11.17	\$ 12.32	\$ 11.17	\$ 11.17	\$ 11.17	\$ 11.17	\$ 11.17	\$ 11.17
7	\$ 42.12	\$ 14.90	\$ 65.61	\$ 52.14	\$ 47.27	\$ 12.61		\$ 53.29	\$ 34.67	\$ 30.94	\$ 20.63	\$ 53.29	\$ 59.59	\$ 63.32	\$ 63.32
8	\$ 78.79	\$ 17.48	\$ 82.51	\$ 101.13	\$ 68.19	\$ 11.17	\$ 53.29		\$ 45.84	\$ 74.49	\$ 41.54	\$ 83.66	\$ 109.16	\$ 114.31	\$ 80.22
9	\$ 36.10	\$ 14.61	\$ 59.88	\$ 46.13	\$ 43.26	\$ 12.32	\$ 34.67	\$ 45.84		\$ 35.24	\$ 17.48	\$ 44.69	\$ 44.98	\$ 57.30	\$ 57.30
10	\$ 72.77	\$ 17.48	\$ 69.91	\$ 81.08	\$ 67.04	\$ 11.17	\$ 30.94	\$ 74.49	\$ 35.24		\$ 40.68	\$ 70.77	\$ 75.92	\$ 68.47	\$ 68.47
11	\$ 46.13	\$ 17.48	\$ 41.54	\$ 41.54	\$ 49.85	\$ 11.17	\$ 20.63	\$ 41.54	\$ 17.48	\$ 40.68		\$ 38.39	\$ 38.39	\$ 38.39	\$ 38.39
12	\$ 73.92	\$ 17.19	\$ 83.37	\$ 83.66	\$ 67.90	\$ 11.17	\$ 53.29	\$ 83.66	\$ 44.69	\$ 70.77	\$ 38.39		\$ 83.94	\$ 79.93	\$ 79.93
13	\$ 78.21	\$ 17.48	\$ 114.03	\$ 100.28	\$ 68.19	\$ 11.17	\$ 59.59	\$ 109.16	\$ 44.98	\$ 75.92	\$ 38.39	\$ 83.94		\$ 121.19	\$ 102.57
14	\$ 70.77	\$ 17.19	\$ 138.67	\$ 101.13	\$ 68.19	\$ 11.17	\$ 63.32	\$ 114.31	\$ 57.30	\$ 68.47	\$ 38.39	\$ 79.93	\$ 121.19		\$ 136.09
15	\$ 70.48	\$ 17.19	\$ 128.07	\$ 80.51	\$ 67.90	\$ 11.17	\$ 63.32	\$ 80.22	\$ 57.30	\$ 68.47	\$ 38.39	\$ 79.93	\$ 102.57	\$ 136.09	
	Tabla 9	Tabla 10	Tabla 11	Tabla 12	Tabla 13	Tabla 14	Tabla 15	Tabla 16	Tabla 17	Tabla 18	Tabla 19	Tabla 20	Tabla 21	Tabla 22	
1	\$ 86.24	\$ 17.76	\$ 138.67	\$ 101.13	\$ 69.33	\$ 23.49	\$ 65.61	\$ 114.31	\$ 59.88	\$ 81.08	\$ 49.85	\$ 83.94	\$ 121.19	\$ 138.67	\$ 136.09
2	\$ 78.79	\$ 17.48	\$ 128.07	\$ 101.13	\$ 69.05	\$ 12.61	\$ 63.32	\$ 109.16	\$ 57.30	\$ 75.92	\$ 46.13	\$ 83.66	\$ 114.03	\$ 136.09	\$ 128.07
3	\$ 78.21	\$ 17.48	\$ 114.03	\$ 100.28	\$ 68.19	\$ 12.32	\$ 63.32	\$ 101.13	\$ 57.30	\$ 74.49	\$ 41.54	\$ 83.66	\$ 109.16	\$ 121.19	\$ 102.57
4	\$ 73.92	\$ 17.48	\$ 83.37	\$ 86.24	\$ 68.19	\$ 11.17	\$ 59.59	\$ 83.66	\$ 46.13	\$ 72.77	\$ 41.54	\$ 83.37	\$ 102.57	\$ 114.31	\$ 80.51
5	\$ 72.77	\$ 17.48	\$ 82.51	\$ 83.66	\$ 68.19	\$ 11.17	\$ 53.29	\$ 82.51	\$ 45.84	\$ 70.77	\$ 41.54	\$ 79.93	\$ 100.28	\$ 101.13	\$ 80.22
6	\$ 70.77	\$ 17.19	\$ 82.51	\$ 82.51	\$ 68.19	\$ 11.17	\$ 53.29	\$ 80.22	\$ 44.98	\$ 69.91	\$ 40.68	\$ 79.93	\$ 83.94	\$ 79.93	\$ 79.93
7	\$ 70.48	\$ 17.19	\$ 70.48	\$ 81.08	\$ 67.90	\$ 11.17	\$ 52.14	\$ 78.79	\$ 44.69	\$ 68.47	\$ 38.39	\$ 73.92	\$ 78.21	\$ 70.77	\$ 70.48
8	\$ 70.48	\$ 17.19	\$ 69.91	\$ 80.51	\$ 67.90	\$ 11.17	\$ 47.27	\$ 74.49	\$ 43.26	\$ 68.47	\$ 38.39	\$ 70.77	\$ 75.92	\$ 68.47	\$ 68.47
9	\$ 68.19	\$ 17.19	\$ 69.33	\$ 69.05	\$ 67.04	\$ 11.17	\$ 42.12	\$ 68.19	\$ 36.10	\$ 67.04	\$ 38.39	\$ 67.90	\$ 68.19	\$ 68.19	\$ 67.90
10	\$ 46.13	\$ 17.19	\$ 65.61	\$ 52.14	\$ 49.85	\$ 11.17	\$ 34.67	\$ 53.29	\$ 35.24	\$ 40.68	\$ 38.39	\$ 53.29	\$ 59.59	\$ 63.32	\$ 63.32
11	\$ 42.12	\$ 16.33	\$ 59.88	\$ 46.13	\$ 47.27	\$ 11.17	\$ 30.94	\$ 45.84	\$ 34.67	\$ 35.24	\$ 20.63	\$ 44.69	\$ 44.98	\$ 57.30	\$ 57.30
12	\$ 36.10	\$ 14.90	\$ 41.54	\$ 41.54	\$ 43.26	\$ 11.17	\$ 20.63	\$ 41.54	\$ 17.48	\$ 30.94	\$ 17.48	\$ 38.39	\$ 38.39	\$ 38.39	\$ 38.39
13	\$ 16.33	\$ 14.61	\$ 17.76	\$ 17.19	\$ 23.49	\$ 10.89	\$ 14.90	\$ 17.48	\$ 14.61	\$ 17.48	\$ 17.48	\$ 17.19	\$ 17.48	\$ 17.19	\$ 17.19
14	\$ 10.03	\$ 10.89	\$ 11.17	\$ 11.17	\$ 17.19	\$ 10.03	\$ 12.61	\$ 11.17	\$ 12.32	\$ 11.17	\$ 11.17	\$ 11.17	\$ 11.17	\$ 11.17	\$ 11.17

Para un mejor entendimiento de la Tabla 8, a continuación, se explica con una vista satelital la optimización de las rutas de reparto de los puntos de distribución 13 y 3. El punto 0 representa la ubicación de la empresa.

Primero se identifican los puntos de distribución en el mapa (Figura 3); a simple vista se aprecia que podría ser la combinación con mayor ahorro debido a la gran distancia que existe entre ellos.

La Figura 7 y Figura 8 son las rutas iniciales de la empresa

- Ruta considerada
- Sugerencia de ruta (Google Maps)



Figura 7. Ruta 0-13-0

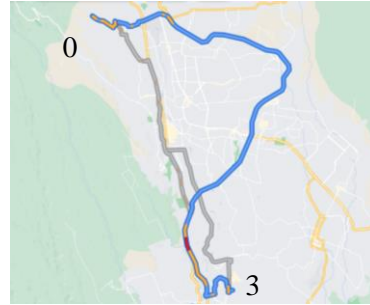


Figura 8. Ruta 0-3-0

Con la aplicación de la heurística, se combinan ambos puntos de distribución para obtener una ruta optimizada, como se muestra en la Figura 9; el recorrido de la nueva ruta parte del punto 0 hacia el punto 13, seguido del punto 3 y regresa al punto inicial.



Figura 9. Ruta 0-13-3-0

APLICACIÓN DE LA HEURÍSTICA

Este apartado permite visualizar los registros de datos de manera detallada para facilitar la búsqueda o filtrado de datos específicos. También contribuye a detallar el

ahorro monetario que genera la combinación de puntos de entrega en una misma ruta de reparto.

En la Tabla 9 se encuentran las combinaciones con el punto de entrega 1.

- Ruta combinada con el punto de entrega 1 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-1-4-0 (Tabla 9C) con \$86.26 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 1 con menor ahorro:
 - Ruta 0-1-3-0 (Tabla 9E) con \$10.03 de ahorro.

Tabla 9. Punto de entrega 1

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93	+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93	+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93
	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91		Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67		Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16
-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96	-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96	-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96
	Costo del punto 2	1-2	\$ 32.09		Costo del punto 3	1-3	\$ 37.82		Costo del punto 4	1-4	\$ 8.31
	Costo del punto 0	2-0	\$ 9.45		Costo del punto 0	3-0	\$ 69.33		Costo del punto 0	4-0	\$ 55.58
			\$ 16.33				\$ 70.48				\$ 86.24
D				E				F			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93	+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93	+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93
	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07		Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03		Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84
-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96	-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96	-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96
	Costo del punto 5	1-5	\$ 10.31		Costo del punto 6	1-6	\$ 34.95		Costo del punto 7	1-7	\$ 19.77
	Costo del punto 0	5-0	\$ 39.54		Costo del punto 0	6-0	\$ 6.02		Costo del punto 0	7-0	\$ 22.92
			\$ 68.19				\$ 10.03				\$ 42.12
G				H				I			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93	+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93	+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93
	Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78		Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96		Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77
-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96	-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96	-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96
	Costo del punto 8	1-8	\$ 24.07		Costo del punto 9	1-9	\$ 22.35		Costo del punto 10	1-10	\$ 2.58
	Costo del punto 0	8-0	\$ 63.89		Costo del punto 0	9-0	\$ 19.48		Costo del punto 0	10-0	\$ 36.39
			\$ 78.79				\$ 36.10				\$ 72.77
J				K				L			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93	+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93	+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93
	Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27		Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10		Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05
-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96	-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96	-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96
	Costo del punto 11	1-11	\$ 15.47		Costo del punto 12	1-12	\$ 8.60		Costo del punto 13	1-13	\$ 21.77
	Costo del punto 0	11-0	\$ 22.63		Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55		Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02
			\$ 46.13				\$ 73.92				\$ 78.21
M				N							
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo				
+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93	+	Costo del punto 1	0-1-0	\$ 77.93				
	Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86		Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58				
-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96	-	Costo del punto 1	0-1	\$ 38.96				
	Costo del punto 14	1-14	\$ 46.13		Costo del punto 15	1-15	\$ 47.27				
	Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93		Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79				
			\$ 70.77				\$ 70.48				

En la Tabla 10 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 2.

- Ruta combinada con el punto de entrega 2 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-2-4-0 (Tabla 10A) con \$17.76 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 2 con menor ahorro:
 - Ruta 0-2-6-0 (Tabla 10D) con \$10.89 de ahorro.

Tabla 10. Punto de entrega 2

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91	+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91	+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91
	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67		Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16		Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07
-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45	-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45	-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45
	Costo del punto 3	2-3	\$ 61.02		Costo del punto 4	2-4	\$ 47.85		Costo del punto 5	2-5	\$ 31.80
	Costo del punto 0	3-0	\$ 69.33		Costo del punto 0	4-0	\$ 55.58		Costo del punto 0	5-0	\$ 39.54
			\$ 17.76				\$ 17.19				\$ 17.19
D				E				F			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91	+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91	+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91
	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03		Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84		Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78
-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45	-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45	-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45
	Costo del punto 6	2-6	\$ 4.58		Costo del punto 7	2-7	\$ 17.48		Costo del punto 8	2-8	\$ 55.87
	Costo del punto 0	6-0	\$ 6.02		Costo del punto 0	7-0	\$ 22.92		Costo del punto 0	8-0	\$ 63.89
			\$ 10.89				\$ 14.90				\$ 17.48
G				H				I			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91	+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91	+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91
	Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96		Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77		Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27
-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45	-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45	-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45
	Costo del punto 9	2-9	\$ 14.33		Costo del punto 10	2-10	\$ 28.36		Costo del punto 11	2-11	\$ 14.61
	Costo del punto 0	9-0	\$ 19.48		Costo del punto 0	10-0	\$ 36.39		Costo del punto 0	11-0	\$ 22.63
			\$ 14.61				\$ 17.48				\$ 17.48
J				K				L			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91	+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91	+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91
	Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10		Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05		Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86
-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45	-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45	-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45
	Costo del punto 12	2-12	\$ 35.81		Costo del punto 13	2-13	\$ 53.00		Costo del punto 14	2-14	\$ 70.19
	Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55		Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02		Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93
			\$ 17.19				\$ 17.48				\$ 17.19
M											
Operación	Descripción	Ruta	Costo								
+	Costo del punto 2	0-2-0	\$ 18.91								
	Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58								
-	Costo del punto 2	0-2	\$ 9.45								
	Costo del punto 15	2-15	\$ 71.05								
	Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79								
			\$ 17.19								

En la Tabla 11 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 3.

- Ruta combinada con el punto de entrega 3 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-3-14-0 (Tabla 11K) con \$138.67 de ahorro. También es la más rentable de toda la heurística, esto debido a la cercanía que existe entre el punto 3 y el punto 14.
- Ruta combinada con el punto de entrega 3 con menor ahorro:
 - Ruta 0-3-6-0 (Tabla 11C) con \$11.17 de ahorro.

Tabla 11. Punto de entrega 3

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67	+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67	+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67
	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16		Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07		Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03
-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33	-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33	-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33
	Costo del punto 4	3-4	\$ 42.40		Costo del punto 5	3-5	\$ 39.54		Costo del punto 6	3-6	\$ 64.18
	Costo del punto 0	4-0	\$ 55.58		Costo del punto 0	5-0	\$ 39.54		Costo del punto 0	6-0	\$ 6.02
			\$ 82.51				\$ 69.33				\$ 11.17
D				E				F			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67	+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67	+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67
	Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84		Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78		Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96
-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33	-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33	-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33
	Costo del punto 7	3-7	\$ 26.64		Costo del punto 8	3-8	\$ 50.71		Costo del punto 9	3-9	\$ 28.94
	Costo del punto 0	7-0	\$ 22.92		Costo del punto 0	8-0	\$ 63.89		Costo del punto 0	9-0	\$ 19.48
			\$ 65.61				\$ 82.51				\$ 59.88
G				H				I			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67	+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67	+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67
	Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77		Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27		Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10
-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33	-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33	-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33
	Costo del punto 10	3-10	\$ 35.81		Costo del punto 11	3-11	\$ 50.42		Costo del punto 12	3-12	\$ 29.51
	Costo del punto 0	10-0	\$ 36.39		Costo del punto 0	11-0	\$ 22.63		Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55
			\$ 69.91				\$ 41.54				\$ 83.37
J				K				L			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67	+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67	+	Costo del punto 3	0-3-0	\$ 138.67
	Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05		Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86		Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58
-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33	-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33	-	Costo del punto 3	0-3	\$ 69.33
	Costo del punto 13	3-13	\$ 16.33		Costo del punto 14	3-14	\$ 8.60		Costo del punto 15	3-15	\$ 20.06
	Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02		Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93		Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79
			\$ 114.03				\$ 138.67				\$ 128.07

En la Tabla 12 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 4.

- Ruta combinada con el punto de entrega 4 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-4-8-0 (Tabla 12D) y la ruta 0-4-14-0 (Tabla 12J) contienen el mismo costo monetario con \$101.13 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 4 con menor ahorro:
 - Ruta 0-4-6-0 (Tabla 12B) con \$11.17 de ahorro.

Tabla 12. Punto de entrega 4

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16	+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16	+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16
	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07		Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03		Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84
-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58	-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58	-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58
	Costo del punto 5	4-5	\$ 26.07		Costo del punto 6	4-6	\$ 50.42		Costo del punto 7	4-7	\$ 26.36
	Costo del punto 0	5-0	\$ 39.54		Costo del punto 0	6-0	\$ 6.02		Costo del punto 0	7-0	\$ 22.92
			\$ 69.05				\$ 11.17				\$ 52.14
D				E				F			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16	+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16	+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16
	Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78		Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96		Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77
-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58	-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58	-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58
	Costo del punto 8	4-8	\$ 18.34		Costo del punto 9	4-9	\$ 28.94		Costo del punto 10	4-10	\$ 10.89
	Costo del punto 0	8-0	\$ 63.89		Costo del punto 0	9-0	\$ 19.48		Costo del punto 0	10-0	\$ 36.39
			\$ 101.13				\$ 46.13				\$ 81.08
G				H				I			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16	+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16	+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16
	Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27		Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10		Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05
-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58	-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58	-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58
	Costo del punto 11	4-11	\$ 36.67		Costo del punto 12	4-12	\$ 15.47		Costo del punto 13	4-13	\$ 16.33
	Costo del punto 0	11-0	\$ 22.63		Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55		Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02
			\$ 41.54				\$ 83.66				\$ 100.28
J				K							
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo				
+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16	+	Costo del punto 4	0-4-0	\$ 111.16				
	Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86		Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58				
-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58	-	Costo del punto 4	0-4	\$ 55.58				
	Costo del punto 14	4-14	\$ 32.37		Costo del punto 15	4-15	\$ 53.86				
	Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93		Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79				
			\$ 101.13				\$ 80.51				

En la Tabla 13 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 5.

- Ruta combinada con el punto de entrega 5 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-5-3-0 (Tabla 11B) con \$69.33 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 5 con menor ahorro:
 - Ruta 0-5-2-0 (Tabla 10C) con \$17.19 de ahorro.

Tabla 13. Punto de entrega 5

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07	+	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07	+	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07
	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03		Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84		Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78
-	Costo del punto 5	0-5	\$ 39.54	-	Costo del punto 5	0-5	\$ 39.54	-	Costo del punto 5	0-5	\$ 39.54
	Costo del punto 6	5-6	\$ 22.06		Costo del punto 7	5-7	\$ 15.18		Costo del punto 8	5-8	\$ 35.24
	Costo del punto 0	6-0	\$ 6.02		Costo del punto 0	7-0	\$ 22.92		Costo del punto 0	8-0	\$ 63.89
			\$ 23.49				\$ 47.27				\$ 68.19
D				E				F			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07	+	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07	+	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07
	Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96		Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77		Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27
-	Costo del punto 5	0-5	\$ 39.54	-	Costo del punto 5	0-5	\$ 39.54	-	Costo del punto 5	0-5	\$ 39.54
	Costo del punto 9	5-9	\$ 15.76		Costo del punto 10	5-10	\$ 8.88		Costo del punto 11	5-11	\$ 12.32
	Costo del punto 0	9-0	\$ 19.48		Costo del punto 0	10-0	\$ 36.39		Costo del punto 0	11-0	\$ 22.63
			\$ 43.26				\$ 67.04				\$ 49.85
G				H				I			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07	+	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07	+	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07
	Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10		Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05		Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86
-	Costo del punto 5	0-5	\$ 39.54	-	Costo del punto 5	0-5	\$ 39.54	-	Costo del punto 5	0-5	\$ 39.54
	Costo del punto 12	5-12	\$ 15.18		Costo del punto 13	5-13	\$ 32.37		Costo del punto 14	5-14	\$ 49.28
	Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55		Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02		Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93
			\$ 67.90				\$ 68.19				\$ 68.19
J											
Operación	Descripción	Ruta	Costo								
+	Costo del punto 5	0-5-0	\$ 79.07								
	Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58								
-	Costo del punto 5	0-5	\$ 39.54								
	Costo del punto 15	5-15	\$ 50.42								
	Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79								
			\$ 67.90								

En la Tabla 14 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 6.

- Ruta combinada con el punto de entrega 6 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-6-5-0 (Tabla 13A) con \$23.49 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 6 con menor ahorro:
 - Ruta 0-6-1-0 (Tabla 9F) con \$10.03 de ahorro.

Tabla 14. Punto de entrega 6

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03	+	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03	+	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03
	Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84		Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78		Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96
-	Costo del punto 6	0-6	\$ 6.02	-	Costo del punto 6	0-6	\$ 6.02	-	Costo del punto 6	0-6	\$ 6.02
	Costo del punto 7	6-7	\$ 16.33		Costo del punto 8	6-8	\$ 58.73		Costo del punto 9	6-9	\$ 13.18
	Costo del punto 0	7-0	\$ 22.92		Costo del punto 0	8-0	\$ 63.89		Costo del punto 0	9-0	\$ 19.48
			\$ 12.61				\$ 11.17				\$ 12.32
D				E				F			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03	+	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03	+	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03
	Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77		Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27		Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10
-	Costo del punto 6	0-6	\$ 6.02	-	Costo del punto 6	0-6	\$ 6.02	-	Costo del punto 6	0-6	\$ 6.02
	Costo del punto 10	6-10	\$ 31.23		Costo del punto 11	6-11	\$ 17.48		Costo del punto 12	6-12	\$ 38.39
	Costo del punto 0	10-0	\$ 36.39		Costo del punto 0	11-0	\$ 22.63		Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55
			\$ 11.17				\$ 11.17				\$ 11.17
G				H				I			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03	+	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03	+	Costo del punto 6	0-6-0	\$ 12.03
	Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05		Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86		Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58
-	Costo del punto 6	0-6	\$ 6.02	-	Costo del punto 6	0-6	\$ 6.02	-	Costo del punto 6	0-6	\$ 6.02
	Costo del punto 13	6-13	\$ 55.87		Costo del punto 14	6-14	\$ 72.77		Costo del punto 15	6-15	\$ 73.63
	Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02		Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93		Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79
			\$ 11.17				\$ 11.17				\$ 11.17

En la Tabla 15 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 7. En las combinaciones con este punto de entrega existe menor ahorro a diferencia con las demás, debido a la cercanía que existe entre el punto 0 y el punto 6.

- Ruta combinada con el punto de entrega 7 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-7-3-0 (Tabla 11D) con \$65.61 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 3 con menor ahorro:
 - Ruta 0-7-6-0 (Tabla 14A) con \$12.61 de ahorro.

Tabla 15. Punto de entrega 7

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84	+	Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84	+	Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84
	Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78		Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96		Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77
-	Costo del punto 7	0-7	\$ 22.92	-	Costo del punto 7	0-7	\$ 22.92	-	Costo del punto 7	0-7	\$ 22.92
	Costo del punto 8	7-8	\$ 33.52		Costo del punto 9	7-9	\$ 7.74		Costo del punto 10	7-10	\$ 28.36
	Costo del punto 0	8-0	\$ 63.89		Costo del punto 0	9-0	\$ 19.48		Costo del punto 0	10-0	\$ 36.39
			\$ 53.29				\$ 34.67				\$ 30.94
D				E				F			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84	+	Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84	+	Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84
	Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27		Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10		Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05
-	Costo del punto 7	0-7	\$ 22.92	-	Costo del punto 7	0-7	\$ 22.92	-	Costo del punto 7	0-7	\$ 22.92
	Costo del punto 11	7-11	\$ 24.93		Costo del punto 12	7-12	\$ 13.18		Costo del punto 13	7-13	\$ 24.35
	Costo del punto 0	11-0	\$ 22.63		Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55		Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02
			\$ 20.63				\$ 53.29				\$ 59.59
G				H							
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo				
+	Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84	+	Costo del punto 7	0-7-0	\$ 45.84				
	Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86		Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58				
-	Costo del punto 7	0-7	\$ 22.92	-	Costo del punto 7	0-7	\$ 22.92				
	Costo del punto 14	7-14	\$ 37.53		Costo del punto 15	7-15	\$ 38.39				
	Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93		Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79				
			\$ 63.32				\$ 63.32				

En la Tabla 16 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 8.

- Ruta combinada con el punto de entrega 8 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-8-14-0 (Tabla 16F) con \$114.31 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 8 con menor ahorro:
 - Ruta 0-8-6-0 (Tabla 14B) con \$11.17 de ahorro.

Tabla 16. Punto de entrega 8

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78	+	Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78	+	Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78
	Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96		Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77		Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27
-	Costo del punto 8	0-8	\$ 63.89	-	Costo del punto 8	0-8	\$ 63.89	-	Costo del punto 8	0-8	\$ 63.89
	Costo del punto 9	8-9	\$ 37.53		Costo del punto 10	8-10	\$ 25.79		Costo del punto 11	8-11	\$ 44.98
	Costo del punto 0	9-0	\$ 19.48		Costo del punto 0	10-0	\$ 36.39		Costo del punto 0	11-0	\$ 22.63
			\$ 45.84				\$ 74.49				\$ 41.54
D				E				F			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78	+	Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78	+	Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78
	Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10		Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05		Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86
-	Costo del punto 8	0-8	\$ 63.89	-	Costo del punto 8	0-8	\$ 63.89	-	Costo del punto 8	0-8	\$ 63.89
	Costo del punto 12	8-12	\$ 23.78		Costo del punto 13	8-13	\$ 15.76		Costo del punto 14	8-14	\$ 27.50
	Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55		Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02		Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93
			\$ 83.66				\$ 109.16				\$ 114.31
G											
Operación	Descripción	Ruta	Costo								
+	Costo del punto 8	0-8-0	\$ 127.78								
	Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58								
-	Costo del punto 8	0-8	\$ 63.89								
	Costo del punto 15	8-15	\$ 62.46								
	Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79								
			\$ 80.22								

En la Tabla 17 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 9.

- Ruta combinada con el punto de entrega 9 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-9-3-0 (Tabla 11F) con \$59.88 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 9 con menor ahorro:
 - Ruta 0-9-6-0 (Tabla 14C) con \$12.32 de ahorro.

Tabla 17. Punto de entrega 9

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96	+	Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96	+	Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96
	Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77		Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27		Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10
-	Costo del punto 9	0-9	\$ 19.48	-	Costo del punto 9	0-9	\$ 19.48	-	Costo del punto 9	0-9	\$ 19.48
	Costo del punto 10	9-10	\$ 20.63		Costo del punto 11	9-11	\$ 24.64		Costo del punto 12	9-12	\$ 18.34
	Costo del punto 0	10-0	\$ 36.39		Costo del punto 0	11-0	\$ 22.63		Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55
			\$ 35.24				\$ 17.48				\$ 44.69
D				E				F			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96	+	Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96	+	Costo del punto 9	0-9-0	\$ 38.96
	Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05		Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86		Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58
-	Costo del punto 9	0-9	\$ 19.48	-	Costo del punto 9	0-9	\$ 19.48	-	Costo del punto 9	0-9	\$ 19.48
	Costo del punto 13	9-13	\$ 35.53		Costo del punto 14	9-14	\$ 40.11		Costo del punto 15	9-15	\$ 40.97
	Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02		Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93		Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79
			\$ 44.98				\$ 57.30				\$ 57.30

En la Tabla 18 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 10.

- Ruta combinada con el punto de entrega 10 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-10-4-0 (Tabla 12F) con \$81.08 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 10 con menor ahorro:
 - Ruta 0-10-6-0 (Tabla 14D) con \$11.17 de ahorro.

Tabla 18. Punto de entrega 10

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77	+	Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77	+	Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77
	Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27		Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10		Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05
-	Costo del punto 10	0-10	\$ 36.39	-	Costo del punto 10	0-10	\$ 36.39	-	Costo del punto 10	0-10	\$ 36.39
	Costo del punto 11	10-11	\$ 18.34		Costo del punto 12	10-12	\$ 9.17		Costo del punto 13	10-13	\$ 21.49
	Costo del punto 0	11-0	\$ 22.63		Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55		Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02
			\$ 40.68				\$ 70.77				\$ 75.92
D				E							
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo				
+	Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77	+	Costo del punto 10	0-10-0	\$ 72.77				
	Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86		Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58				
-	Costo del punto 10	0-10	\$ 36.39	-	Costo del punto 10	0-10	\$ 36.39				
	Costo del punto 14	10-14	\$ 45.84		Costo del punto 15	10-15	\$ 46.70				
	Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93		Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79				
			\$ 68.47				\$ 68.47				

En la Tabla 19 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 11.

- Ruta combinada con el punto de entrega 11 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-11-5-0 (Tabla 13F) con \$49.85 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 11 con menor ahorro:
 - Ruta 0-11-6-0 (Tabla 14E) con \$11.17 de ahorro.

Tabla 19. Punto de entrega 11

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27	+	Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27	+	Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27
	Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10		Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05		Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86
-	Costo del punto 11	0-11	\$ 22.63	-	Costo del punto 11	0-11	\$ 22.63	-	Costo del punto 11	0-11	\$ 22.63
	Costo del punto 12	11-12	\$ 27.79		Costo del punto 13	11-13	\$ 45.27		Costo del punto 14	11-14	\$ 62.17
	Costo del punto 0	12-0	\$ 43.55		Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02		Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93
			\$ 38.39				\$ 38.39				\$ 38.39
D											
Operación	Descripción	Ruta	Costo								
+	Costo del punto 11	0-11-0	\$ 45.27								
	Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58								
-	Costo del punto 11	0-11	\$ 22.63								
	Costo del punto 15	11-15	\$ 63.03								
	Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79								
			\$ 38.39								

En la Tabla 20 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 12.

- Ruta combinada con el punto de entrega 12 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-12-13-0 (Tabla 20A) con \$83.94 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 12 con menor ahorro:
 - Ruta 0-12-6-0 (Tabla 14F) con \$11.17 de ahorro.

Tabla 20. Punto de entrega 12

A				B				C			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10	+	Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10	+	Costo del punto 12	0-12-0	\$ 87.10
	Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05		Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86		Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58
	Costo del punto 12	0-12	\$ 43.55		Costo del punto 12	0-12	\$ 43.55		Costo del punto 12	0-12	\$ 43.55
-	Costo del punto 13	12-13	\$ 20.63	-	Costo del punto 14	12-14	\$ 41.54	-	Costo del punto 15	12-15	\$ 42.40
	Costo del punto 13	13-0	\$ 61.02		Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93		Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79
	Costo del punto 0	13-0	\$ 61.02		Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93		Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79
			\$ 83.94				\$ 79.93				\$ 79.93

En la Tabla 21 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 13.

- Ruta combinada con el punto de entrega 13 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-13-14-0 (Tabla 21A) con \$121.19 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 13 con menor ahorro:
 - Ruta 0-13-6-0 (Tabla 14G) con \$11.17 de ahorro.

Tabla 21. Punto de entrega 13

A				B			
Operación	Descripción	Ruta	Costo	Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05	+	Costo del punto 13	0-13-0	\$ 122.05
	Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86		Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58
-	Costo del punto 13	0-13	\$ 61.02	-	Costo del punto 13	0-13	\$ 61.02
	Costo del punto 14	13-14	\$ 17.76		Costo del punto 15	13-15	\$ 37.25
	Costo del punto 0	14-0	\$ 77.93		Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79
			\$ 121.19				\$ 102.57

En la Tabla 22 se encuentran las combinaciones restantes con el punto de entrega 14.

- Ruta combinada con el punto de entrega 14 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-14-3-0 (Tabla 11K) con \$138.67 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 14 con menor ahorro:
 - Ruta 0-14-6-0 (Tabla 14H) con \$11.17 de ahorro.

Tabla 22. Punto de entrega 14

A			
Operación	Descripción	Ruta	Costo
+	Costo del punto 14	0-14-0	\$ 155.86
	Costo del punto 15	0-15-0	\$ 157.58
-	Costo del punto 14	0-14	\$ 77.93
	Costo del punto 15	14-15	\$ 20.63
	Costo del punto 0	15-0	\$ 78.79
			\$ 136.09

Las combinaciones generadas con el punto de entrega 15 ya no se presentan, debido a que están señaladas en las combinaciones con los demás puntos de entrega.

- Ruta combinada con el punto de entrega 15 con mayor ahorro:
 - Ruta 0-15-14-0 (Tabla 22A) con \$136.09 de ahorro.
- Ruta combinada con el punto de entrega 15 con menor ahorro:
 - Ruta 0-15-6-0 (Tabla 14I) con \$11.17 de ahorro.

La Tabla 23 muestra las 5 rutas con mayor ahorro monetario obtenidas por la aplicación de la heurística, y Tabla 24 identifica los puntos de entrega con las

unidades requeridas (plantas), indicando con colores la ruta que representa cada una en la Tabla 25, Tabla 26 y Tabla 27

Tabla 23. Rutas con mayor rentabilidad

	Ruta	Ahorro
1	0-3-14-0	\$ 138.67
2	0-14-15-0	\$ 136.09
3	0-3-15-0	\$ 128.07
4	0-13-14-0	\$ 121.19
5	0-8-14-0	\$ 114.31

Tabla 24. Unidades (plantas)

Punto de entrega	Unidades
1	8
2	6
3	8
4	7
5	16
6	20
7	22
8	12
9	30
10	16
11	8
12	12
13	5
14	6
15	6
	182

Con ayuda de la matriz de ahorro (Tabla 8), se seleccionaron las 3 mejores rutas. Éstas se realizaron tomando en cuenta la cantidad máxima de plantas que se pueden transportar en nuestro medio de transporte (65 unidades).

- Color verde: Ruta 1
- Color azul: Ruta 2
- Color amarillo: Ruta 3

Tabla 25. Ruta 1

Ruta 1 (0-6-2-9-0)			
Puntos de entrega	6	2	9
Unidades	20	6	30

Tabla 26. Ruta 2

Ruta 2 (0-11-5-10-1-4-13-0)						
Puntos de entrega	11	5	10	1	4	13
Unidades	8	16	16	8	7	5

Tabla 27. Ruta 3

Ruta 3 (0-7-12-8-14-3-15-0)						
Puntos de entrega	7	12	8	14	3	15
Unidades	22	12	12	6	8	6

ESCENARIO DE TRABAJO PROYECTADO.

Uno de los proyectados es vender plantas ornamentales a gran escala, esto con ayuda de algún socio comercial de la zona. Se han analizado posibles estrategias comerciales y una de ellas es el grupo La Comer.

Grupo La Comer es una cadena mexicana de supermercados, con presencia en diversos estados de la república, principalmente en el centro de México.

La empresa fue fundada en 2017 con el antiguo y original denominación de “Controladora Comercial Mexicana”, sin embargo, la compañía actual nace de la escisión legal en dos partes de la compañía original, donde administra 54 tiendas de los formatos de supermercado City Market, Fresko, Sumesa y un nuevo formato, La Comer.

Esta alianza aumentaría significativamente las ventas, ya que existe gran flujo de Orquídeas y Noche Buenas; que, con ayuda de un precio competitivo, ganarían ambas partes.

Aplicamos la misma heurística para proyectar nuestras ventas bajo un escenario conservador.

En la Tabla 28 se muestran las 3 unidades comerciales con las que cuenta el corporativo en el municipio de Cuernavaca, la distancia es ideal para el tipo de vehículo con el que se cuenta.

Tabla 28. Centros de distribución

Punto de entrega	Sucursal	Unidades	km
1	Fresko La Comer Plaza Bugambilias	52	6.8
2	City Market	65	8.2
3	La Comer Diana	44	12.3

En la Figura 10 se muestran las unidades requeridas para cada centro de distribución.

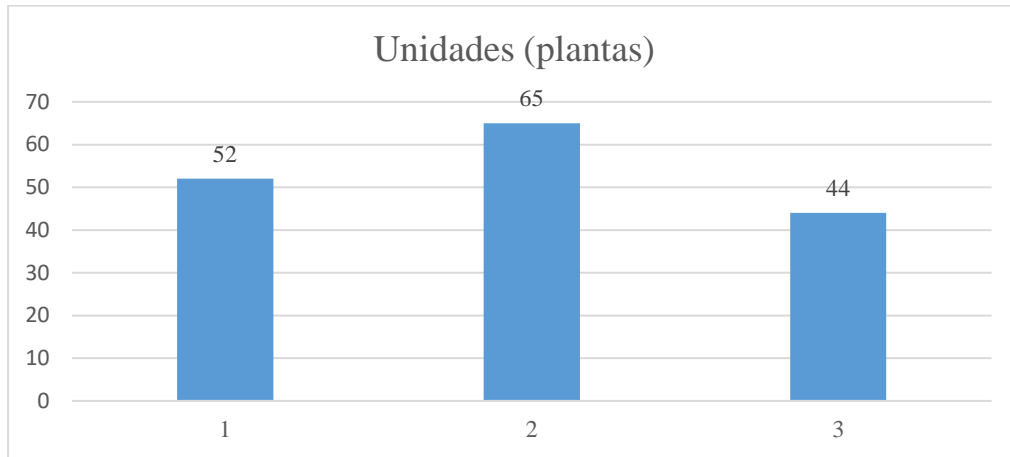


Figura 10. Unidades

La Figura 11 muestra de manera grafica la distancia que existe desde cada punto de entrega al negocio.

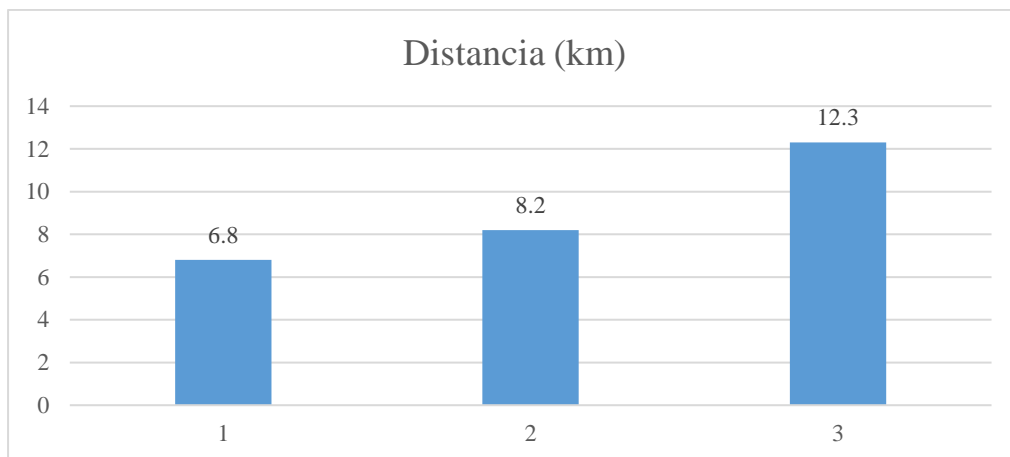


Figura 11. Distancia

En la Tabla 29 se puede observar la distancia que hay entre un punto y otro.

Tabla 29. Matriz de distancias

Matriz de distancias				
	0	1	2	3
0		6.8	8.2	12.3
1	6.8		1.5	4.4
2	8.2	1.5		3
3	12.3	4.4	3	

En la Tabla 30 se calculó el costo que genera cada ruta, con ayuda de la distancia y los litros de gasolina consumidos por el vehículo, y en la Figura 12 se muestra de manera grafica.

Tabla 30. Solución inicial

Solución inicial				
	Ruta	km (0.i.0)	Lt (gasolina)	Costo
1	0-1-0	13.6	2.0	\$ 38.96
2	0-2-0	16.4	2.5	\$ 46.99
3	0-3-0	24.6	3.7	\$ 70.48
		54.6	8.2	\$ 156.43

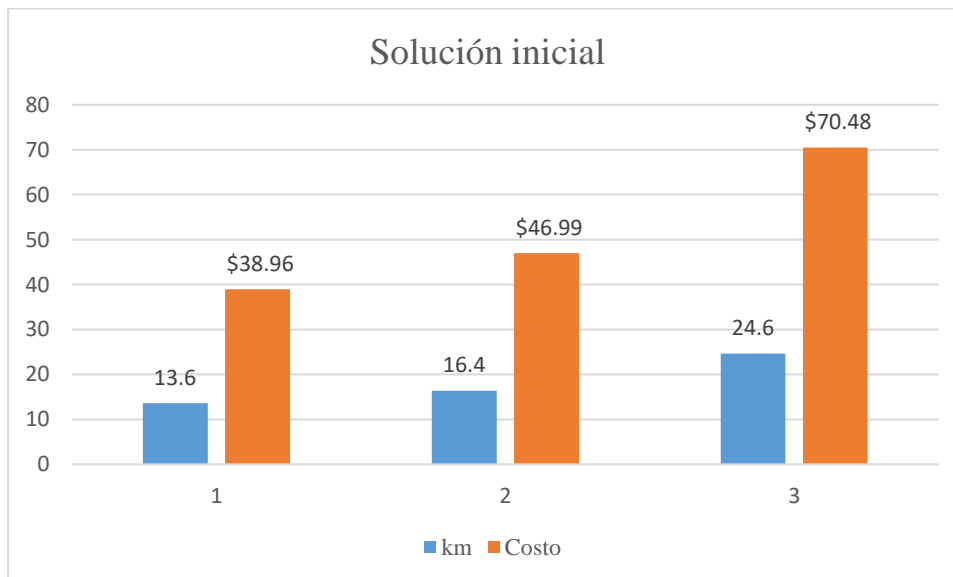


Figura 12. Solución inicial

En la Tabla 31 se observa el costó que se calculó con ayuda de la matriz de distancia (Tabla 29).

Tabla 31. Matriz de costos

Matriz de costos				
	0	1	2	3
0		\$ 19.48	\$ 23.49	\$ 35.24
1	\$ 19.48		\$ 4.30	\$ 12.61
2	\$ 23.49	\$ 4.30		\$ 8.60
3	\$ 35.24	\$ 12.61	\$ 8.60	

No existe gran variación entre las diferentes rutas, como lo detalla la matriz de ahorro (Tabla 32).

Tabla 32. Matriz de ahorro

Matriz de ahorro			
	1	2	3
1			
2	\$ 38.68		
3	\$ 42.12	\$ 50.14	
1	\$ 42.12	\$ 50.14	
2	\$ 38.68		
3			

Con la aplicación de la heurística se definieron las rutas más convenientes para la empresa, se puede observar esto en Tabla 33.

Tabla 33. Rutas finales

Rutas finales			
Ruta	1	2	3
Unidades	52	65	44

La mayor ventaja es la corta distancia que existe en los 3 puntos de distribución, aumentando considerablemente la utilidad neta, ya que se transportarían mayor número de unidades.

Se realizaría en una sola ruta, permitiendo así, menor gasto de recursos y tiempo.

CAPITULO IV “ANÁLISIS DE RESULTADOS”

ESCENARIO DE TRABAJO INICIAL.

Dada la solución obtenida de la aplicación de la heurística, se considera el ahorro en costo de transporte, si solo se hacen 3 rutas en lugar de 15.

- La ruta 1 (Figura 13) es la más corta en distancia y tiempo, abarca la parte norte del municipio de Cuernavaca y parte del centro.
- La ruta 2 (Figura 14) es la más neutra, muy parecida a la ruta 3 pero más rentable en condiciones generales.
- La ruta 3 (Figura 15) a pesar de ser un recorrido muy extenso y el de mayor costo, resulta ser la más rentable porque se distribuye mayor mercancía, y por lo tanto, es la de mayor ingreso.



Figura 13. Ruta 1



Figura 14. Ruta 2

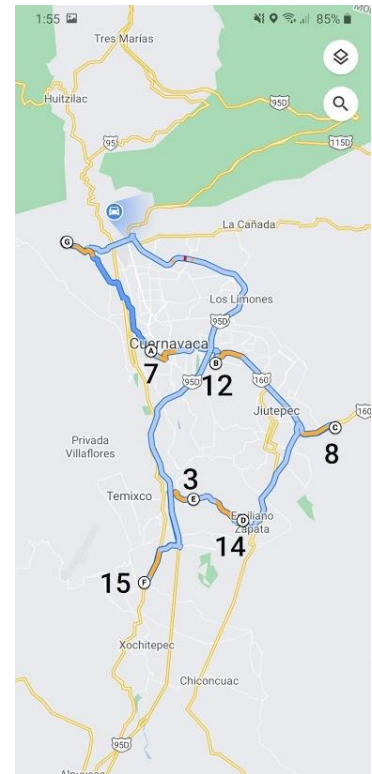


Figura 15. Ruta 3

La Tabla 34 presenta las 15 rutas iniciales que se consideraron sin la implementación de la heurística; como se puede ver, implica un gasto mayor considerable para la empresa, así como de mayor tiempo, distancia y recurso.

Tabla 34. Costo inicial

Costo inicial				
	Ruta	km (0.i.0)	Lt (gasolina)	Costo
1	0-1-0	27.2	4.1	\$ 77.93
2	0-2-0	6.6	1	\$ 18.91
3	0-3-0	48.4	7.3	\$ 138.67
4	0-4-0	38.8	5.8	\$ 111.16
5	0-5-0	27.6	4.1	\$ 79.07
6	0-6-0	4.2	0.6	\$ 12.03
7	0-7-0	16	2.4	\$ 45.84
8	0-8-0	44.6	6.7	\$ 127.78
9	0-9-0	13.6	2	\$ 38.96
10	0-10-0	25.4	3.8	\$ 72.77
11	0-11-0	15.8	2.4	\$ 45.27
12	0-12-0	30.4	4.6	\$ 87.10
13	0-13-0	42.6	6.4	\$ 122.05
14	0-14-0	54.4	8.2	\$ 155.86
15	0-15-0	55	8.3	\$ 157.58
		450.6	67.6	\$ 1,290.97

La Tabla 35 presenta las 3 mejores rutas obtenidas con ayuda de la heurística considerando la utilidad y el ahorro que genera cada una de ellas. Por lo anterior, se genera una idea de beneficio a la empresa para implementar el algoritmo de Clarke y Wright, ya que impacta directamente el ahorro de recursos mensuales de la empresa por la asignación de rutas.

La implementación del algoritmo fue realizado a través de software comercial (Excel), lo que facilita su uso y manejo por el personal del área que realizará la asignación de rutas.

Una herramienta que permite la toma de decisiones del personal de la empresa que le permita decidir bajo un sustento cuantitativo, fácil de utilizar y sin invertir recursos en la compra de software especializado.

El costo final también se puede observar en la Tabla 35.

Tabla 35. Costo final

Costo final		
	Ruta	Costo
1	0-6-2-8-0	\$ 44.41
2	0-11-5-10-1-4-13-0	\$ 132.08
3	0-7-12-8-14-3-15-0	\$ 194.82
		\$ 371.30

De manera general, con la aplicación de la heurística se obtuvo un ahorro del 71%, el cual se resume en la Tabla 36.

Tabla 36. Ahorro total

Ahorro total				
Unidades	Costo inicial	Costo final	Ahorro	Porcentaje
182	\$ 1,290.97	\$ 371.30	\$ 919.67	71%

ESCENARIO DE TRABAJO PROYECTADO

La mayor ventaja es la corta distancia que existe en los 3 puntos de distribución, aumentando considerablemente la utilidad neta, ya que se transportarían mayor número de unidades.

Sólo se tiene proyectada una sola ruta, permitiendo así un menor gasto de recursos y tiempo, esto se resume en la Tabla 37.

Tabla 37. Ahorro final

Ahorro final				
Unidades	Costo inicial	Costo final	Ahorro	Porcentaje
161	\$ 156.43	\$ 67.61	\$ 88.82	57%

FASE FINAL

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se cumplió el objetivo planteado de minimizar los costos con la asignación de rutas para la distribución de mercancías en la empresa. Dada la solución obtenida de la aplicación del algoritmo, se obtuvo un 71% de ahorro en costo de transporte, si solo se hacen 3 viajes en lugar de 15.

De igual manera, la aplicación en el escenario proyectado fue satisfactoria, obteniendo un 57% de ahorro.

Aplicando este heurístico se pudieron optimizar los recursos de la empresa, tales como:

- Fuerza laboral.
- Vehículo en libre utilización y suministros, ya que ahora el vehículo tendrá un mejor porcentaje de utilización y podrá ser canalizado para otra actividad que lo amerite.
- Utilización de recursos financieros.

Estos resultados se ven reflejados a mediano plazo, ya que se visualiza un ahorro importante en las operaciones de la empresa.

Mi recomendación es adecuar la heurística que más te convenga, ya que mejora significativamente los resultados.

La realización de esta tesis me permitió aterrizar los conocimientos adquiridos que aprendí durante estos últimos años en la carrera de ingeniería industrial.

También me permitió conocer algunas otras herramientas que nos facilitan la optimización de recursos en cualquier empresa.

En general, fue muy satisfactorio realizar este trabajo aplicado a un negocio que realicé a raíz de la pandemia; pero, sobre todo, observar los resultados positivos que esta tuvo.

TRABAJOS FUTUROS

El gran crecimiento que ha alcanzado el negocio, ha provocado interés en otras entidades del país, pero ha sido imposible introducirse al mercado regional debido a la dificultad de poder transportar plantas tan delicadas como lo son las orquídeas.

Se tiene planeado diseñar y probar diferentes tipos de empaque, que permitan proteger la mercancía hasta el destinatario final.

Con ayuda de la experiencia de los productores de plantas ornamentales, se llegará al mejor proyecto en beneficio de la empresa y de todos sus clientes.

BIBLIOGRAFÍA

- Alinaghian, Kaviani, & Khaledan. (2015). *A novel heuristic algorithm based on Clark and Wright Algorithm for Green Vehicle Routing Problem*. International Journal of Supply and Operations Management.
- Antún, P., Lozano, A., Hernández, C., & Hernández, R. (2005). *Logística de Distribución Física a Minoristas*. México: UNAM.
- Cardozo, O. (2013). *Solución al problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada "CVRP" a través de la heurística de barrido y la implementación del algoritmo genético de Chu-Beasley*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Chao, L. (1965). *A branch and bound algorithm for the exact solution of three machine scheduling problems*. Mathematical Problems in Engineering,.
- Fico. (2018). Obtenido de Xpress Optimization. Retrieved: <https://www.fico.com/en/products/fico-xpress-optimization>
- Google Maps Platform. (2018). Obtenido de Directions API: <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/start>
- Laporte, G. (2013). *Vehicle routing: historical perspective and recent contributions*. EURO Journal on Transportation and Logistics.
- López, L. (2015). *Localización de paradas y diseño óptimo de rutas para transporte personal*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Lum, Chen, Wang, Golden, & Wasil. (2015). *A Heuristic Approach for the Swap-Body Vehicle Routing Problem*. 14th INFORMS Computing Society Conference.

- Martija, M. (2019). *El gran libro de las orquídeas*. USA: Parkstone International.
- Quintanilla, B. (2015). *Problemas de Rutas de Vehículos: modelos, aplicaciones logísticas y métodos de resolución*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Ramalhinho, & Serra. (2002). *Heurísticas Adaptativas para el Problema de Asignación Generalizada*. Proceedings of The First Spanish Congress in Evolutive and Bioinspired Algorithms.
- Ramírez, S. (2019). *Forbes*. Obtenido de Flor de Noche Buena: <https://www.forbes.com.mx/forbes-life/todo-lo-que-debes-saber-para-cuidar-una-flor-de-nochebuena/>
- Robusté, F. (2005). *Logística del transporte*. Barcelona: Univ. Politèc. de Catalunya.
- Rojas, F., Bermúdez, G., & Jiménez, Q. (2006). *Plantas Ornamentales*. Costa Rica: Editorial Tecnologica de CR.
- The Institute for Operations Research and the Management Sciences*. (2018). Obtenido de <https://pubsonline.informs.org/magazine/orms-today>
- Toth, & Vigo. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. (2002 Society for Industrial and Applied Mathematics. Ilustrada.

ANEXOS

Cronograma de actividades

Tabla 38. Cronograma de actividades

F E C H A	O C T U B R E	1	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
		7		
		8		
		9		
		10		
		11		
		12		
		13		
		N O V I E M B R E	14	CONSULTA DE CITAS BIBLIOGRÁFICAS
			15	
			16	
			17	
			18	
			19	
			20	
			21	
			22	
			23	
		24		
		D I C I E M B R E	25	CÁLCULOS DE LA HEURÍSTICA
			26	
			27	
			28	
			29	
			30	
	1			
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
D I C I E M B R E	1	INFORME PREVIO		
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
		ANÁLISIS DE RESULTADOS		