

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

Diseño e implementación de algoritmo matemático basado en modelo de enrutamiento del inventario para la determinación de cronograma de distribución de una empresa comercial

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Logística y Transporte**

Presentado por:

Doménica Isabela Durán León

Giancarlo David Barreiro Piloso

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2023

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a mi familia por siempre brindarme su apoyo e inspirarme a ser mejor cada día, a mis profesores que fueron pilares fundamentales para mi crecimiento profesional.

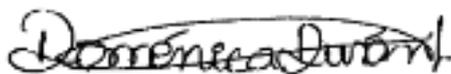
## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos primeramente a Dios quien nos dio la vida, salud y un sin número de experiencias inolvidables en nuestra vida universitaria. A nuestras familias, muchísimas gracias por apoyarnos siempre en nuestros proyectos y creer en nosotros. A nuestros profesores, le agradecemos por su enseñanza y experiencia impartidas a lo larga de nuestras carreras. A Puppy y Hanna nuestras mascotas que estuvieron allí junto a nosotros en esas noches largas de estudio y desvelo, muchas gracias.

Doménica Durán y Giancarlo Barreiro

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Doménica Durán* y *Giancarlo Barreiro* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Doménica Isabela  
Durán León



Giancarlo David Barreiro  
Piloso

# EVALUADORES

---

**Msc. Carlos Ronquillo**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**PhD. Erwin Delgado**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En este proyecto, se analiza el problema de enrutamiento del inventario para una empresa comercializadora de productos varios. La organización ha presentado ejecuciones de distribución en el abastecimiento de sus productos a sus sucursales de manera intuitiva y lógica, pero no eficiente. El principal propósito del modelo presentado fue el de sincronizar las decisiones de inventario y distribución, es decir, cuanto enviar a cada sucursal, en que parte del periodo de tiempo escogido y cuál sería la mejor ruta para realizar la entrega de producto. Se propuso un algoritmo basado en el modelo matemático del enrutamiento del inventario, este modelo tuvo dos fases, las cuales fueron: la agrupación por zona geográfica de las diferentes sucursales junto con la elección de cuales se visitarán en cada día. El siguiente paso fue la elección de la ruta y la cantidad a enviar a cada sucursal mediante el modelo matemático. La primera fase fue codificada en el software libre Python y la segunda fue implementada en GAMS, resuelto por el solver de CBC, donde se simuló con los datos de la empresa. Se obtuvo la ruta y cantidades a enviar en el cronograma del periodo del tiempo establecido que para este estudio fue semanal, obteniendo una reducción en el número de viajes realizados, una disminución en la distancia recorrida en cuanto a la ruta escogida y un ahorro en los costos de la operación de distribución.

**Palabras Clave:** Problema de enrutamiento del inventario, clusterización, algoritmo, modelo matemático, distribución.

## **ABSTRACT**

*In this project, the inventory routing problem for a company that sells various products is analyzed. The organization has presented distribution executions in supplying its products to its stores in an intuitive and logical, but not efficient manner. The main purpose of the model presented was to synchronize inventory and distribution decisions, that is, how much to send to each store, in what part of the chosen period and what would be the best route to deliver the product. An algorithm based on the mathematical model of inventory routing was proposed, this model had two phases, which were: the grouping by geographical area of the different stores together with the choice of which ones will be visited on each day. The next step was the choice of the route and the amount to be sent to each store using the mathematical model. The first phase was coded in the free software Python and the second was implemented in GAMS, solved by the CBC solver, where it was simulated with the company's data. The route and quantities to be sent were obtained in the schedule of the established period, which for this study was weekly, obtaining a reduction in the number of trips made, a decrease in the distance traveled in terms of the chosen route and savings in the costs of the distribution operation.*

**Keywords:** *Inventory routing problem, clustering, algorithm, mathematical model, distribution.*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
CAPÍTULO 1 .....	10
1.    Introducción .....	10
1.1    Descripción del problema .....	11
1.2    Justificación del problema.....	12
1.3    Objetivos.....	13
1.3.1    Objetivo General .....	13
1.3.2    Objetivos Específicos .....	14
1.4    Marco teórico .....	14
1.4.1    Estado del arte .....	14
1.4.2    Marco conceptual.....	17
CAPÍTULO 2.....	20
2.    METODOLOGÍA .....	20
2.1    Técnicas de investigación.....	21
2.2    Levantamiento de información.....	21
2.2.1    Visita técnica y entrevista.....	22
2.2.2    Análisis de información levantada: Situación actual.....	23
2.3    Recopilación de los datos .....	29

2.4	Descripción de los modelos .....	35
2.4.1	Modelo de estadística básica .....	35
2.4.2	Modelo IRP .....	38
2.5	Uso de software .....	40
2.6	Consideraciones legales y éticas.....	40
2.7	Fases del proyecto .....	42
2.8	Cronograma de trabajo .....	42
CAPÍTULO 3.....		44
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	44
3.1	Clusterización por Machine Learning.....	44
3.2	Información obtenida por medio del modelo matemático.....	45
3.3	Determinación de rutas y distancia recorrida.....	53
3.3.1	Gráficos de rutas por día de la semana .....	57
3.4	Análisis de costos .....	64
3.5	Análisis comparativo entre situación actual vs. situación propuesta.....	64
3.6	Entregables.....	66
CAPÍTULO 4.....		67
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	67
4.1	Conclusiones .....	67
4.2	Recomendaciones .....	68
BIBLIOGRAFÍA.....		69

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CEDI	Centro de Distribución Logístico
SKU	Unidad de Mantenimiento en Almacén
SCM	Sistemas de Administración de la Cadena de Suministro
IRP	Problema del ruteo de inventario
PTL	Pick to Light
SLE	Sistemas logísticos especializados
GAMS	Sistema General de Modelado Algebraico
PYPL	Popularity of Programming Language Index

## SIMBOLOGÍA

km	Kilómetro
$m^3$	Metro cúbico

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama de Barras de consumo máximo de cada sucursal en 11 meses.....	28
Figura 2.2 Diagrama de Dispersión de consumo máximo de cada sucursal en 11 meses.....	28
Figura 2.3 Diagrama de Barras de capacidad de cada sucursal .....	29
Figura 2.4 Volumen por sucursal en 11 meses.....	39
Figura 2.5 Fases del proyecto.....	46
Figura 3.1 Clusterización de sucursales.....	48
Figura 3.2 Ruta del día Lunes.....	59
Figura 3.3 Ruta del día Martes.....	60
Figura 3.4 Ruta del día Miércoles.....	61
Figura 3.5 Ruta del día Jueves.....	62
Figura 3.6 Ruta del día Viernes.....	63
Figura 3.7 Ruta del día Sábado.....	64
Figura 3.8 Ruta del día Domingo.....	65
Figura 3.9 Diagrama de barras de comparación de costos por día.....	67
Figura 3.10 Diagrama de barras de comparación de sucursales por día.....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Cronograma de entregas .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 1.1 Costo de diésel por km recorrido.....	30
Tabla 2.2 Costo de viaje entre sucursales (acortada).....	31
Tabla 2.3 Matriz de Distancias (acortada).....	32
Tabla 2.4 Volumen de consumo y despacho a cada sucursal en el periodo (Nov-2021 - Oct-2022).....	33
Tabla 2.5 Especificaciones de los vehículos usados para distribución.....	35
Tabla 2.6 Localización de sucursales.....	36
Tabla 2.7 Tarifa de transporte por sucursal y tamaño de vehículo.....	37
Tabla 2.8 Parámetros para el modelo.....	40
Tabla 2.9 Cronograma de trabajo.....	47
Tabla 3.1 Detalle de nodos por clúster.....	49
Tabla 3.2 Salida de datos para el día Lunes.....	49
Tabla 3.3 Salida de datos para el día Martes.....	50
Tabla 3.4 Salida de datos para el día Miércoles.....	51
Tabla 3.5 Salida de datos para el día Jueves.....	52
Tabla 3.6 Salida de datos para el día Viernes.....	53
Tabla 3.7 Salida de datos para el día Sábado.....	54
Tabla 3.8 Salida de datos para el día Domingo.....	55
Tabla 3.9 Detalle de ruta Lunes.....	56
Tabla 3.10 Detalle de ruta Martes.....	57
Tabla 3.11 Detalle de ruta Miércoles.....	57
Tabla 3.12 Detalle de ruta Jueves.....	57
Tabla 3.13 Detalle de ruta Viernes.....	57
Tabla 3.14 Detalle de ruta Sábado.....	58
Tabla 3.15 Detalle de ruta Domingo.....	58
Tabla 3.16 Detalle de presupuesto de la propuesta.....	66
Tabla 3.8 Costos de la distribución en la situación actual vs. la propuesta.....	67



# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Luego de experimentar una pandemia mundial se ha notado un gran cambio en el comportamiento de consumo de las personas. Durante los tiempos de confinamiento aumentó la demanda de productos de primera necesidad y otros bienes de consumo. La preocupación por la salud y el bienestar personal pasó a ser una prioridad, esto también generó el aumento de la demanda del manejo de productos en las empresas que brindan un servicio que satisface esta necesidad. Este incremento obligó a colocar más atención a las actividades de manejo del inventario y al despacho de pedido.

En este caso se tiene dos actores principales involucrados en la actividad de comercialización. El primero es el centro de distribución el cual se encarga de la gestión física de los productos a gran escala y es a su vez, el punto de partida de reabastecimiento para el segundo actor. El segundo actor es la sucursal que posee de igual manera una bodega y una gestión de inventario, pero con limitaciones de capacidad. El objetivo de operación del CEDI es el almacenamiento a mediano plazo de los SKU y el despacho diario o semanal de órdenes de productos para el surtimiento de las distintas sucursales de la región

Para lograr un correcto reabastecimiento de sucursales es preciso tener una estrategia de manejo de inventario adecuada basada en la necesidad del CEDI dado que moviliza diariamente miles de SKU. Este manejo de inventario necesita de una planificación y organización en despacho de las órdenes y sobre todo una interconexión de información con sus sucursales. Un sistema de administración de cadena de suministro (SCM) permite compartir datos de pedidos, niveles de inventario y entrega de productos, haciendo a la empresa más competitiva y agilizando sus procesos.

Estos sistemas aumentan la rentabilidad de las empresas al reducir los costos de transportación y fabricación de los productos, y al permitir a los gerentes tomar mejores decisiones en cuanto a la forma de organizar y programar el suministro, la producción y la distribución. (Laudon K, 2016)

El presente proyecto de investigación está dirigido a una empresa dedicada a la comercialización de bienes de consumo en sistema de autoservicio. La empresa cuenta con más de 50 años de experiencia atendiendo las necesidades de los ecuatorianos y ha logrado expandirse durante los últimos años logrando una presencia en 22 provincias del Ecuador, para el desarrollo del proyecto se tendrá un enfoque en el centro de distribución y las sucursales de la región Sierra.

Se propone realizar un cálculo de la cantidad de pedido necesaria para el reabastecimiento de las sucursales. Como segunda parte de la solución generar las frecuencias semanales de despacho basado en el modelo IRP (Inventoring routing problem) respondiendo a las preguntas: ¿Cuándo atender a una sucursal?, ¿Cuánto se entregará? y ¿Qué rutas se empleará?

### 1.1 Descripción del problema

La necesidad con la cual se presenta este proyecto de investigación es la de determinar cuántas veces a la semana se debe despachar un camión a una sucursal. Actualmente la empresa realiza la asignación de frecuencias de despacho hacia las sucursales de manera manual, en base a una revisión de ventas y experiencia del analista de transporte.

El proceso diario que se ejecuta para el abastecimiento de las sucursales se maneja partiendo de un cronograma de entregas. El cronograma cuenta con: el nombre de la tienda, los días en la semana que se realiza un viaje, hora de salida del camión con los pedidos y hora de entrega, es decir, el tiempo aproximado de llegada a las sucursales. Se realizan llamadas directas a las sucursales para coordinar la hora de recepción del camión, y se verifica la capacidad de la bodega que se va a abastecer ese día.

**Tabla 1.1 Cronograma de entregas para 5 sucursales**

Fuente: Empresa Comercializadora

Local	Salida	Entrega	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	3:00	4:30		1		1			1
2	20:00	21:30	1		1		1		
3	3:00	6:30	1		1		1		
4	15:00	19:30	1			1		1	
5	4:00	6:00		1		1		1	

La problemática se evidencia al momento de enviar los despachos basándose en cronograma realizado semanalmente. Las órdenes de reabastecimiento generadas hoy se deban ver satisfechas el día de mañana. Por ejemplo, como se visualiza en la Tabla 1.1 se tiene programada la entrega para el local 1 el martes, pero no necesariamente la necesidad de despacho de productos se generó el mismo día por lo que existe mayor posibilidad de tener productos fuera de stock momentáneamente.

Hay diferentes variedades de tiendas (sucursales), unas con bodegas medianas y otras con bodegas muy pequeñas, y si estas tienen una alta rotación de productos, entonces se envía un camión o furgoneta para su reabastecimiento diario y que no escaseen los productos. Si se tiene una bodega grande, generalmente se envían productos para abastecerse hasta 4 días.

Los datos que se requieren para el desarrollo de este proyecto son: la capacidad de la bodega de la sucursal, la capacidad la sucursal con respecto al camión; ya que existen algunas restricciones de la capacidad del camión y las horas a las que puede ser atendido, el histórico del volumen de despachos (los tres meses en el que se maneja una demanda estable) y con esto se puede realizar un análisis estadístico. La localización del CEDIS y las sucursales, y una zonificación de locales que se refiere a: sus productos son pocos entonces se pueden compartir el espacio del camión para enviarlos en un solo viaje.

## **1.2 Justificación del problema**

Con el fin de mejorar la asignación de despachos semanales hacia las sucursales se propone un proceso inverso al que han estado llevando para esta operación, es decir, generar un monitoreo activo de los niveles de inventario de las tiendas y adelantarse para luego realizar la planificación de entrega, se trabajó bajo el supuesto de que la empresa tiene un control completo de los niveles de inventario de sus sucursales.

Se pretende generar un sistema dinámico que sepa de antemano la sucursal que está muy próxima a desabastecerse de cualquier producto. Realizando el envío el mismo día que su inventario cae por debajo del inventario de seguridad, por medio de la creación de un clúster para monitorear dentro de él una zona de influencia. La zona de influencia

identifica si las tiendas están dentro de un rango del inventario mínimo entonces se despacha el volumen adecuado para sucursales que se encuentran cerca y así evitar los viajes extra.

Para lograrlo, en primera instancia se debió establecer rangos de reabastecimiento para cada sucursal, y este dato junto información geográfica de cada tienda adicional de otras restricciones a considerar se incluirán en una heurística para generar los clústeres. Finalmente se ajustará el modelo IRP a las necesidades de la empresa y a la información adquirida.

Este proyecto busca generar una frecuencia de despachos mejorada con un horizonte de planeación de los 7 días de la semana. Donde se toma en consideración restricciones y limitaciones de operación de la empresa para favorecer a un abastecimiento óptimo para un alcance de 80 sucursales en la región Sierra del Ecuador. El objetivo es lograr beneficios administrativos, económicos y operativos para la empresa.

La resolución del problema a través este proyecto será significativa por el aporte de nuevas perspectivas del manejo y planeación de despachos. Se utiliza un análisis y visualización de resultados en un modelo dinámico, es decir, que evoluciona en el tiempo y este puede ser usado en un futuro en la misma empresa con productos crossdocking o ser generalizado y aplicado a cualquier industria por medio de una correcta introducción de datos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar frecuencias de despacho para el abastecimiento semanal de las sucursales de una empresa comercializadora empleando estrategias de administración del inventario y distribución.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Estimar el día de la semana a realizar las entregas a las sucursales para conseguir una planificación acertada que logre disminuir la brecha de desabastecimiento y viajes innecesarios.
2. Minimizar las distancias y el número de viajes realizados semanalmente por el centro de distribución mediante una heurística de ruteo.
3. Comparar la situación actual del manejo de distribución en la empresa frente al modelo IRP propuesto.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Estado del arte**

En la creciente demanda de productos de primera necesidad como consecuencia del aumento de la población humana y el aumento de industrias que se dedican a satisfacer dicha necesidad, es inconcebible pensar que estas organizaciones no manejen un inventario sincronizado al reabastecimiento de sus productos en las sucursales que les pertenecen. El reabastecimiento administrado por sus centros de distribución logística es una tendencia emergente y se refiere a la reposición del inventario en cada una de sus sucursales, donde los proveedores o centros de distribución lo gestionan.

Un modelo de gestión útil para solucionar estos problemas relacionados a la gestión del inventario, ruteo y al establecimiento de una frecuencia de distribución es el IRP (Problema de enrutamiento de inventario). Este modelo permite a los encargados de la distribución y reposición de los productos en los establecimientos a las que pertenece su competencia según corresponda, ahorrar en costos de distribución al poder coordinar mejor las entregas a diferentes clientes. Permite a los clientes (establecimientos o sucursales) relajar el gasto de recursos en administrar el inventario. Permite a las industrias construir bloques sólidos para la planificación logística.

El IRP es un modelo que permite el correcto desarrollo de las actividades logísticas de un centro de distribución o proveedor, gestionando de manera eficiente el inventario, ruteo y establecimiento de frecuencias de distribución.

(Ann Campbell, 1998) afirma lo siguiente:

El papel de la gestión logística está cambiando muchas empresas las cuales se están dando cuenta de ese valor para el cliente el cual puede crearse en parte a través de la gestión logística. Para el cliente se puede crear valor a través de la disponibilidad del producto, la puntualidad y la consistencia de la entrega.

En consecuencia, el servicio de logística se está reconociendo como un elemento esencial de la satisfacción del cliente en un número creciente de mercados de productos en la actualidad. Diferentes industrias están considerando implementar el reabastecimiento administrado por el proveedor tradicional o centro de distribución según corresponda. El reabastecimiento administrado por el proveedor ha ocupado un lugar destacado en la lista de deseos de los gerentes de logística en la industria petroquímica y más recientemente la industria automotriz, la distribución de repuestos y la industria de refrescos las máquinas expendedoras han entrado en esta área.

Una de las razones por las que el reabastecimiento administrado por el proveedor está recibiendo mucha atención es la rápida disminución del costo de la tecnología que permite monitorear los inventarios de los clientes. El reabastecimiento administrado requiere información precisa y oportuna sobre el estado del inventario de clientes.

Si el reabastecimiento administrado por el centro de distribución es una situación ganadora tanto para los proveedores como para los clientes y la tecnología de monitoreo relativamente barata está disponible, entonces ¿por qué la administración del abastecimiento por medio de un centro de distribución o proveedor no es aplicada a gran escala? Una de las razones es que es una tarea compleja para desarrollar una estrategia de distribución que minimice el número de desabastecimientos y al mismo tiempo tome en cuenta los potenciales ahorros en los costos de distribución. El IRP es un problema desafiante e intrigante que también proporciona un buen punto de partida para estudiar la integración de diferentes componentes de la cadena de valor logística, es decir, gestión de inventario y transporte.

El problema de enrutamiento de inventario (IRP) ha llamado mucho la atención de la comunidad investigadora en los últimos años. La razón principal está relacionada con

los beneficios económicos relacionados con la integración del transporte y la gestión de inventario. Pues se basa en construir un plan de distribución que cubra un horizonte de planificación dado donde los productos básicos se distribuyen desde el proveedor a un conjunto de clientes dispersos geográficamente que enfrentan una demanda por período.

Se dispone de una flota de vehículos para realizar las entregas, y las reposiciones han de ser tales que cada cliente sea siempre capaz de satisfacer su demanda, en cada periodo del horizonte de planificación. El objetivo es determinar el plan de distribución que minimice el costo total, que viene dado por la suma del costo de transporte (o ruta) y el costo de mantenimiento de inventario.

En el artículo “Comparison of formulations for the Inventory Routing Problem” (Archetti y Ljubic´, 2021) se realiza una comparación de distintas formulaciones para el problema del enrutamiento de inventario, el IRP combina el enrutamiento, que es un problema extremadamente complejo en sí mismo, con la gestión del inventario, es decir, con las decisiones de reabastecimiento.

Dentro de este trabajo se analiza el problema desde dos enfoques: los agregados que son aquellos en los que las variables que describen las rutas factibles y las cantidades entregadas a los clientes en cada período de tiempo se agregan para todos los vehículos, y los desagregados donde se utilizan variables separadas para describir las rutas y las cantidades entregadas de cada vehículo.

Se detalla de manera profunda las restricciones que se necesitan considerar para el desarrollo de este modelo matemático, restricciones como: la capacidad del vehículo y las capacidades de inventario del cliente (entiéndase “cliente” a las sucursales a abastecer); cada cliente es visitado como máximo una vez en cada período de tiempo; las rutas de vehículos comienzan y terminan en el proveedor (centro de distribución); con la función objetivo de minimizar el costo total, dado por la suma del costo de mantenimiento de inventario en los clientes y en el proveedor más los costos de enrutamiento.

Continuando con el aporte de este trabajo, algunas de las conclusiones que sacaron favorecen a la puesta en acción del modelo pues, muestra que no se gana nada

al pasar de una formulación agregada a una desagregada y, por lo tanto, hay una clara ventaja en usar un número menor de variables (y restricciones) involucradas en las formulaciones agregadas. Permite a las industrias construir bloques sólidos para la planificación logística.

El concepto de logística ha evolucionado con el tiempo para incluir más y más funciones de la empresa y ha inspirado el concepto de gestión de la cadena de suministro que apunta a incluir más empresas en el proceso de integración. El avance de los sistemas de información, la disponibilidad de datos y el auge de Internet han favorecido esta dirección. Restringiendo la atención a los modelos de optimización en transporte y logística, se puede observar el crecimiento de las contribuciones en el modelado de sistemas que tradicionalmente eran descompuestos y resueltos por separado. Esto también se debe a los avances en los métodos de solución, tanto exactos como heurísticos, y al mayor poder del software comercial para modelos de programación lineal (LP) y programación lineal entera mixta (MILP).

En el artículo “Inventory routing problems: an introduction” (Bertazzi y Speranza, 2012), se presentan las clases de IRP enfocándose solo en las decisiones a lo largo del tiempo, donde la decisión crucial es cuándo atender a los clientes. Mencionan varios ejemplos y casos en los cuales se emplea este modelo IRP, lo que permite generar un entendimiento mucho más profundo de la problemática a desarrollar a lo largo del proyecto.

#### **1.4.2 Marco conceptual**

Una vez introducido el IRP y con el objetivo de aplicar su diseño a la organización antes mencionada, se debe presentar algunos conceptos esenciales para lograr establecer frecuencias de despacho óptimas para el abastecimiento semanal de las sucursales de dicha corporación empleando estrategias de administración del inventario.

*“El objetivo del IRP es minimizar los costos promedio de distribución durante un periodo de planificación sin causar desabastecimientos en cualquiera de los clientes tomando en cuenta tres aspectos importantes que son: ¿cuándo entregar al cliente?, ¿Cuánto entregar al cliente? Y ¿Qué rutas de entrega utilizar?... El IRP difiere de los problemas tradicionales de enrutamiento de vehículos porque se basa en el uso que los clientes*

realizan de sus productos en vez de los pedidos que realizan estos.” (Ann Campbell, 1998)

### **Problema del enrutamiento de inventario**

El IRP determinista se ocupa de la distribución repetida de un solo producto de una sola instalación, a un conjunto de  $n$  clientes en un horizonte de planificación de longitud  $T$ , posiblemente infinito. El cliente  $i$  consume el producto a una tasa  $u_i$  (digamos volumen por día) y puede mantener un inventario local de producto de hasta un máximo de  $C_i$ . El inventario en el cliente  $i$  es  $I_i^0$  en el tiempo 0. Se dispone de una flota de  $m$  vehículos homogéneos, de capacidad  $D$ , para la distribución del producto. Si se entrega una cantidad  $d_i$  al cliente  $i$ , el proveedor gana una recompensa igual a  $r_i d_i$ . A un vehículo le toma un tiempo  $t_{ij}$  recorrer el arco  $(i, j)$  de la red de distribución y se incurre en un costo  $c_{ij}$  al hacerlo.

El objetivo es maximizar la utilidad (ingresos menos costos) durante el horizonte de planeación, sin provocando desabastecimientos en alguno de los clientes. (Tenga en cuenta que debido a que el uso del producto es se supone que es determinista y no se permiten desabastecimientos, los ingresos a largo plazo son fijos y la clave es reducir los costos de entrega). Un despachador tiene que decidir cuándo atender a un cliente, cuánto entregar y qué rutas de entrega a utilizar para atender a los clientes.

En el IRP estocástico, las demandas de los clientes se definen en instantes de tiempo discretos  $t$  por medio de variables aleatorias. Sea  $U_i = (U_{1t}, \dots, U_{nt})$  el vector de demandas aleatorias de los clientes en el tiempo  $t$ . Las demandas de los clientes en diferentes días son vectores aleatorios independientes con una distribución de probabilidad conjunta  $F$  eso no cambia con el tiempo; es decir,  $U_0, U_1, \dots$  es una secuencia independiente e idénticamente distribuida, y  $F$  es la distribución de probabilidad de cada  $U_t$ .

### **Particularidades de los modelos de inventario**

Para poder realizar un correcto análisis de los datos otorgados por la empresa basados en el volumen de entregas, estos se originan de los pedidos de las diferentes sucursales hacia el proveedor, se debe tener ciertos aspectos del inventario que se maneja.

- **Demanda:** es una de las partes más importantes del modelo de inventario, dependiendo de la empresa, pueden ser de dos tipos las determinísticas y probabilística, esta última es de las más comunes en empresas que dependen de pedidos que se generan por el consumo de los clientes.
- **Modelos que involucran costos fijos o no:** se refieren a costos de mantenimiento, embalaje o algún costo que involucre el manejo del inventario.
- **Tipos de reposición:** pueden ser de manera instantánea cuando el artículo es comprado por el cliente, de reposición continua y periódica cuando los productos son producidos en una planta o centro de distribución.
- **Horizonte de planeación:** son todos los periodos en los que realizan las revisiones de los niveles de inventarios que permitirán la reposición y abastecimiento de los productos.
- **Modelos que permiten déficit:** estos modelos permiten la planeación de entrega porque los pedidos se generan a partir de que el producto haya llegado a niveles bajos de existencia o bien ya no exista en el inventario, y así, generar tiempos de anticipación para los tipos de demanda que antes se mencionaron.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se muestra el recorrido realizado para cumplir los objetivos planteados inicialmente, con el fin de recopilar información primaria y una mejor visión de la realidad de los procesos en la empresa, se hizo una visita técnica, en la cual se realizaron entrevistas a varios actores involucrados en el proceso en el que nos enfocamos para el proyecto: distribución.

Para este capítulo también se evidencia los procesos que se llevaron a cabo para lograr los objetivos planteados. Es imprescindible conocer la situación actual de la empresa para obtener información y posteriormente analizarla, así poder despejar dudas y validar los procesos antes mencionados.

Se obtuvo datos de la organización, de la cual se pudo rescatar la situación actual de la misma por medio de un análisis histórico del volumen de demandas despachadas a cada sucursal. Con una técnica de estadística básica como promedios, máximos y mínimos, se estableció los parámetros necesarios utilizados en el modelo heurístico. Dicha estadística básica se realizó mediante tablas dinámicas en Excel, aplicación donde se obtuvo la base de datos. Posterior a dicho análisis y obtención de estos niveles de inventario, se pudo ingresar estos datos al algoritmo basado en el modelo de enrutamiento del inventario IRP.

Este modelo necesita de otros datos que otorgados por la misma empresa los cuales son: el volumen de consumo de cada sucursal, localización geográfica de cada sucursal, tipos de vehículos que utilizan, costos por ruta por vehículo utilizado y la demanda histórica por sucursal. Con este modelo se obtiene un manejo del ruteo para el inventario más eficiente que el empleado en la situación actual, obteniendo menos viajes y, generando una mejor planificación maestra que permita un manejo del inventario continuo de una manera eficaz.

## **2.1 Técnicas de investigación**

Obtener los niveles de inventario para cada sucursal fue una labor compleja, ya que existen sucursales que tienen una capacidad muy baja, pero demandan mucho en más tiempo, frente a otras que tienen una gran capacidad y poca rotación de productos en varios días. Cabe recalcar que conocer la capacidad de cada sucursal fue imposible incluso para la propia empresa que nos otorga los datos, para lo cual fue necesario un análisis profundo del volumen histórico de demanda de cada sucursal y el consumo diario de esta.

El proyecto sigue un esquema de investigación descriptivo y cuantitativo, ya que el problema se centra en generar un algoritmo que permita saber cuándo poder enviar la mercancía a qué tiendas y por donde, reduciendo la probabilidad de desabastecimiento de estas. Se realiza un análisis sistemático de cada parte necesaria para ingresarla al algoritmo basado en el modelo antes mencionado, dichas partes se refieren a históricos de despacho, costos por tipo de vehículo utilizado, entre otros.

También se utilizan otros datos numéricos obtenidos por medio de técnicas de investigación a través de la web, como datos referenciales a los costos de los vehículos utilizados en el mercado.

La observación es otra técnica utilizada, para evidenciar los resultados de una mala planificación y un control de inventarios deficiente. Como es el caso de la situación actual en donde por medio de históricos en demanda se tiene un itinerario en donde se revisa constantemente el nivel de inventarios y se realizan los despachos conforme lo necesite la sucursal, siendo esta estrategia poco eficiente.

La investigación bibliográfica fue imprescindible para realizar todos los modelos y revisar la información ya realizada por otros autores. Por medio de estas consultas se pudo desarrollar el algoritmo con ciertas restricciones y así evaluar el valor de la solución.

## **2.2 Levantamiento de información**

Para la consecución de los objetivos del proyecto se realizó el respectivo levantamiento de información por dos medios: una visita técnica al centro de distribución

de la empresa y diversas entrevistas con el personal. Esta recopilación de información primaria surgió como necesidad de generar una visión detallada y realista de la situación actual del cliente en cuanto a los procesos que nos competen para la realización del proyecto de investigación.

A continuación, se especifican los principales hallazgos de información relevante con la problemática del proyecto: distribución. También se genera análisis de la situación actual de la empresa pues a partir de esto se compararán los resultados de nuestra propuesta para determinar su efecto en el proceso.

### **2.2.1 Visita técnica y entrevista**

Durante la visita técnica se recorrió la bodega de productos secos, se observó las distintas zonas de esta bodega como: zona de almacenamiento en estanterías selectivas, zona de picking, crossdocking, células de manufactura con personal empaquetando productos para las festividades navideñas, zona de sistema PTL, oficinas y zona de recepción y despacho de los productos.

Se pudo visualizar todo el proceso que realizan los operadores para llevar a cabo una orden de despacho a cualquier tienda. A continuación, se describe de manera breve este proceso: el día anterior se generan estas órdenes de reabastecimiento para la sucursal que llega a un valor mínimo en su inventario y en la madrugada por medio de un sistema de información estas órdenes se compilan. Al siguiente día el encargado de bodega luego de recibir órdenes de los encargados de la distribución genera instrucciones para que los operadores comiencen con los recorridos para la recolección de los productos para cada pedido que se despachará ese día.

Se emplea una estrategia de recolección multilocal, es decir; se agrupan varios locales para ahorrarse recorridos dejando atrás el despacho a ciegas empleado anteriormente.

En esta visita también se dio lugar a una entrevista con el encargado de proyectos de optimización enfocados en la optimización y mejora continua de los

procesos durante toda la cadena de suministro. En cuanto al proyecto mencionó que se requiere una mejor automatización en el envío de información.

En una entrevista posterior se mencionó que la frecuencia se trabaja con el modelo de reposición, se ve una frecuencia de despacho ya determinada con antelación y se realiza la solicitud para que empiece el proceso de recolección de productos para cada pedido mencionado anteriormente.

## **2.2.2 Análisis de información levantada: Situación actual**

Dado que el enfoque del proyecto está en mejorar los procesos de despacho, en reiteradas veces se preguntó cómo se generaba esto en profundidad dentro de la empresa. Las órdenes de reabastecimiento son generadas automáticamente cuando el inventario de cualquier sucursal llega a un mínimo determinado para cada tienda. Entonces aquí se puede realizar la pregunta *¿cómo la empresa responde a estas solicitudes de reabastecimiento?*

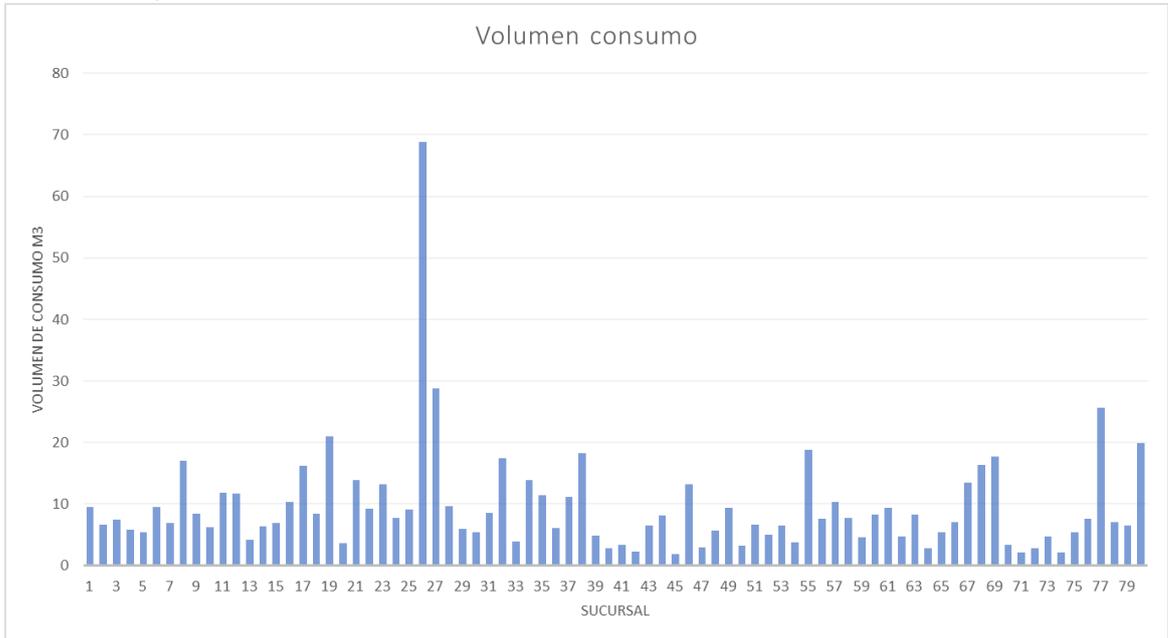
Para responder a esa pregunta se tiene una estrategia de despacho que es la usada actualmente por la empresa: modelo de reposición. Esta se refiere a revisar en un cronograma a cuál sucursal le toca diariamente y a partir de ese cronograma se atienden a las solicitudes para enviar los productos hacia las tiendas.

En ese contexto se generan ciertos inconvenientes como periodos ya sean mínimos de desabastecimiento en las sucursales o la subutilización de la flota de transporte que terceriza la empresa para realizar los viajes con los pedidos. Es notoria la necesidad de una mejora y optimización del proceso el cual es el fin de este proyecto de investigación.

### **2.2.2.1 Análisis estadístico**

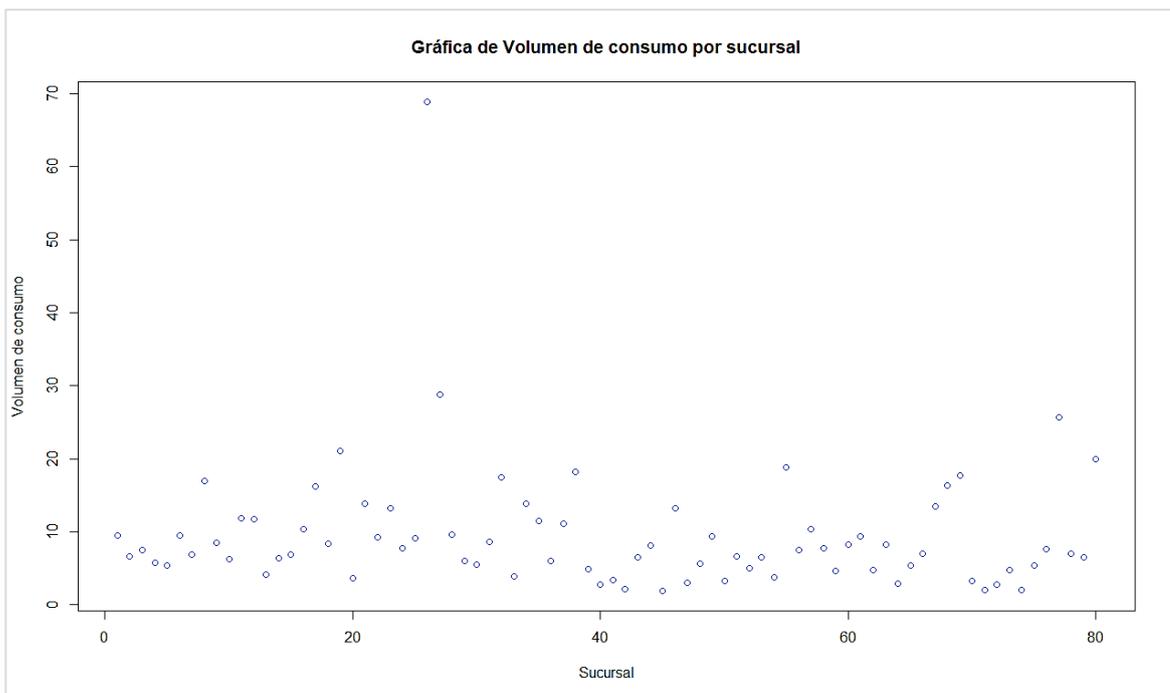
En este apartado se realizaron algunos gráficos estadísticos con el fin de resaltar algunas características de las sucursales. En la figura 2.1 se observa el volumen de consumo máximo calculado dentro de un periodo

de 11 meses para cada sucursal. La tienda 26 tiene el volumen de consumo mayor con un valor de  $68.8791 \text{ m}^3$ .



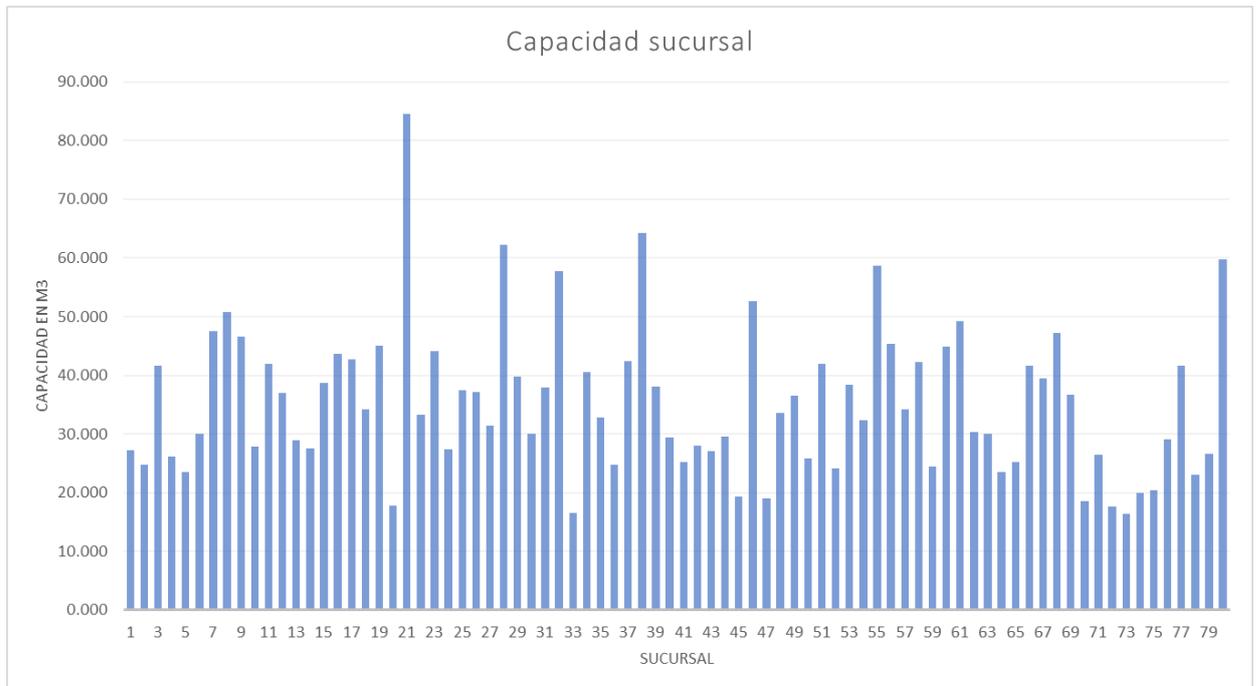
**Figura 2.1 Diagrama de Barras de consumo máximo de cada sucursal en 11 meses**  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.2 se tiene así mismo el volumen de consumo de cada sucursal en el periodo de 11 meses, pero en un diagrama de dispersión en el cual se puede observar de una manera más clara como los volúmenes de consumo de la mayoría de las tiendas se encuentra entre  $0$  y  $20 \text{ m}^3$ .



**Figura 2.2 Diagrama de Dispersión de consumo máximo de cada sucursal en 11 meses**  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.3 se tiene un diagrama de barras con la capacidad de cada una de las 80 tiendas, se puede visualizar que aquella que cuenta con una capacidad mayor es la sucursal 21.



**Figura 2.3 Diagrama de Barras de capacidad de cada sucursal**  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2.2 Detalle de costos

La empresa realiza una terciarización para el área del transporte por lo que se ha brindado una matriz con las tarifas que se cobran por viaje hacia cada sucursal y por cada tamaño de vehículo. En la tabla 2.6 se detalla la tarifa únicamente si el vehículo se dirige desde el CEDI hasta la sucursal respectiva como un viaje de un solo destino, pero existirán viajes con destinos múltiples con motivo de utilizar mejor los recursos y la capacidad de los vehículos.

Se ha creado una matriz 80 x 80 (tabla 2.2) del pago extra en que se incurría con los viajes hacia varias sucursales. Hay que recordar que es un servicio tercerizado por lo tanto los costos fijos y variables del transporte corre por cuenta de la empresa contratada. Entonces para calcular el valor a ser multiplicado por la matriz de distancias entre cada ubicación de las tiendas se consideró el consumo de diésel por km recorrido.

**Tabla 2.1 Costo de diésel por km recorrido**

Fuente: Elaboración propia

<b>Diesel</b>	USD/galón	\$ 1.74
<b>Rendimiento</b>	km/galón	35
Total x km extra recorrido		\$ 0.05

En la tabla 2.1 se consideró el valor actual en Ecuador del diésel y 35 km estándar que se recorren para consumir un galón, estos valores se dividieron entre ellos y se determinó el costo extra por km que fue multiplicado por cada km entre tiendas.

El proceso anterior dio como resultado la tabla 2.2 que es el valor extra que se pagaría por viajes entre sucursales, es decir; si de la tienda 202 se quisiera ir también a la 206, serían \$1.68 extras a la tarifa original mostrada en la tabla 2.7.

**Tabla 2.2 Costo de viaje entre sucursales (acortada)**

Fuente: Elaboración propia

	202	206	207	212	213	217	218	219	224	225	227	232	235	245	246	248	250
202	\$-	\$0.09	\$6.66	\$0.27	\$0.14	\$8.93	\$0.61	\$16.05	\$9.70	\$0.22	\$5.98	\$10.66	\$6.62	\$3.68	\$11.42	\$4.50	\$0.37
206	\$0.08	\$-	\$6.72	\$0.40	\$0.07	\$8.89	\$0.56	\$16.00	\$9.76	\$0.33	\$5.90	\$10.61	\$6.68	\$3.59	\$11.38	\$4.56	\$0.49
207	\$6.61	\$6.61	\$-	\$6.46	\$6.66	\$10.09	\$7.13	\$18.78	\$2.94	\$6.46	\$12.51	\$11.86	\$0.02	\$10.20	\$14.15	\$2.03	\$6.37
212	\$0.28	\$0.32	\$6.50	\$-	\$0.39	\$3.52	\$0.77	\$9.19	\$9.54	\$0.17	\$6.24	\$10.82	\$6.47	\$3.94	\$11.58	\$4.35	\$0.16
213	\$0.10	\$0.09	\$6.73	\$0.41	\$-	\$8.84	\$0.52	\$15.96	\$9.77	\$0.34	\$5.87	\$10.57	\$6.69	\$3.57	\$11.33	\$4.57	\$0.51
217	\$8.90	\$8.95	\$10.02	\$6.45	\$8.89	\$-	\$8.36	\$8.84	\$13.06	\$6.45	\$13.23	\$1.64	\$9.99	\$10.93	\$4.21	\$7.87	\$6.36
218	\$0.59	\$0.64	\$7.22	\$0.79	\$0.57	\$8.36	\$-	\$15.48	\$10.26	\$0.80	\$5.49	\$10.09	\$7.18	\$3.19	\$10.85	\$5.06	\$0.90
219	\$16.03	\$16.08	\$18.74	\$16.23	\$16.01	\$8.83	\$15.49	\$-	\$21.78	\$16.24	\$14.71	\$9.69	\$18.70	\$18.05	\$4.72	\$16.59	\$16.33
224	\$9.72	\$9.72	\$3.00	\$9.57	\$9.78	\$13.20	\$10.24	\$21.89	\$-	\$9.57	\$15.62	\$14.97	\$2.98	\$13.32	\$17.26	\$5.15	\$9.48
225	\$0.24	\$0.28	\$6.49	\$0.15	\$0.33	\$9.08	\$0.76	\$16.20	\$9.54	\$-	\$6.23	\$10.81	\$6.46	\$3.93	\$11.57	\$4.34	\$0.20
227	\$6.00	\$5.96	\$12.63	\$6.29	\$5.88	\$13.21	\$5.64	\$14.65	\$15.67	\$6.29	\$-	\$14.94	\$12.59	\$2.77	\$15.70	\$10.47	\$6.39
232	\$10.62	\$10.67	\$11.80	\$8.23	\$10.61	\$1.76	\$10.08	\$9.67	\$14.84	\$8.23	\$14.95	\$-	\$11.76	\$12.65	\$5.04	\$9.64	\$8.14
235	\$6.63	\$6.63	\$0.04	\$6.48	\$6.68	\$10.11	\$7.15	\$18.79	\$2.93	\$6.48	\$12.53	\$11.88	\$-	\$10.22	\$14.17	\$2.05	\$6.39
245	\$3.69	\$3.66	\$10.32	\$3.98	\$3.57	\$10.90	\$3.34	\$18.02	\$13.36	\$3.98	\$2.74	\$12.63	\$10.29	\$-	\$13.39	\$8.17	\$4.08
246	\$11.38	\$11.43	\$14.10	\$11.58	\$11.37	\$4.18	\$10.84	\$4.69	\$17.14	\$11.59	\$15.71	\$5.04	\$14.06	\$13.41	\$-	\$11.94	\$11.69
248	\$4.49	\$4.49	\$2.07	\$4.34	\$4.55	\$7.97	\$5.01	\$16.66	\$5.11	\$4.34	\$10.39	\$9.74	\$2.03	\$8.09	\$12.03	\$-	\$4.25
250	\$0.37	\$0.41	\$6.39	\$0.14	\$0.51	\$9.21	\$0.88	\$16.32	\$9.43	\$0.21	\$6.36	\$10.93	\$6.35	\$4.06	\$11.70	\$4.23	\$-

**Tabla 2.3 Matriz de Distancias entre sucursales en km (acortada)**

Fuente: Elaboración propia

	202	206	207	212	213	217	218	219	224	225	227	232	235	245	246	248	250
202	0	1.718102	133.1653	5.441793	2.754474	178.5818	12.12613	320.904	193.9809	4.457602	119.6252	213.1141	132.3962	73.59529	228.3912	90.00105	7.304158
206	1.683038	0	134.382	8.058486	1.310167	177.744	11.28833	320.0662	195.1976	6.612269	117.9071	212.2763	133.6129	71.87719	227.5534	91.21777	9.834508
207	132.1836	132.2118	0	129.1656	133.2481	201.7495	142.6164	375.5035	58.73327	129.147	250.1189	237.1621	0.417591	204.089	282.9906	40.67001	127.3524
212	5.676543	6.463598	130.0807	0	7.865792	70.39	15.38279	183.83	190.8963	3.458977	124.8374	216.3708	129.3116	78.80748	231.6479	86.91648	3.188543
213	1.92345	1.892499	134.6224	8.123001	0	176.783	10.32729	319.1052	195.438	6.852682	117.4119	211.3153	133.8533	71.38195	226.5924	91.45818	10.21347
217	178.0905	179.0679	200.4769	129.0257	177.7564	0	167.2455	176.7193	261.2924	129.0071	264.6274	32.71	199.7078	218.5974	84.20642	157.3126	127.2125
218	11.81961	12.79703	144.3828	15.81345	11.48545	167.2557	0	309.5779	205.1984	15.93947	109.7521	201.788	143.6137	63.72215	217.0651	101.2186	17.90391
219	320.5857	321.5631	374.8656	324.5795	320.2515	176.5592	309.7406	0	435.6812	324.7055	294.2187	193.7727	374.0965	361.0926	94.32997	331.7014	326.67
224	194.4617	194.4899	59.9239	191.4437	195.5262	264.0276	204.8945	437.7816	0	191.4251	312.397	299.4402	59.68627	266.3671	345.2687	102.9481	189.6305
225	4.83737	5.601069	129.8994	3.084125	6.637441	181.6158	15.16011	323.938	190.715	0	124.6148	216.1481	129.1303	78.5848	231.4252	86.7352	4.042562
227	119.9178	119.2703	252.6168	125.7055	117.5511	264.1866	112.8598	292.9144	313.4323	125.8315	0	298.719	251.8477	55.49939	313.996	209.4525	127.7959
232	212.4935	213.4709	235.9953	164.5441	212.1593	35.16737	201.6485	193.3852	296.8108	164.5255	299.0304	0	235.2262	253.0004	100.8723	192.831	162.731
235	132.5769	132.605	0.879189	129.5588	133.6414	202.1427	143.0096	375.8967	58.6727	129.5402	250.5121	237.5553	0	204.4822	283.3839	41.06325	127.7457
245	73.78227	73.13477	206.4812	79.56995	71.41553	218.0511	66.72431	360.3733	267.2968	79.69598	54.87682	252.5834	205.7121	0	267.8605	163.317	81.66042
246	227.6557	228.6331	281.9357	231.6496	227.3216	83.62924	216.8107	93.8012	342.7512	231.7756	314.1926	100.8428	281.1666	268.1626	0	238.7714	233.74
248	89.86004	89.88817	41.43192	86.84197	90.92454	159.4259	100.2928	333.1799	102.2475	86.82339	207.7953	194.8385	40.66283	161.7654	240.667	0	85.02883
250	7.364944	8.151998	127.8204	2.797146	10.17068	184.1434	17.68768	326.4656	188.636	4.255597	127.1423	218.6757	127.0513	81.11237	233.9528	84.65618	0

## 2.3 Recopilación de los datos

En este apartado se describirá la información brindada por la empresa para la consecución de los objetivos de este proyecto. Todos los datos numéricos fueron enviados en formato Excel luego de varias reuniones con el encargado de brindar soporte a los autores.

En la tabla 2.4 se tiene el detalle del volumen consumido por las 80 sucursales cada día desde el primero de noviembre del año 2021 hasta el 31 de octubre del presente año 2022, dando un periodo de 11 meses para el análisis y empleo de estos datos. En la tabla 2.3 también se muestran los valores de volumen despachado a cada sucursal estos valores se encuentran en unidades de metros cúbicos.

En la tabla se encuentran solamente los datos de tres días debido a la gran cantidad de valores que existen en la base de datos.

**Tabla 2.4 Volumen de consumo y despacho a cada sucursal en el periodo  
(Nov-2021 - Oct-2022)**

Fuente: Empresa comercializadora estudiada

FECHA_PARTICION	COD_SUCURSAL	VOLUMEN_CONSUMO	VOLUMEN_ENVIADO
20211101	443	0.0002	0.0024
20211101	279	0.0033	0
20211101	613	0.0025	0.0468
20211101	202	0.0007	0.0946
20211101	490	0	0.3
20211101	650	0.5181	0
20211101	638	1.2918	7.011
20211101	441	1.2449	9.3039
20211101	263	2.4346	8.4085
20211101	414	0.783	10.4157
20211101	446	1.4002	12.0401
20211101	206	1.1068	12.3937
20211101	495	1.0289	12.5514
20211101	610	4.6941	9.7355
20211101	473	4.2962	10.3554
20211101	431	2.5334	12.1291
20211101	436	1.3582	13.39
20211101	653	2.7675	13.3211
20211101	434	1.662	14.5465
20211101	455	3.0515	14.0973
20211101	607	2.5061	14.733
20211101	235	1.4675	15.8183
20211101	451	2.0007	15.7337
20211101	411	4.9461	12.8042
20211101	245	2.2523	15.5057
20211101	483	2.2275	17.0325
20211101	429	1.6551	17.7585
20211101	447	2.3634	17.1488

20211101	475	3.8827	15.8067
20211101	460	2.9524	19.3641
20211101	246	4.2975	18.992
20211101	648	3.9474	20.1892
20211101	421	5.2012	19.1807
20211101	487	4.6949	20.0515
20211101	248	3.7654	22.0579
20211101	452	2.934	22.9761
20211101	262	6.3012	23.2372
20211101	219	6.3645	24.2364
20211101	253	3.6507	27.2619
20211101	484	3.4526	28.4361
20211102	621	0.0012	0
20211102	429	0.0029	0
20211102	653	0.0117	0
20211102	607	0.1001	0
20211102	279	0	1.3
20211102	213	1.4609	10.3095
20211102	212	2.0951	9.9253
20211102	256	1.2304	10.8024
20211102	403	2.0489	10.1316
20211102	639	1.7424	10.842
20211102	642	1.3503	11.6853
20211102	202	2.4067	10.8875
20211102	224	2.6028	11.8268
20211102	419	2.5167	12.37
20211102	440	3.032	12.0645
20211102	473	4.9257	11.0043
20211102	643	1.8498	14.3283
20211102	453	2.1931	15.2075
20211102	225	2.6132	15.8486
20211102	288	4.421	15.0522
20211102	217	2.5261	16.959
20211102	218	3.7302	16.1883
20211102	299	2.633	18.2589
20211102	613	4.5104	17.5153
20211102	490	2.5121	20.2525
20211102	608	4.5288	18.6423
20211102	232	4.0303	20.4205
20211102	227	4.3613	20.504
20211102	207	3.8537	21.2842
20211102	476	4.6888	20.7451
20211102	277	4.1218	26.8171
20211102	290	5.4371	26.7608
20211102	422	4.6092	29.4714
20211102	264	5.6961	30.4645
20211102	443	8.1409	30.9568
20211103	447	0.0012	0
20211103	235	0.0018	0
20211103	453	0.0021	0
20211103	262	0.0014	0.002
20211103	483	0.004	0
20211103	490	0.0084	0
20211103	436	0.0084	0
20211103	213	0.0084	0
20211103	224	0.012	0
20211103	277	0.0144	0
20211103	648	0.0067	0.01
20211103	264	0.0168	0
20211103	473	0	0.02

20211103	288	0.0263	0
20211103	290	0.042	0
20211103	460	0.0051	0.0459
20211103	499	0.4147	6.4143
20211103	621	1.3326	8.5172
20211103	431	2.3287	9.8353
20211103	253	2.2185	10.3158
20211103	452	2.2847	10.3536
20211103	455	2.0055	10.8643
20211103	653	2.2893	11.0767
20211103	488	1.8033	11.7926

En la tabla 2.5 se visualizan las especificaciones de los vehículos que tercerizan para realizar los despachos hacia cada sucursal. Son un total de 31 vehículos de distintos tamaños: mula, grande y mediano. También se especifica la capacidad de cada vehículo en toneladas y el año de adquisición de este.

**Tabla 2.5 Especificaciones de los vehículos usados para distribución**

Fuente: Empresa comercializadora estudiada

CD	ID_PLACA	CONDICIONES	TONELAJE	AÑO
200	PLACA_001	GRANDE	8.06	2020
200	PLACA_002	GRANDE	9.13	2020
200	PLACA_003	GRANDE	9.13	2018
200	PLACA_004	GRANDE	9.13	2016
200	PLACA_005	GRANDE	9.13	2014
200	PLACA_006	GRANDE	9.13	2020
200	PLACA_007	GRANDE	9.13	2007
200	PLACA_008	GRANDE	9.13	2017
200	PLACA_009	GRANDE	9.13	2020
200	PLACA_010	GRANDE	9.13	2017
200	PLACA_011	GRANDE	9.18	2019
200	PLACA_012	GRANDE	10.00	2020
200	PLACA_013	GRANDE	10.46	2017
200	PLACA_014	GRANDE	10.48	2016
200	PLACA_015	GRANDE	10.49	2020
200	PLACA_016	GRANDE	10.49	2020
200	PLACA_017	GRANDE	10.49	2013
200	PLACA_018	GRANDE	10.49	2011
200	PLACA_019	GRANDE	10.49	2018
200	PLACA_020	GRANDE	11.99	2011
200	PLACA_021	GRANDE	11.99	2011
200	PLACA_022	GRANDE	11.99	2015
200	PLACA_023	GRANDE	12.65	2019
200	PLACA_024	GRANDE	12.70	2012
200	PLACA_025	MEDIANO	7.34	2008
200	PLACA_026	MEDIANO	7.48	2016
200	PLACA_027	MEDIANO	7.49	2018
200	PLACA_028	MEDIANO	7.85	2020
200	PLACA_029	MULA	14.52	2016
200	PLACA_030	MULA	17.52	2015
200	PLACA_031	MULA	17.64	2020

En la tabla 2.6 se observa la latitud y longitud de las 80 sucursales de interés para el presente proyecto, junto con el código y el nombre identificador. Estos datos fueron de gran importancia para calcular las distancias entre tiendas y graficarlas en un mapa real.

**Tabla 2.6 Localización de sucursales**

Fuente: Empresa comercializadora estudiada

<i>COD_BODEGA</i>	<i>COD_SUCURSAL</i>	<i>DESC_SUCURSAL</i>	<i>LATITUD</i>	<i>LONGITUD</i>
200	202	QUITO	-0.2208777	-78.510971
200	206	ALAMEDA	-0.2158889	-78.502667
200	207	AMBATO	-1.2403275	-78.624716
200	212	ATAHUALPA	-0.2508461	-78.537349
200	213	10 DE AGOSTO	-0.208263	-78.500229
200	217	SANTO DOMINGO CENTRO	-0.2540618	-79.169746
200	218	PARQUE INGLES	-0.1336947	-78.498469
200	219	ESMERALDAS CENTRO	0.9678898	-79.652148
200	224	RIOBAMBA CENTRO	-1.6726601	-78.650158
200	225	MALDONADO	-0.2498604	-78.520834
200	227	IBARRA	0.3460456	-78.120676
200	232	EL CARMEN	-0.2723093	-79.46308
200	235	AMBATO II	-1.239609	-78.627284
200	245	CAYAMBE	0.041835	-78.143157
200	246	QUININDE	0.3334588	-79.472038
200	248	LATACUNGA	-0.9302258	-78.617211
200	250	SOLANDA	-0.2681766	-78.538026
200	253	OTAVALO	0.2269766	-78.263858
200	255	COTACOLLAO	-0.1145272	-78.495726
200	256	ESMERALDAS PARQUE INF	0.96406	-79.65291
200	262	PUYO	-1.4856311	-77.998029
200	263	LA CONCORDIA	0.006155	-79.397816
200	264	SANGOLQUI	-0.3287407	-78.45036
200	265	MACHACHI	-0.5138667	-78.568888
200	277	PEDERNALES	0.07026	-80.053586
200	279	MITAD DEL MUNDO	-0.008604	-78.445238
200	288	COMITE DEL PUEBLO	-0.12338	-78.46717
200	290	CONOCOTO	-0.2934745	-78.478647
200	295	POMASQUI	-0.054199	-78.455361
200	299	TOACAZO	-0.260872	-78.545901
200	403	GUAJALO	-0.2846488	-78.536405
200	411	TENA	-0.9996822	-77.811971
200	414	QUITO SUCRE	-0.2223082	-78.512646
200	416	ATACAMES	0.8691486	-79.849238
200	417	CALDERON	-0.1027329	-78.42321
200	419	ATUNTAQUI	0.3313899	-78.217454
200	421	ESMERALDAS CODESA	0.9325863	-79.672054
200	422	MACAS	-2.3052013	-78.121131
200	426	PELILEO	-1.3295486	-78.541627
200	429	SALCEDO	-1.0429488	-78.590437
200	431	COTACACHI	0.2988998	-78.266745
200	434	CUSUBAMBA	-0.2734386	-78.546416
200	436	SUPER LABORAL	-1.2358105	-78.6232
200	440	GUAMANI	-0.3185969	-78.549493
200	441	AJAVI	-0.2570297	-78.542955
200	443	COCA CENTRO	-0.4699109	-76.98548
200	446	TUMBACO	-0.2138039	-78.405603
200	447	PILLARO	-1.1725009	-78.54246
200	450	6 DE DICIEMBRE	-0.1563037	-78.476832
200	451	ECUATORIANA	-0.3111166	-78.564582

200	452	CUMBAYA	-0.2016362	-78.432025
200	453	ESMERALDAS COLON	0.9621678	-79.653688
200	455	SANTO DOMINGO INDIO COLORADO	-0.2540473	-79.17705
200	460	MARTHA BUCARAM UIO	-0.2989792	-78.565407
200	473	LA LUZ	-0.1502558	-78.482775
200	475	RIVERMALL	-0.3243746	-78.448964
200	476	CARAPUNGO	-0.1077693	-78.453114
200	480	COCA AV 9 DE OCTUBRE	-0.4499662	-76.996948
200	483	ARCHIDONA	-0.9102234	-77.807517
200	484	CHILLOGALLO	-0.2758066	-78.553287
200	487	LAGO AGRIO	0.0825393	-76.882358
200	488	SAN ISIDRO	-0.1471055	-78.465059
200	490	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	0.0228954	-78.893441
200	495	PUJILI	-0.9540699	-78.696868
200	499	PLATAFORMA GUBERNAMENTAL	-0.1745589	-78.48507
200	607	SHUSHUFINDI	-0.1881145	-76.647177
200	608	PIFO	-0.2250542	-78.339899
200	610	SUPER TUMBACO	-0.2154476	-78.404457
200	613	SAN JOSE DE GUAMANI	-0.3272894	-78.55022
200	621	PUEBLO SOLO PUEBLO	-0.3070842	-78.549324
200	623	LA CONDAMINE	-1.672906	-78.655345
200	638	LA UNION	0.134379	-79.404823
200	639	SANTO DOMINGO JUAN EULOGIO	-0.232868	-79.181485
200	642	SANTO DOMINGO AV QUEVEDO	-0.277316	-79.203394
200	643	SANTO DOMINGO SANTA MARTHA	-0.268798	-79.182747
200	648	TOLITA	0.918898	-79.682545
200	650	TONSUPA	0.880589	-79.814899
200	653	SAN JOSE DE MORAN	-0.088421	-78.439327
200	691	GUAYLLABAMBA	-0.057722	-78.345212
200	694	LA JOYA DE LOS SACHAS	-0.29915	-76.8561

En la tabla 2.7 se detalla la tarifa por viaje que cobra la empresa tercerizadora de transporte que contrató la empresa. Se puede visualizar las tarifas de viaje a cada sucursal y está dividida por tamaño del vehículo.

**Tabla 2.7 Tarifa de transporte por sucursal y tamaño de vehículo**

Fuente: Empresa comercializadora estudiada

COD_SUCURSAL	GRANDE	MEDIANO	MULA
202	\$ 71.00	\$ 59.00	\$ 78.00
206	\$ 71.00	\$ 59.00	\$ 79.00
207	\$ 217.00	\$ 183.00	\$ 237.00
212	\$ 73.00	\$ 61.00	\$ 80.00
213	\$ 71.00	\$ 59.00	\$ 78.00
217	\$ 157.00	\$ 134.00	\$ 172.00
218	\$ 64.00	\$ 53.00	\$ 71.00
219	\$ 308.00	\$ 265.00	\$ 339.00
224	\$ 295.00	\$ 250.00	\$ 324.00
225	\$ 77.00	\$ 67.00	\$ 85.00
227	\$ 197.00	\$ 184.00	\$ 215.00
232	\$ 195.00	\$ 166.00	\$ 213.00
235	\$ 216.00	\$ 182.00	\$ 236.00
245	\$ 110.00	\$ 91.00	\$ 120.00
246	\$ 208.00	\$ 178.00	\$ 230.00
248	\$ 156.00	\$ 129.00	\$ 171.00
250	\$ 73.00	\$ 63.00	\$ 80.00
253	\$ 140.00	\$ 113.00	\$ 152.00
255	\$ 51.00	\$ 46.00	\$ 59.00
256	\$ 308.00	\$ 264.00	\$ 338.00

262	\$ 372.00	\$ 310.00	\$ 409.00
263	\$ 163.00	\$ 139.00	\$ 179.00
264	\$ 85.00	\$ 75.00	\$ 94.00
265	\$ 104.00	\$ 90.00	\$ 114.00
277	\$ 265.00	\$ 227.00	\$ 291.00
279	\$ 51.00	\$ 42.00	\$ 56.00
288	\$ 58.00	\$ 48.00	\$ 65.00
290	\$ 76.00	\$ 66.00	\$ 83.00
295	\$ 52.00	\$ 43.00	\$ 57.00
299	\$ 70.00	\$ 60.00	\$ 78.00
403	\$ 77.00	\$ 68.00	\$ 84.00
411	\$ 296.00	\$ 244.00	\$ 326.00
414	\$ 70.00	\$ 59.00	\$ 78.00
416	\$ 326.00	\$ 279.00	\$ 357.00
417	\$ 58.00	\$ 47.00	\$ 63.00
419	\$ 164.00	\$ 136.00	\$ 180.00
421	\$ 300.00	\$ 258.00	\$ 329.00
422	\$ 547.00	\$ 453.00	\$ 600.00
426	\$ 240.00	\$ 204.00	\$ 263.00
429	\$ 184.00	\$ 155.00	\$ 201.00
431	\$ 163.00	\$ 135.00	\$ 179.00
434	\$ 75.00	\$ 65.00	\$ 82.00
436	\$ 216.00	\$ 182.00	\$ 236.00
440	\$ 93.00	\$ 79.00	\$ 103.00
441	\$ 70.00	\$ 60.00	\$ 78.00
443	\$ 456.00	\$ 399.00	\$ 501.00
446	\$ 80.00	\$ 71.00	\$ 87.00
447	\$ 218.00	\$ 184.00	\$ 238.00
450	\$ 61.00	\$ 52.00	\$ 68.00
451	\$ 85.00	\$ 73.00	\$ 93.00
452	\$ 77.00	\$ 68.00	\$ 84.00
453	\$ 307.00	\$ 264.00	\$ 337.00
455	\$ 154.00	\$ 131.00	\$ 169.00
460	\$ 77.00	\$ 69.00	\$ 84.00
473	\$ 58.00	\$ 47.00	\$ 64.00
475	\$ 85.00	\$ 74.00	\$ 94.00
476	\$ 53.00	\$ 44.00	\$ 60.00
480	\$ 456.00	\$ 399.00	\$ 501.00
483	\$ 282.00	\$ 232.00	\$ 310.00
484	\$ 80.00	\$ 70.00	\$ 88.00
487	\$ 442.00	\$ 386.00	\$ 485.00
488	\$ 62.00	\$ 51.00	\$ 68.00
490	\$ 93.00	\$ 81.00	\$ 102.00
495	\$ 137.00	\$ 109.00	\$ 150.00
499	\$ 58.00	\$ 49.00	\$ 66.00
607	\$ 519.00	\$ 454.00	\$ 569.00
608	\$ 89.00	\$ 79.00	\$ 98.00
610	\$ 80.00	\$ 71.00	\$ 87.00
613	\$ 93.00	\$ 79.00	\$ 103.00
621	\$ 94.00	\$ 79.00	\$ 103.00
623	\$ 295.00	\$ 250.00	\$ 324.00
638	\$ 182.00	\$ 155.00	\$ 199.00
639	\$ 155.00	\$ 132.00	\$ 170.00
642	\$ 155.00	\$ 132.00	\$ 170.00
643	\$ 155.00	\$ 132.00	\$ 170.00
648	\$ 306.00	\$ 262.00	\$ 336.00
650	\$ 322.00	\$ 276.00	\$ 353.00
653	\$ 48.00	\$ 41.00	\$ 56.00
691	\$ 75.00	\$ 67.00	\$ 82.00
694	\$ 523.00	\$ 458.00	\$ 574.00

## 2.4 Descripción de los modelos

La realización de un algoritmo que permita obtener una planificación efectiva del manejo del inventario y reposicionamiento de este en cada sucursal además del ruteo para cada una de ellas necesitó de dos modelos para su diseño. El primer modelo de estadística básica permitió establecer la posición geográfica de cada sucursal y del centro de distribución, el inventario inicial de cada sucursal, la capacidad máxima de almacenamiento de cada sucursal, el nivel de inventario mínimo de seguridad para cada sucursal, el consumo diario de cada sucursal.

El segundo modelo utiliza el nivel de inventario mínimo de cada sucursal dentro de sus parámetros para poder decidir a cuáles sucursales entregar en un periodo de tiempo. Dicho modelo de ruteo del inventario IRP gestiona la localización y la demanda de cada sucursal para responder a las interrogantes de ¿Cómo entregar?, ¿Cuándo entregar? y ¿A quién entregar?

### 2.4.1 Modelo de estadística básica

Este modelo comenzó con el análisis descriptivo de la data, que fue proporcionada por la industria, por temas de políticas internas y de rendimiento en sus procesos de recolección de esta información, presentaron los datos de la siguiente manera como se observa en la siguiente figura:

	A	B	C	D	E
1	fecha_particion	cod_sucursal	volumen_consumo	volumen_enviado	
5	20211101	202	0.0007	0.0946	
53	20211102	202	2.4067	10.8875	
180	20211104	202	2.2514	12.4069	
307	20211107	202	3.4896	21.3172	
386	20211109	202	2.0489	17.9436	
412	20211110	202	0	0.3026	
461	20211111	202	1.8135	14.8071	
597	20211114	202	3.6078	22.0442	
688	20211116	202	5.9274	17.0021	
769	20211118	202	4.1023	23.5039	
859	20211120	202	4.5926	19.3657	
953	20211122	202	5.9047	16.7952	
1024	20211124	202	5.4595	25.6463	
1086	20211126	202	3.0426	11.3536	
1137	20211127	202	3.9218	13.1563	
1173	20211128	202	0	0.04	
1238	20211129	202	2.5524	16.3952	
1308	20211201	202	2.6366	15.5123	
1401	20211203	202	2.9528	17.8001	
1448	20211204	202	1.9271	12.334	

Figura 2.4 Volumen por sucursal en 11 meses

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.4 se presenta los primeros 20 datos de una de las sucursales con código 202 manejado así por parte de la industria. Estos datos corresponden a la fecha en que se realizó el despacho, el código de la sucursal, el volumen de consumo hasta ese día desde la última entrega, y el volumen enviado o despachado en esa entrega. Los datos corresponden a anotaciones diarias de todas las sucursales durante un año, generando así una base de datos de 15280 filas y 4 columnas.

De esta manera se decidió establecer al histórico de volumen despachado máximo de todo el periodo de tiempo proporcionado como la capacidad máxima que puede tener de abastecimiento cada sucursal, al volumen consumido máximo como la cantidad de volumen que se consume diaria y adicionalmente el 20% de la capacidad máxima de cada sucursal como el nivel de inventario mínimo para cada una de las mismas. Estos datos se presentan en la siguiente tabla 2.8

**Tabla 2.8 Parámetros para el modelo**

Fuente: Elaboración propia

n	x	y	inventario inicial	capacidad máx	inventario mínimo irp	consumo diario
1	-0.2208777	-78.5109713	3.777764745	27.1884	5.43768	9.5054
2	-0.2158889	-78.5026674	18.68833708	24.7421	4.94842	6.6044
3	-1.2403275	-78.624716	20.17066663	41.7073	8.34146	7.4919
4	-0.2508461	-78.5373485	16.64787642	26.1539	5.23078	5.8368
5	-0.208263	-78.500229	24.09783494	23.4516	4.69032	5.4096
6	-0.2540618	-79.1697461	17.72182058	30.046	6.0092	9.5465
7	-0.1336947	-78.4984688	11.69398874	47.4609	9.49218	6.9185
8	0.9678898	-79.6521477	35.33681973	50.7508	10.15016	16.9931
9	-1.6726601	-78.6501579	10.70622825	46.5682	9.31364	8.4588
10	-0.2498604	-78.5208344	16.82070323	27.8412	5.56824	6.2241
11	0.3460456	-78.1206759	13.56281123	42.0232	8.40464	11.8486
12	-0.2723093	-79.4630799	28.19462119	36.9548	7.39096	11.7593
13	-1.239609	-78.6272838	10.22225789	28.9736	5.79472	4.1972
14	0.041835	-78.143157	2.810944652	27.5241	5.50482	6.4265
15	0.3334588	-79.4720375	29.93359345	38.6518	7.73036	6.9018
16	-0.9302258	-78.6172105	11.8057825	43.6671	8.73342	10.4046
17	-0.2681766	-78.5380255	29.18241042	42.5274	8.50548	16.2206
18	0.2269766	-78.2638575	25.58219816	34.1394	6.82788	8.4139
19	-0.1145272	-78.4957257	10.58132443	45.0783	9.01566	21.032
20	0.96406	-79.65291	31.58729198	17.8055	3.5611	3.6589
21	-1.4856311	-77.9980294	9.636214443	84.6175	16.9235	13.8893
22	0.006155	-79.397816	27.54263325	33.2476	6.64952	9.2841
23	-0.3287407	-78.4503602	19.433363	44.1694	8.83388	13.187
24	-0.5138667	-78.5688884	10.37119511	27.4589	5.49178	7.7434
25	0.07026	-80.053586	16.2907237	37.4606	7.49212	9.1579
26	-0.008604	-78.445238	22.38081326	37.1438	7.42876	13.8791
27	-0.12338	-78.46717	11.60643198	31.3497	6.26994	28.8092
28	-0.2934745	-78.4786467	5.734455548	62.2834	12.45668	9.6862
29	-0.054199	-78.455361	11.64228099	39.7199	7.94398	6.0302
30	-0.260872	-78.5459005	7.927850657	29.9937	5.99874	5.4848
31	-0.2846488	-78.5364049	8.19656299	37.9923	7.59846	8.5948

32	-0.9996822	-77.8119714	17.26927438	57.7082	11.54164	17.4089
33	-0.2223082	-78.5126458	15.91691566	16.4951	3.29902	3.908
34	0.8691486	-79.8492377	14.87451269	40.545	8.109	13.8723
35	-0.1027329	-78.42321	21.50336108	32.8813	6.57626	11.436
36	0.3313899	-78.2174538	17.48093035	24.6856	4.93712	6.0625
37	0.9325863	-79.6720536	26.22350838	42.4488	8.48976	11.157
38	-2.3052013	-78.1211311	11.90698515	64.323	12.8646	18.2766
39	-1.3295486	-78.5416273	10.09775169	38.1016	7.62032	4.938
40	-1.0429488	-78.5904368	9.345072123	29.4183	5.88366	2.7828
41	0.2988998	-78.2667445	21.33149847	25.222	5.0444	3.4026
42	-0.2734386	-78.5464162	5.389283239	28.0046	5.60092	2.2289
43	-1.2358105	-78.6231995	3.005158205	27.0073	5.40146	6.5772
44	-0.3185969	-78.5494928	13.62386998	29.5127	5.90254	8.1617
45	-0.2570297	-78.5429546	4.713991624	19.3624	3.87248	1.913
46	-0.4699109	-76.9854801	26.75243033	52.6513	10.53026	13.2421
47	-0.2138039	-78.4056027	11.92996979	19.0431	3.80862	3.0144
48	-1.1725009	-78.5424602	8.848901563	33.6317	6.72634	5.642
49	-0.1563037	-78.4768323	11.21851811	36.4687	7.29374	9.3451
50	-0.3111166	-78.5645823	14.70306823	25.856	5.1712	3.294
51	-0.2016362	-78.4320251	9.352472699	41.914	8.3828	6.6532
52	0.9621678	-79.6536879	24.87355707	24.1528	4.83056	5.014
53	-0.2540473	-79.1770496	14.19390223	38.3139	7.66278	6.4875
54	-0.2989792	-78.565407	11.97390029	32.2945	6.4589	3.8258
55	-0.1502558	-78.4827747	17.00279727	58.704	11.7408	18.8199
56	-0.3243746	-78.4489637	10.8861084	45.4264	9.08528	7.5751
57	-0.1077693	-78.4531141	14.0938337	34.2041	6.84082	10.3402
58	-0.4499662	-76.9969479	12.23350765	42.3163	8.46326	7.7758
59	-0.9102234	-77.807517	13.26881976	24.4841	4.89682	4.6275
60	-0.2758066	-78.5532874	10.16174986	44.936	8.9872	8.2311
61	0.0825393	-76.8823582	7.413406971	49.2531	9.85062	9.3393
62	-0.1471055	-78.4650592	14.99268401	30.3829	6.07658	4.7773
63	0.0228954	-78.893441	13.54074819	30.0672	6.01344	8.2785
64	-0.9540699	-78.6968678	3.177894702	23.5323	4.70646	2.8639
65	-0.1745589	-78.4850696	7.869873943	25.2292	5.04584	5.4082
66	-0.1881145	-76.6471774	17.36964688	41.7025	8.3405	7.0442
67	-0.2250542	-78.3398994	24.65899309	39.4165	7.8833	13.5078
68	-0.2154476	-78.4044566	27.17821428	47.2915	9.4583	16.3692
69	-0.3272894	-78.5502203	0.54080706	36.6487	7.32974	17.7684
70	-0.3070842	-78.5493243	14.2180627	18.5349	3.70698	3.3367
71	-1.672906	-78.655345	5.488154697	26.3927	5.27854	2.0863
72	0.134379	-79.404823	3.968376068	17.6675	3.5335	2.8023
73	-0.232868	-79.181485	15.09648247	16.3302	3.26604	4.7271
74	-0.277316	-79.203394	14.11595392	20.0109	4.00218	2.0829
75	-0.268798	-79.182747	2.671675054	20.4571	4.09142	5.4162
76	0.918898	-79.682545	23.20441082	29.0734	5.81468	7.6071
77	0.880589	-79.814899	29.9449971	41.6148	8.32296	25.629
78	-0.088421	-78.439327	7.891168739	23.0856	4.61712	7.0576
79	-0.057722	-78.345212	17.01853842	26.6838	5.33676	6.4911
80	-0.29915	-76.8561	13.55452281	59.8151	11.96302	19.9468

El establecimiento de los parámetros mencionados, quedaron establecidos en base a políticas internas de la compañía.

## 2.4.2 Modelo IRP

El modelo del IRP se describe de la siguiente manera, se tiene un centro de distribución que sirve a las sucursales que están dispersas de manera geográfica en un área específica. Existe un conjunto de sucursales que se los denomina como  $N = \{0,1,2, \dots 80\}$  donde  $n$  representa el número total de sucursales. Se tiene además una flota de camiones con una capacidad  $Q$ . Se tiene un inventario inicial en el centro de distribución  $I_0^0$  y una matriz de costos fijos por transporte desde el centro de distribución y entre las sucursales.

### Índices

- $i$ : Sucursales
- $v$ : Vehículos

### Parámetros

- $P_i$ : Ganancia por unidad de carga
- $q_{iv}$ : Cantidad de carga  $i$  enviada en un camión  $v$
- $C_{ijv}$ : Matriz de costos
- $Q_{MNi}$ : Capacidad mínima de almacenamiento en bodega de sucursal
- $Q_{MXi}$ : Capacidad máxima de almacenamiento en bodega de sucursal
- $l_{iv}$ : Carga en camión  $v$  luego de despachar en un nodo  $i$
- $V_{CAPv}$ : Capacidad de camiones

### Variables

- $X_{ijv}$ : Variable binaria de decisión
- $q_{iv}$ : Cantidad de carga  $i$  enviada en un camión  $v$
- $l_{iv}$ : Carga en camión  $v$  luego de despachar en un nodo  $i$

### Función Objetivo:

La función objetivo busca maximizar el beneficio de la operación de distribución.

$$MaxZ = \left[ \sum_{v \in V} \sum_{i \in N} P_i q_{iv} - \sum_{v \in V} \sum_{(i,j) \in Av} C_{ijv} X_{ijv} \right]$$

El modelo está sujeto a 7 restricciones que se presentan a continuación:

1. **Restricción 1:** Asegura que toda la carga sea despachada. (todo lo que sale de un nodo sea igual a 1, a parte el primer nodo no fue tomado en cuenta ya que es el CEDI)

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in N_v} X_{ijv} = 1, \forall i \in N_p$$

2. **Restricción 2:** Flujo en la ruta del camión v. (cada nodo debe ser visitado por un solo vehículo)

$$\sum_{j \in N_{pv} \cup \{d(v)\}} X_{o(v)jv} = 1, \forall v \in V$$

3. **Restricción 3:** Restricción de capacidad.

$$\sum_{i \in N_v} X_{ijv} - \sum_{i \in N_v} X_{ijv} = 0, \forall v \in V, j \in N_v \setminus \{o(v), d(v)\}$$

4. **Restricción 4:** Relación entre las variables binarias de flujo y la carga del camión entre cada sucursal.

$$X_{ijv}(l_{iv} + q_{jv} - l_{jv}) = 0, \forall v \in V, (i, j) \in A_v | j \in N_{pv}$$

5. **Restricción 5:** Restricción de capacidad. (Mínimo y máximo de almacenamiento en sucursal)

$$\sum_{j \in N_v} Q_{MNi} X_{ijv} \leq q_{iv} \leq \sum_{j \in N_n} Q_{MXi} X_{ijv}, \forall v \in V, i \in N_{pv}$$

6. **Restricción 6:** Camión regresa vacío al CEDI

$$l_{o(v)v} = 0, \forall v \in V$$

7. **Restricción 7:** Elegir cuál será esa carga después de visitar a cada nodo.

$$q_{iv} \leq l_{iv} \leq \sum_{j \in N_v} V_{capv} X_{ijv}, \forall v \in V, i \in N_{pv}$$

## **2.5 Uso de software**

Para este trabajo investigativo se utilizó el software de Microsoft Excel, el cual nos ha permitido realizar las operaciones matemáticas y estadísticas que se necesitaron para aplicar las diferentes técnicas y modelos que incluye el proyecto. Se pueden utilizar las tablas dinámicas, al tener una gran cantidad de información ya que se hace más fácil manipular y realizar los cálculos con estas tablas.

También se empleó Python que es un lenguaje de programación multiplataforma y de código abierto que puede utilizarse tanto para desarrollo web, creación de software y procesamiento de datos, entre muchos otros propósitos. Esta versatilidad y facilidad para aprenderlo lo han convertido en el lenguaje de programación más popular del mundo, según el índice PYPL.

Otro de los softwares utilizados durante la solución del problema fue GAMS (Sistema General de Modelado Algebraico) que está diseñado específicamente para suplir dos necesidades: modelar problemas de optimización tanto lineales, no lineales y mixtos, y realizar programación matemática. Es especialmente útil para solucionar problemas que sean grandes y complejos, permite construir modelos de gran tamaño que se pueden adaptar rápidamente a nuevas situaciones.

Finalmente, se hizo uso de Wolfram para realizar los gráficos de las rutas por cada clúster y día de la semana en un mapa real con la intención de una mejor visualización de las soluciones.

## **2.6 Consideraciones legales y éticas**

El Pleno de la Asamblea Constituyente del Ecuador expidió el Mandato 8 con fecha 30 de abril del 2008, el cual en su Artículo 1., elimina y prohíbe la tercerización e intermediación laboral.

### **MANDATO CONSTITUYENTE No. 8**

Art. 1.- “Se elimina y prohíbe la tercerización e intermediación laboral y cualquier forma de precarización de las relaciones de trabajo en las actividades a las que se dedique la empresa o empleador. La relación laboral será directa y bilateral entre trabajador y empleador.”

Art. 3.- “Se podrán celebrar contratos con personas naturales o jurídicas autorizadas como prestadores de actividades complementarias por el Ministerio de Trabajo y Empleo, cuyo objeto exclusivo sea la realización de actividades complementarias de: vigilancia, seguridad, alimentación, mensajería y limpieza, ajenas a las labores propias o habituales del proceso productivo de la usuaria.”

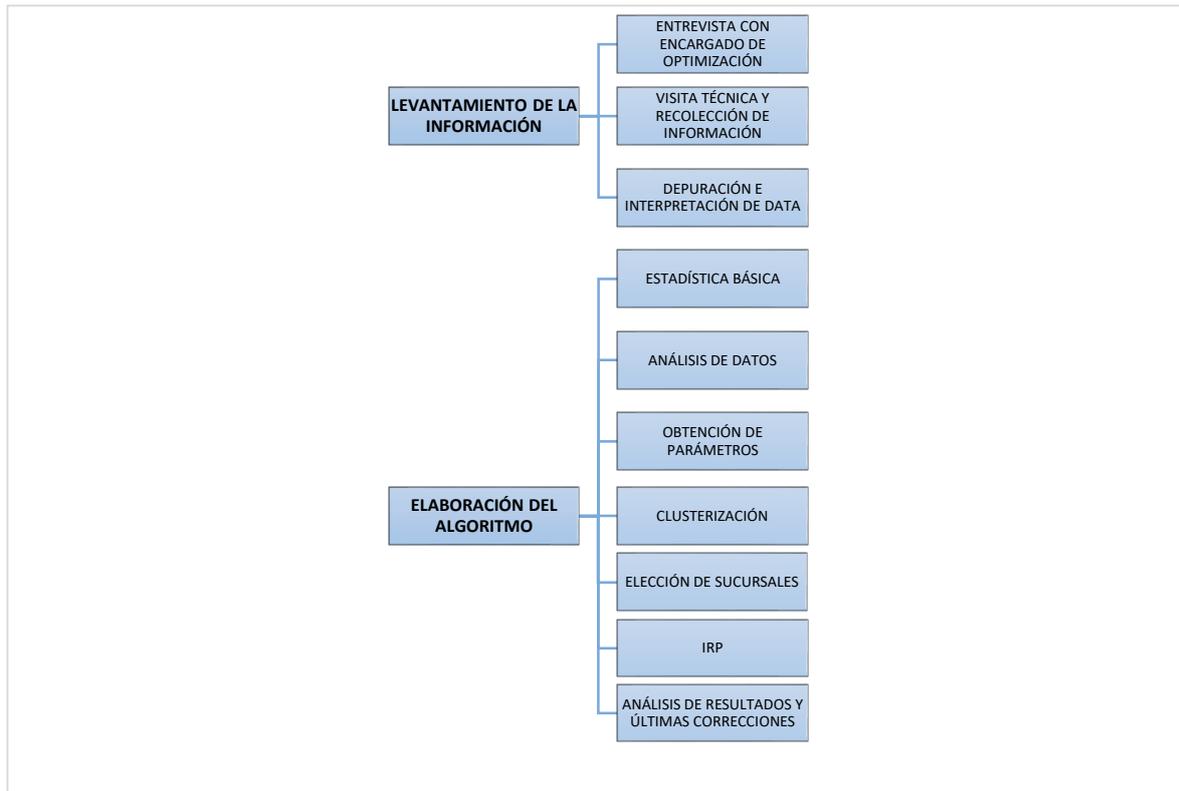
Las empresas que se denominaban tercerizadoras, con la vigencia del Mandato constituyente No.8 pasaron a denominarse prestadores de actividades complementarias por el Ministerio de Trabajo y Empleo.

Sin embargo, en las disposiciones generales, segunda, enfatiza lo siguiente: Se podrá contratar civilmente servicios técnicos especializados ajenos a las actividades propias y habituales de la usuaria, tales como los de contabilidad, publicidad, consultoría, auditoría, jurídicos y de sistemas, entre otros, que serán prestados por personas naturales, o jurídicas con su propio personal y que contarán con la adecuada infraestructura física y estructura organizacional, administrativa y financiera. La relación laboral será directa y bilateral entre los prestadores de servicios técnicos especializados y sus trabajadores. (Ministerio de Trabajo y Empleo Ecuador, 2008)

Los servicios logísticos especializados (SLE) se incorporan dentro de esta disposición general. Tercerizar actividades de transporte suele requerir una estrecha relación de trabajo con el proveedor basada en cooperación mutua e intercambio de información. En este punto, la tarifa por kilo transportado o el valor del flete por viaje se convierte en el cuidado y análisis de los riesgos que deben considerarse y gestionarse, lo cual implica generalmente costos adicionales.

En síntesis, la decisión de tercerizar un servicio de transporte dependerá de la posibilidad de gobernar la relación con el proveedor bajo algún tipo de mecanismo contractual o asociativo que resulte confiable.

## 2.7 Fases del proyecto



**Figura 2.5 Fases del proyecto**

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.5 se muestra el diagrama de las fases del proyecto realizado con el fin de tener una guía y organización para el desarrollo de cada uno de los pasos para la culminar el proyecto. Como primera fase se tiene el levantamiento de la información necesaria para llevar a cabo la segunda fase que sería la elaboración en si del algoritmo que resuelve el problema. Cada fase se subdivide en determinados pasos que ayudan a lograr los objetivos de este proyecto de investigación.

## 2.8 Cronograma de trabajo

Para la elaboración de este capítulo, se puede observar en la tabla 2.9 un plan de trabajo, donde se detallan los días y las horas implementadas para el estudio de datos, por ende, se dividió el trabajo en procesos. En la fase de levantamiento de información se coordinó un día para poder realizar una entrevista y realizar todas las dudas que teníamos, además de recolectar la información que se necesitaba. Por otro lado, en la fase de elaboración del modelo básicamente se analizaron los datos y se evaluó que técnica usar.

**Tabla 2.9 Cronograma de trabajo**

Fuente: Elaboración propia

ACTIVIDADES	Termina en el día ->			Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8	Sem 9	Sem 10	Sem 11	Sem 12	Sem 13	Sem 14
	Inicio	Duración (días)	fin	7-oct	14-oct	21-oct	28-oct	4-nov	11-nov	18-nov	25-nov	2-dic	9-dic	16-dic	23-dic	6-ene	13-ene
Planteamiento de propuesta y revisión por parte del tutor	3-oct	5	7-oct														
Entrevista con operadores de bodega	5-oct	1	5-oct														
Definición y descripción del problema	10-oct	4	13-oct														
Revisión literaria.	14-oct	4	17-oct														
Primera entrevista con encargado de optimización	19-oct	1	19-oct														
Justificación del proyecto y planteamiento de los objetivos.	19-oct	3	21-oct														
Marco teórico	20-oct	2	21-oct														
Revisión y finalización del capítulo	26-oct	2	27-oct														
Presentación de Avance 1	28-oct	1	28-oct														
Definición de la metodología	1-nov	3	3-nov														
Propuesta de Valor	10-nov	2	11-nov														
Segunda entrevista con encargados de optimización	15-nov	1	15-nov														
Depuración e interpretación de la data levantada	17-nov	2	18-nov														
Creación de diagrama para algoritmo	21-nov	2	22-nov														
Tratamiento de la data	22-nov	3	24-nov														
Generación de matriz de distancias	28-nov	1	28-nov														
Diseño de la heurística para la frecuencia de despacho	28-nov	4	1-dic														
Revisión y finalización del capítulo	29-nov	2	30-nov														
Presentación de Avance 2	2-dic	1	2-dic														
Análisis de los resultados	5-dic	5	9-dic														
Comparación de costos entre modelos	12-dic	4	15-dic														
Comparación de resultados situación actual vs propuesta	14-dic	2	16-dic														
Análisis de costos generados para meses pronosticados	19-dic	3	21-dic														
Elaboración de conclusiones y recomendaciones	21-dic	3	23-dic														
Revisión y finalización de todo el proyecto	4-ene	2	6-ene														
Presentación de Avance 3	13-ene	1	13-ene														

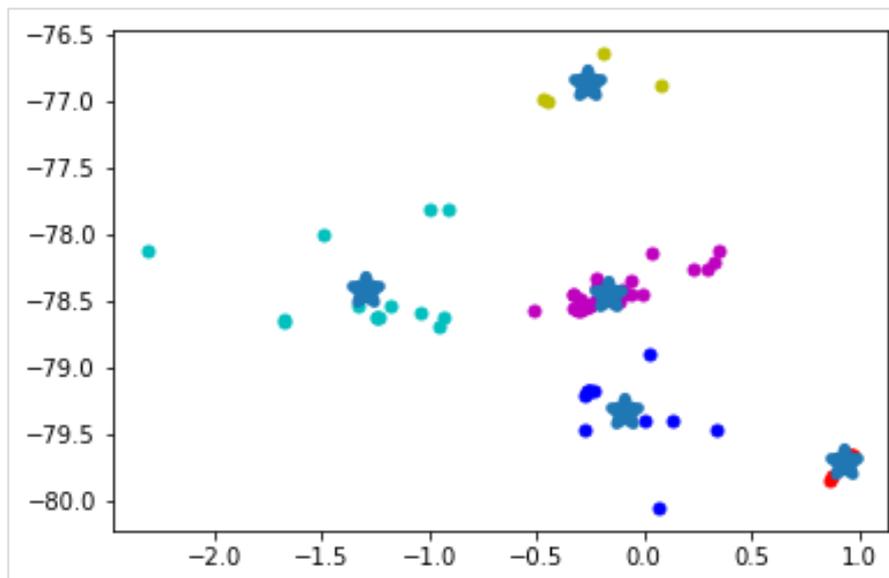
# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentaron los resultados obtenidos luego de emplear la metodología detallada en la sección anterior. Como primer paso se crearon los clústeres con los datos geográficos de las sucursales, se verificó el nivel de inventario de las tiendas dentro de los clústeres y se tomaba la decisión de enviar un pedido si este nivel está por debajo del mínimo. Como paso final se emplea un modelo matemático que resuelve el tipo de camión y la ruta asignada a las sucursales elegidas.

### 3.1 Clusterización por Machine Learning

Se realizó una primera clasificación de la información otorgada por la empresa acerca de las sucursales de interés, con el fin de tener un entorno en el cual poder verificar el inventario de tiendas que se encuentren agrupadas por características similares. En este caso la característica que se tomó en cuenta fue la ubicación geográfica de cada una de las sucursales, por medio de su latitud y longitud. En el lenguaje de programación Python se empleó el algoritmo de machine learning “Kmeans” que realizó el agrupamiento minimizando la suma de distancias entre cada nodo y el centroide de su clúster, usando distancia cuadrática.



**Figura 3.1 Clusterización de sucursales**

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.1 se muestra gráficamente como se encuentran distribuidos los distintos clústeres, existen 5 agrupaciones que se identifican con colores diferentes. La Tabla 3.1 detalla cuales nodos (sucursales) pertenecen a cada clúster, se logró ubicar a las 80 tiendas en 5 grupos por medio de su distancia entre sí.

**Tabla 3.1 Detalle de nodos por clúster**

Fuente: Elaboración propia

CLÚSTERS	
Número de clúster	Sucursales
1	[0, 1, 3, 4, 6, 9, 10, 13, 16, 17, 18, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 40, 41, 43, 44, 46, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 59, 61, 64, 66, 67, 68, 69, 77, 78]
2	[7, 19, 33, 36, 51, 75, 76]
3	[45, 57, 60, 65, 79]
4	[2, 8, 12, 15, 20, 31, 37, 38, 39, 42, 47, 58, 63, 70]
5	[5, 11, 14, 21, 24, 52, 62, 71, 72, 73, 74]

### 3.2 Información obtenida por medio del modelo matemático

Seguido de la agrupación por clústeres, se colocaron los valores de las sucursales para iniciar a seleccionar las sucursales dentro de los 5 grupos formados que, se atenderán el día en cuestión por medio de la verificación de su nivel mínimo de inventario. Con la lista de sucursales calculada se procedió a colocarla junto con los datos de inventario mínimo, máximo, la matriz de costos detallada en el capítulo anterior, y la capacidad de los vehículos: M (mediano), G (grande) y Mu (mula). Luego de ejecutar el código del modelo matemático en GAMS 7 veces (por los siete días de la semana), arrojó los datos que se muestran a continuación:

**Tabla 3.2 Salida de datos para el día Lunes**

Fuente: Elaboración propia

CLÚSTER 1			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
13	4	24.713	Mu
43	14	15.889	
41	13	22.615	
77	25	15.194	
28	10	28.078	Mu
30	12	29.796	Mu
59	21	34.774	
56	20	20.11	
6	2	35.767	Mu
55	19	34.54	M

22	6	24.736	
44	15	14.648	
29	11	22.066	Mu
62	22	16.526	
26	8	19.743	Mu
18	5	34.497	
23	7	17.008	Mu
50	17	32.562	
54	18	41.701	M
0	1	23.411	M
10	3	28.46	
64	23	17.359	G
27	9	56.549	G
48	16	25.25	M
68	24	36.108	M
<b>CLÚSTER 2</b>			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
33	1	25.67048731	
76	2	11.6698029	M
<b>CLÚSTER 3</b>			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
57	1	30.08	M
79	3	41.02	M
60	2	46.25	M
<b>CLÚSTER 4</b>			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
38	6	28.004	M
70	10	20.905	
63	9	20.354	M
8	1	35.862	M
42	7	24.002	M
15	2	31.861	
31	4	40.439	Mu
47	8	24.783	
37	5	52.416	Mu
20	3	74.981	Mu
<b>CLÚSTER 5</b>			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
71	2	21.16	
74	3	13.69	M
24	1	17.78	M

En la tabla 3.2 se agrupan de mejor manera los resultados arrojados por el modelo matemático, se puede visualizar que se eligen sucursales de los cinco clústeres, se detalla la cantidad a enviar para cada tienda y también que tipo de vehículo utilizar.

**Tabla 3.3 Salida de datos para el día Martes**

Fuente: Elaboración propia

CLÚSTER 1			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
68	12	17.768	M
25	5	28.642	
3	1	15.343	M
78	13	16.156	
9	2	17.244	M
26	6	28.809	G
66	10	28.265	
18	4	21.032	
53	8	24.146	M
67	11	36.482	M
16	3	29.566	G
34	7	22.814	
61	9	20.168	
CLÚSTER 2			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
7	1	32.4	G
36	2	27.38	
76	3	25.629	
CLÚSTER 3			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
65	2	39.14	G
45	1	31.37	
CLÚSTER 4			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
2	1	29.02	M
12	2	22.94	M
39	3	22.85	
58	4	15.84	M
CLÚSTER 5			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
11	2	21.8706	M
5	1	20.5194	
52	3	30.6074	M

En la tabla 3.3 se agrupan de mejor manera los resultados para el día Martes, junto con las sucursales a visitar en cada uno de los cinco clústeres, así como las cantidades a enviar y sus respectivos vehículos.

**Tabla 3.4 Salida de datos para el día Miércoles**

Fuente: Elaboración propia

CLÚSTER 1			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
10	3	23.698	G
35	10	19.33	
23	7	15.566	
25	8	42.521	M
18	5	21.032	M
49	13	17.741	
43	11	16.32	M
56	15	20.68	
17	4	25.385	M
0	1	19.01	G
1	2	19.262	
26	9	28.81	
54	14	37.64	M
46	12	13.142	M
22	6	26.374	
68	16	17.768	M
CLÚSTER 2			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
33	1	27.745	G
75	2	21.08	
76	3	25.629	
CLÚSTER 4			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
31	1	34.81	M
37	2	36.55	M
CLÚSTER 5			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
62	2	16.55	M
21	1	24.27	
72	3	10.68	M
74	4	14.92	

En la tabla 3.4 se muestran los resultados del día Miércoles, en esta se visualiza que en este día se visitarán a las sucursales de solo cuatro clústeres, es decir, el clúster

cinco no ha sido tomado en cuenta para el recorrido de este día de la semana. También se detalla la cantidad a enviar hacia cada sucursal, así como el vehículo a emplear.

**Tabla 3.5 Salida de datos para el día Jueves**

Fuente: Elaboración propia

CLÚSTER 1			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
18	4	21.932	G
4	1	15.583	
26	5	28.829	G
64	10	16.225	
32	7	12.302	G
67	12	32.73	
68	13	17.769	G
30	6	25.784	
16	3	32.441	M
13	2	19.729	G
66	11	27.016	
77	15	16.046	G
48	9	28.035	
34	8	22.872	M
69	14	14.327	
CLÚSTER 2			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
7	1	33.99	M
51	2	14.32	M
76	3	25.629	
CLÚSTER 3			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
45	1	34.25	M
79	2	65.08	G
CLÚSTER 4			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
15	1	31.21	M
42	2	19.73	M
CLÚSTER 5			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
5	2	20.444	G
11	1	22.16	
14	3	29.42	

Para el jueves, de igual manera se agrupan los resultados en la tabla 3.5 obteniendo viajes hacia los cinco clústeres, también encontramos a detalle las

cantidades de volumen a enviar hacia cada tienda junto con el vehículo a utilizar para este despacho.

**Tabla 3.6 Salida de datos para el día Viernes**

Fuente: Elaboración propia

CLÚSTER 1			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
10	5	24.496	M
29	11	21.939	
9	4	18.673	M
56	17	10.34	
18	6	21.03	G
25	9	27.758	
54	15	37.639	
1	2	13.209	M
68	19	16.768	
3	3	17.51	
22	7	26.374	M
43	13	16.327	
59	18	8.231	M
0	1	19.011	
48	14	21.235	M
55	16	7.575	
23	8	15.487	
26	10	28.809	M
40	12	17.501	M
78	20	6.491	
CLÚSTER 2			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
19	3	11.75	M
33	4	27.84	
36	2	33.47	M
76	1	25.62	M
CLÚSTER 3			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
57	1	31.1	M
60	2	32.94	M
CLÚSTER 4			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
20	2	55.55	G
31	3	34.82	M
47	5	22.56	M
8	1	33.83	M
37	4	36.55	M

CLÚSTER 5			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
72	4	18.57	M
73	5	16.56	
71	3	13.74	M
21	1	9.46	
62	2	14.22	

En la tabla 3.6 encontramos agrupados los resultados del día viernes, en este día se visitarán tiendas que pertenecen a los cinco clústeres, también se detalla la ruta, cantidad a enviar y el vehículo a ser utilizado para la distribución.

**Tabla 3.7 Salida de datos para el día Sábado**

Fuente: Elaboración propia

CLÚSTER 1			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
59	13	32.925	M
66	14	27.015	M
77	17	14.115	
34	8	22.872	M
16	2	32.441	M
68	16	18.768	M
18	4	21.034	
56	12	20.682	M
26	5	28.8	M
35	9	18.18	M
67	15	32.747	M
6	1	34.592	G
17	3	25.242	
78	18	19.474	
55	11	30.301	M
25	7	30.15	M
27	6	48.431	G
50	10	33.266	
CLÚSTER 2			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
7	1	33.98	G
75	2	22.82	
76	3	25.638	
CLÚSTER 3			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
79	1	39.89	M
CLÚSTER 4			

SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
2	1	29.97	M
58	2	18.51	
<b>CLÚSTER 5</b>			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
52	4	25.95	M
5	1	19.09	
74	5	16.25	M
11	2	23.52	
21	3	18.39	M

En la tabla 3.7 tenemos el detalle de los resultados del modelo matemático para el día sábado, junto con las sucursales a visitar en cada uno de los cinco clústeres, la cantidad a ser enviada y los diferentes tipos de vehículo que se deben utilizar.

**Tabla 3.8 Salida de datos para el día Domingo**

Fuente: Elaboración propia

<b>CLÚSTER 1</b>			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
61	15	23.886	M
68	17	17.769	
28	10	36.181	M
43	13	16.323	G
1	2	13.209	
10	4	23.696	
13	5	18.83	
18	6	21.03	M
32	12	11.726	
4	3	16.228	
30	11	25.785	M
23	8	15.487	M
26	9	28.818	
0	1	19.011	M
22	7	26.374	M
54	14	37.64	M
64	16	16.224	M
<b>CLÚSTER 2</b>			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
33	1	27.74	M
51	2	15.04	
76	3	25.629	M
<b>CLÚSTER 3</b>			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO

45	1	39.73	M
65	2	28.45	M
<b>CLÚSTER 4</b>			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
12	1	20.994	G
15	2	31.219	
37	4	36.56	
63	7	17.1984	G
31	3	34.823	
38	5	29.628	
42	6	19.733	M
<b>CLÚSTER 5</b>			
SUCURSAL	RUTA	CANTIDAD POR ENVIAR	VEHICULO UTILIZADO
24	1	39.69	M
62	2	18.9	M

En la 3.8 se observó el cronograma generado por el algoritmo para el domingo. Se detalló en cada tabla la ruta por cada clúster con sus respectivas sucursales, la cantidad por enviar y el vehículo necesario para transportar las órdenes.

### 3.3 Determinación de rutas y distancia recorrida

Se procedió a organizar la información obtenida mediante el algoritmo basado en el modelo matemático IRP acerca de las rutas y el volumen despachado por ruta. También se calculó la distancia recorrida en el software matemático Wolfram y se generaron gráficos en mapas reales para una mejor visualización de las rutas.

**Tabla 3.9 Detalle de ruta Lunes**

Fuente: Elaboración propia

Día	Número de Ruta	Ruta	Distancia en Km	Volumen enviado (M3)
<b>Lunes</b>	1	{80, 0, 6, 10, 13, 18, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 41, 43, 44, 48, 50, 54, 55, 56, 59, 62, 64, 68, 77, 80}	874.917	672.10
	2	{80, 33, 76, 80}	1266.57	353.607
	3	{80, 57, 60, 79, 80}	323.018	37.34
	4	{80, 8, 15, 20, 31, 37, 38, 42, 47, 63, 70, 80}	404.044	52.63
	5	{80, 24, 71, 74, 80}	453.029	117.35

En la tabla 3.9 se puede observar de forma más organizada los resultados para el lunes a manera de resumen. Se detalla la ruta a seguir para visitar a las sucursales dentro de cada clúster, también se detalla la distancia recorrida en km para las rutas y el volumen total enviado en cada ruta.

**Tabla 3.10 Detalle de ruta Martes**

Fuente: Elaboración propia

Día	Número de Ruta	Ruta	Distancia en Km	Volumen enviado (M3)
<b>Martes</b>	1	{80, 3, 9, 16, 18, 25, 26, 34, 53, 61, 66, 67, 68, 78, 80}	295.051	306.44
	2	{80, 5, 11, 52, 80}	213.083	72.997
	3	{80, 2, 12, 39, 58, 80}	483.894	90.65
	4	{80, 7, 36, 76, 80}	336.047	85.409
	5	{80, 45, 65, 80}	418.044	70.51

En la tabla 3.10 se puede observar de forma más organizada los resultados para el lunes a manera de resumen. Se detalla la ruta a seguir para visitar a las sucursales dentro de cada clúster, también se detalla la distancia recorrida en km para las rutas y el volumen total enviado en cada ruta.

**Tabla 3.11 Detalle de ruta Miércoles**

Fuente: Elaboración propia

Día	Número de Ruta	Ruta	Distancia en Km	Volumen enviado (M3)
<b>Miércoles</b>	1	{80, 0, 1, 10, 17, 18, 22, 23, 25, 26, 35, 43, 46, 49, 54, 56, 68, 80}	785.444	364.28
	2	{80, 21, 62, 72, 74, 80}	306.775	66.420
	3	{80, 33, 75, 76, 80}	359.745	74.454
	4	{80, 31, 37, 80}	559.807	71.36

En la tabla 3.11 se puede observar de forma más organizada los resultados para el lunes a manera de resumen. Se detalla la ruta a seguir para visitar a las sucursales dentro de cada clúster, también se detalla la distancia recorrida en km para las rutas y el volumen total enviado en cada ruta.

**Tabla 3.12 Detalle de ruta Jueves**

Fuente: Elaboración propia

Día	Número de Ruta	Ruta	Distancia en Km	Volumen enviado (M3)
<b>Jueves</b>	1	{80, 4, 13, 16, 18, 26, 30, 32, 34, 48, 64, 66, 67, 68, 69, 77, 80}	388.486	331.62
	2	{80, 11, 5, 14, 80}	322.391	72.024
	3	{80, 15, 42, 80}	259.577	50.94
	4	{80, 7, 51, 76, 80}	335.492	73.939
	5	{80, 45, 79, 80}	361.906	99.33

En la tabla 3.12 se puede observar de forma más organizada los resultados para el lunes a manera de resumen. Se detalla la ruta a seguir para visitar a las sucursales

dentro de cada clúster, también se detalla la distancia recorrida en km para las rutas y el volumen total enviado en cada ruta.

**Tabla 3.13 Detalle de ruta Viernes**

Fuente: Elaboración propia

Día	Número de Ruta	Ruta	Distancia en Km	Volumen enviado (M3)
<b>Viernes</b>	1	{80, 0, 1, 3, 9, 10, 18, 22, 23, 25, 26, 29, 40, 43, 48, 54, 55, 56, 59, 68, 78, 80}	863.865	376.40
	2	{80, 76, 36, 19, 33, 80}	376.192	98.680
	3	{80, 21, 62, 71, 72, 73, 80}	388.967	72.55
	4	{80, 8, 20, 31, 37, 47, 80}	912.904	183.31
	5	{80, 57, 60, 80}	399.907	64.04

En la tabla 3.13 se puede observar de forma más organizada los resultados para el lunes a manera de resumen. Se detalla la ruta a seguir para visitar a las sucursales dentro de cada clúster, también se detalla la distancia recorrida en km para las rutas y el volumen total enviado en cada ruta.

**Tabla 3.14 Detalle de ruta Sábado**

Fuente: Elaboración propia

Día	Número de Ruta	Ruta	Distancia en Km	Volumen enviado (M3)
<b>Sábado</b>	1	{80, 6, 16, 17, 18, 26, 27, 25, 34, 35, 50, 55, 56, 59, 66, 67, 68, 77, 78, 80}	430.104	48.48
	2	{80, 7, 75, 76, 80}	755.58	491.035
	3	{80, 79, 80}	284.786	103.2
	4	{80, 2, 58, 80}	335.881	82.438
	5	{80, 5, 11, 21, 52, 74, 80}	334.13	39.89

En la tabla 3.14 se puede observar de forma más organizada los resultados para el lunes a manera de resumen. Se detalla la ruta a seguir para visitar a las sucursales dentro de cada clúster, también se detalla la distancia recorrida en km para las rutas y el volumen total enviado en cada ruta.

**Tabla 3.15 Detalle de ruta Domingo**

Fuente: Elaboración propia

Día	Número de Ruta	Ruta	Distancia en Km	Volumen enviado (M3)
<b>Domingo</b>	1	{80, 0, 1, 3, 10, 13, 18, 22, 23, 26, 28, 30, 32, 43, 54, 61, 64, 68, 80}	545.514	368.22
	2	{80, 24, 62, 80}	363.33	58.590
	3	{80, 12, 15, 31, 37, 38, 42, 63, 80}	963.591	190.155

	4	{80, 33, 51, 76, 80}	375.511	68.409
	5	{80, 45, 65, 80}	418.044	68.18

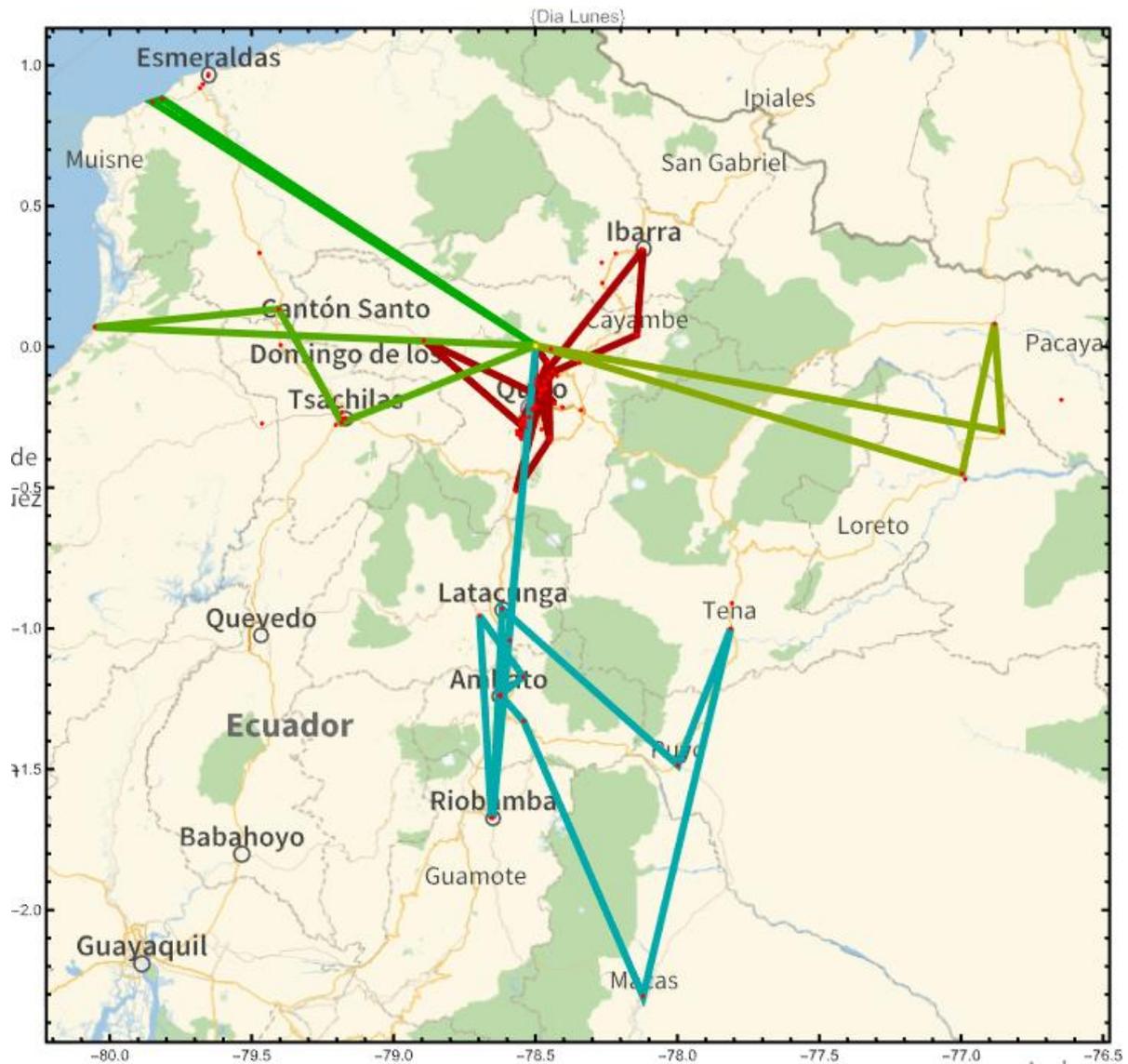
En la tabla 3.15 se puede observar de forma más organizada los resultados para el lunes a manera de resumen. Se detalla la ruta a seguir para visitar a las sucursales dentro de cada clúster, también se detalla la distancia recorrida en km para las rutas y el volumen total enviado en cada ruta.

El orden de las rutas mostrado se presenta como las posiciones desde el 0 al 79 para las 80 sucursales y la posición 80 es el centro de distribución.

Las distancias recorridas mostradas en las Tablas 3.9 a la 3.15 se calcularon mediante la matriz de distancia de la Tabla 2.3, sumando la distancia entre cada uno de los nodos en cada ruta.

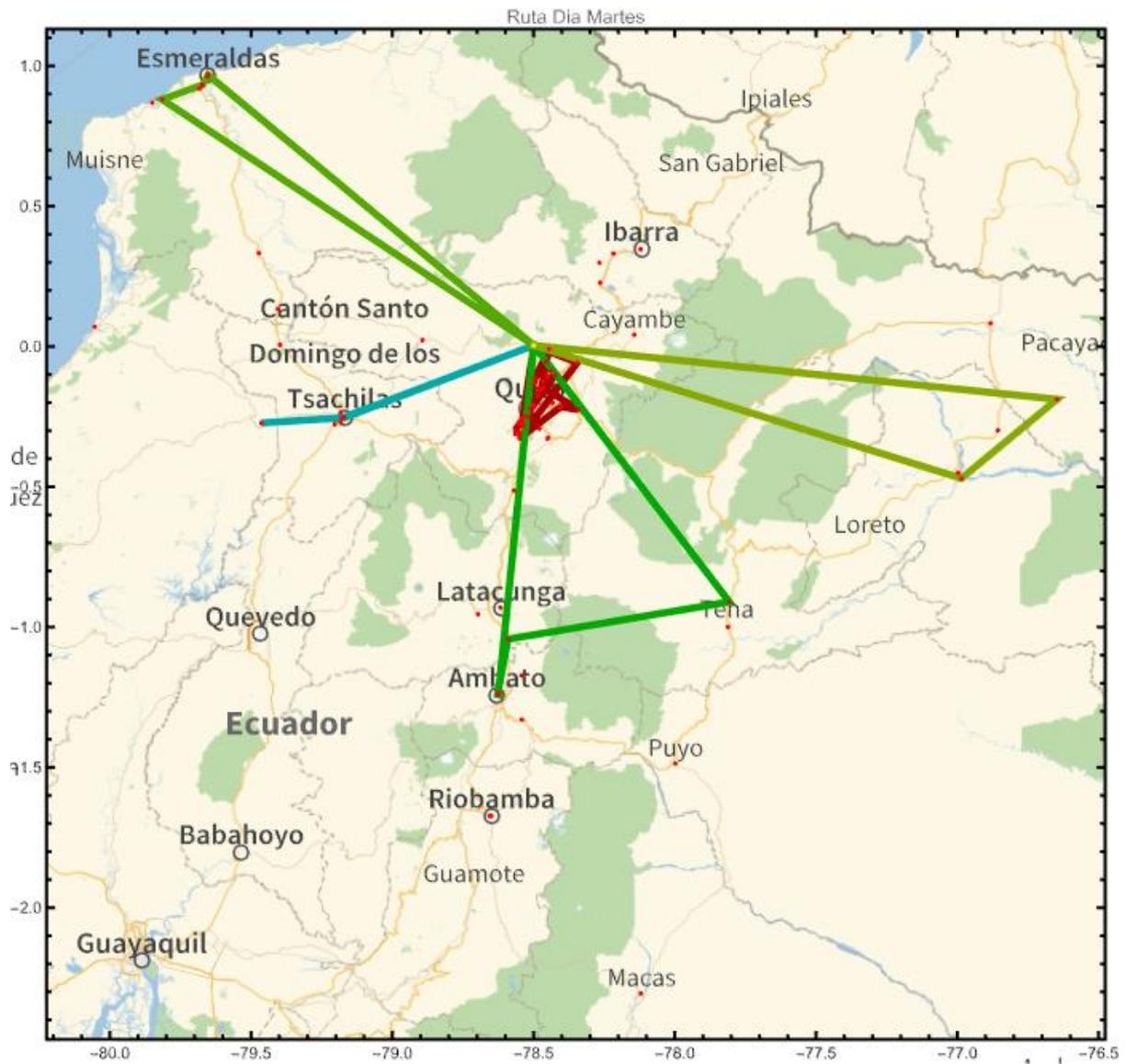
### 3.3.1 Gráficos de rutas por día de la semana

A continuación, se presentan los gráficos que fueron generados en Geographic of Wolfram que es un mapa interactivo geográfico. Se mostraron las rutas por cada clúster de cada día de la semana.

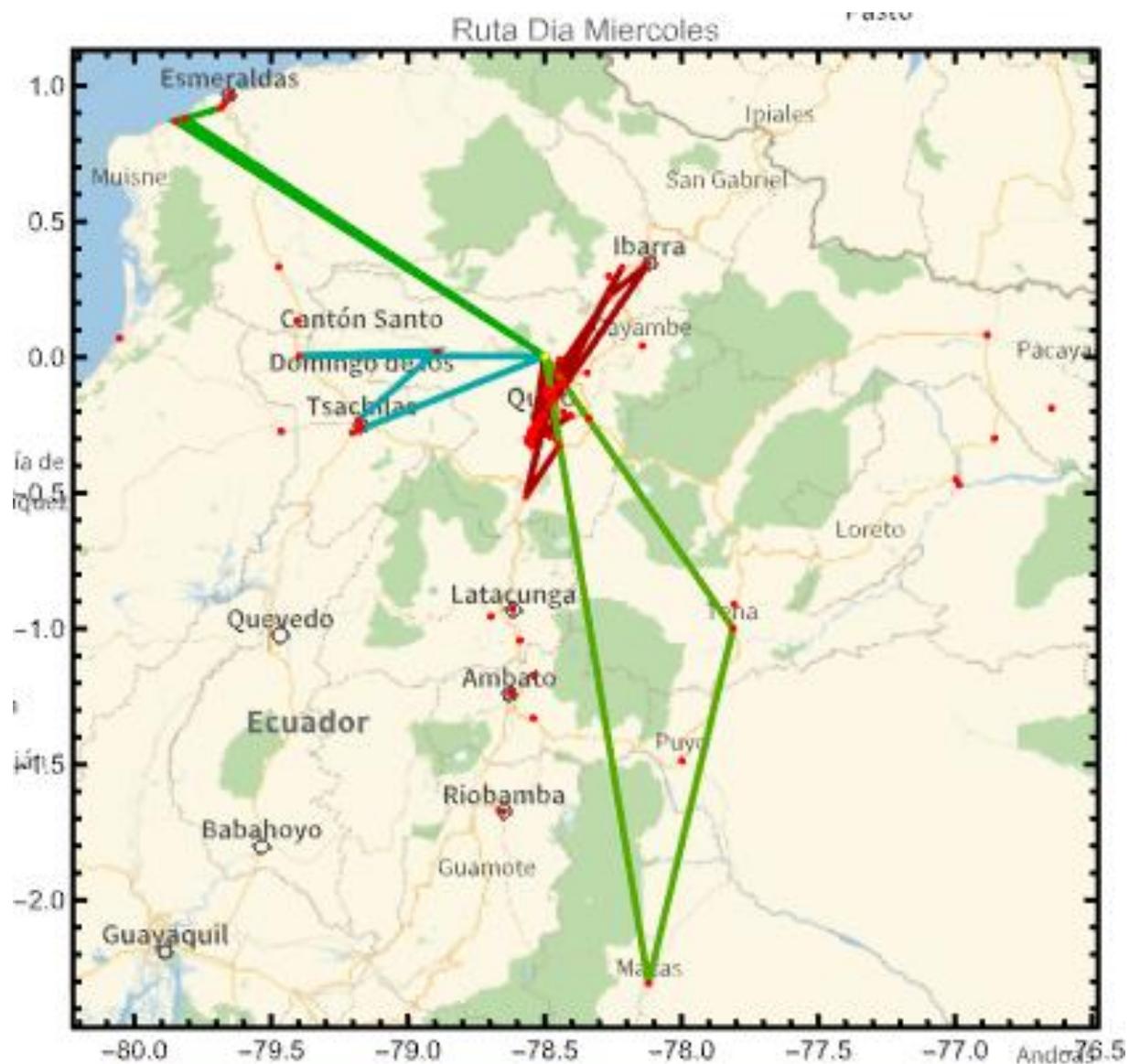


**Figura 3.2 Ruta del día Lunes**

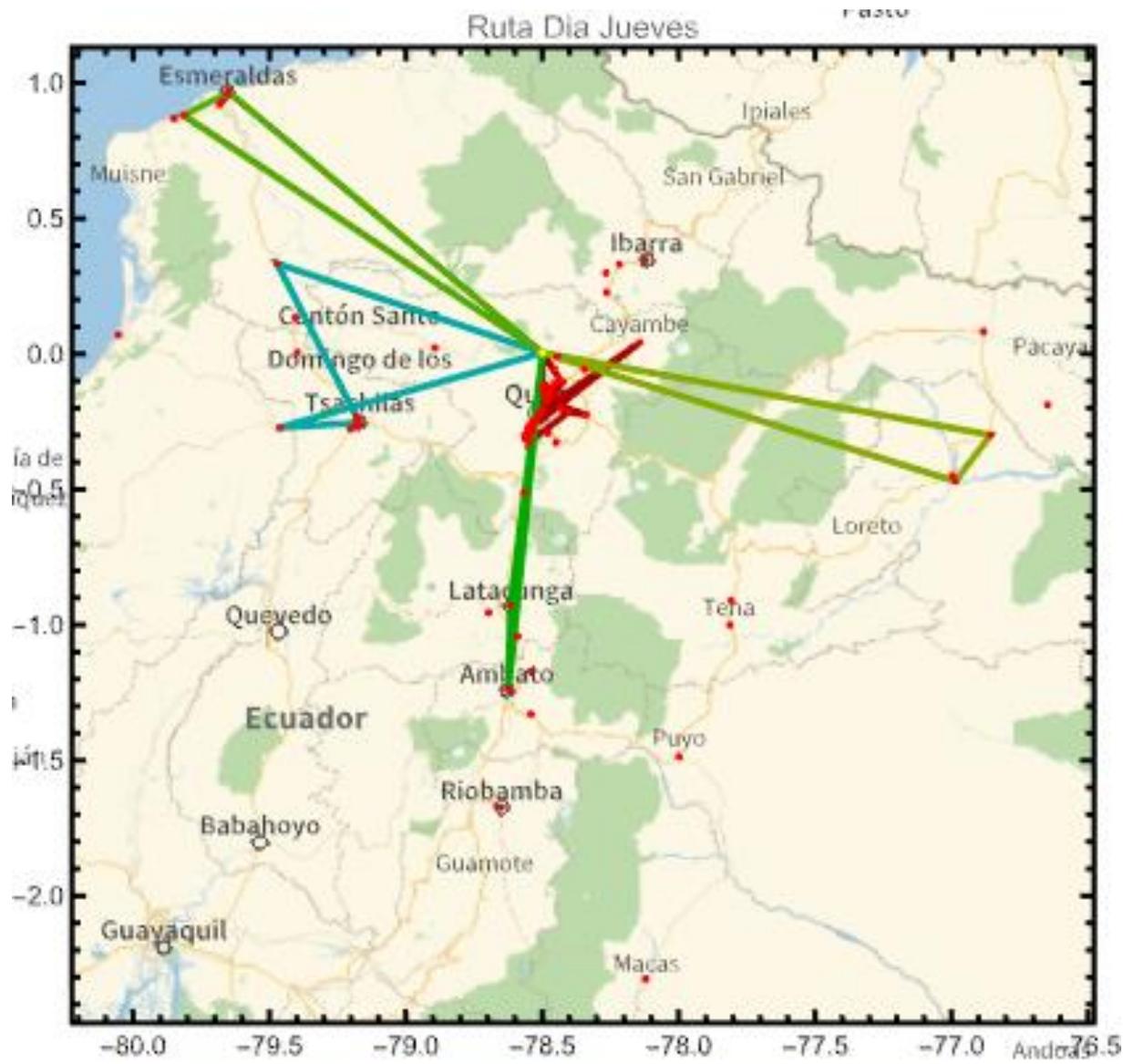
Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.3 Ruta del día Martes**  
 Fuente: Elaboración propia

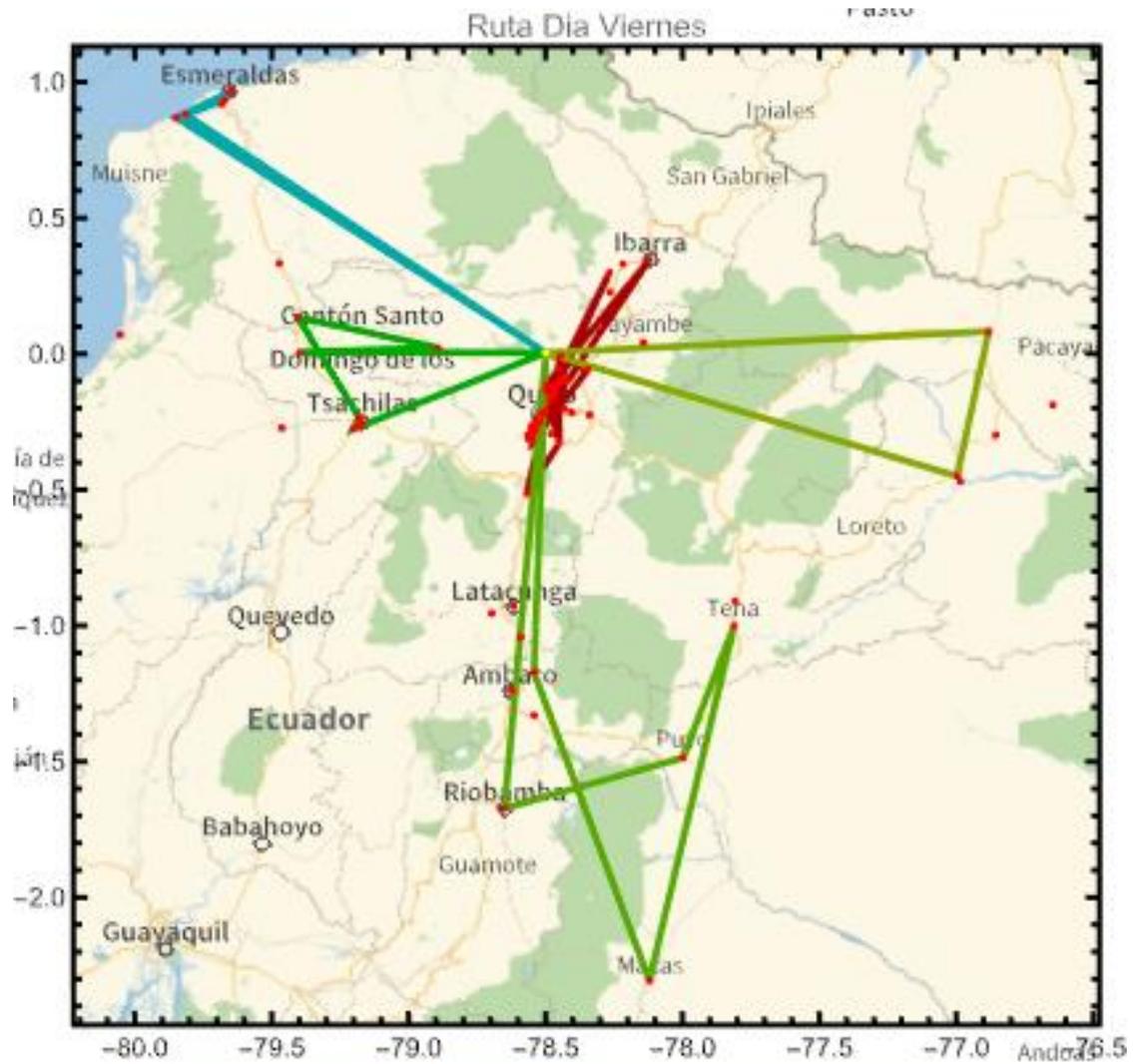


**Figura 3.4 Ruta del día Miércoles**  
 Fuente: Elaboración propia



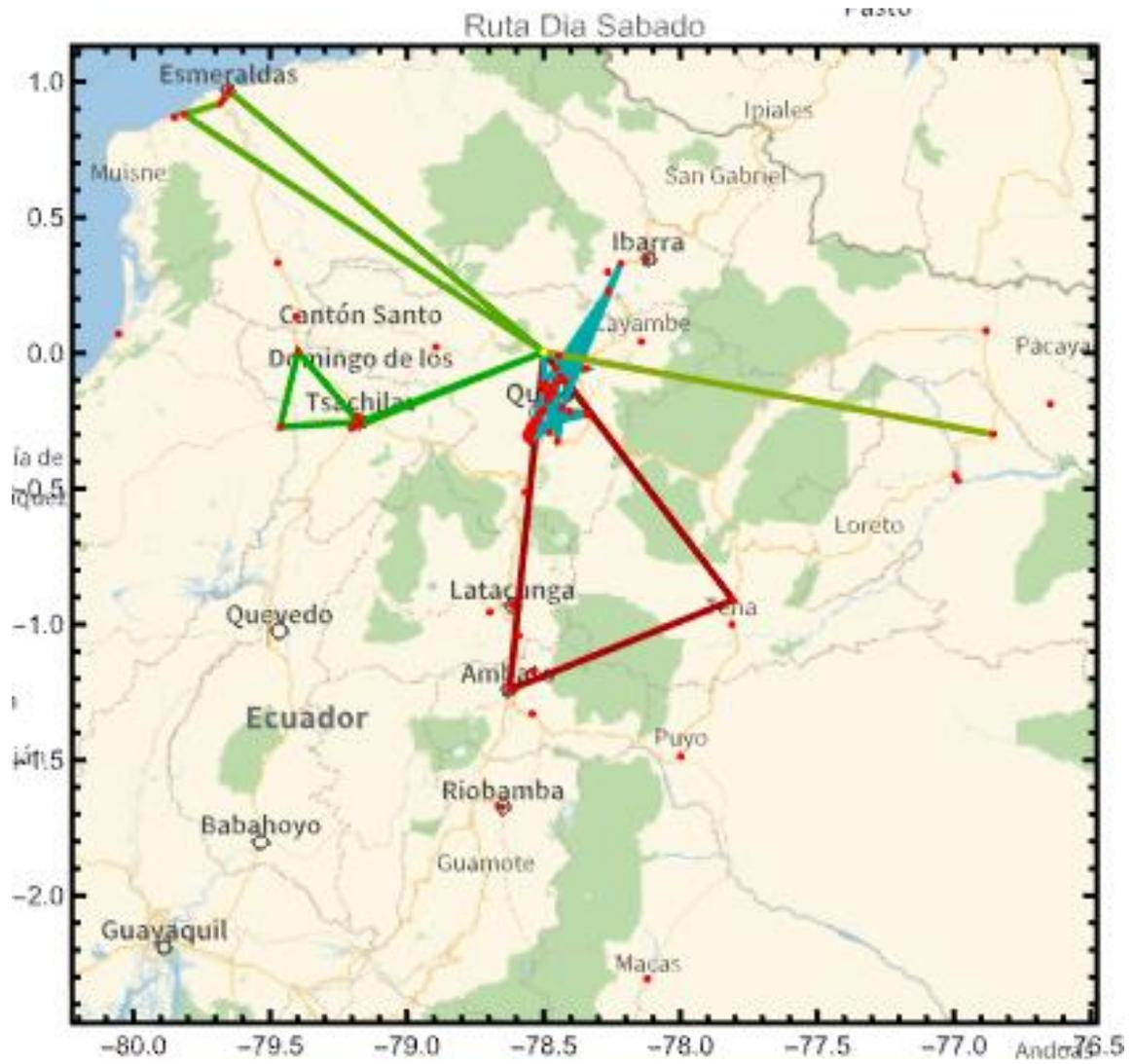
**Figura 3.5 Ruta del día Jueves**

Fuente: Elaboración propia

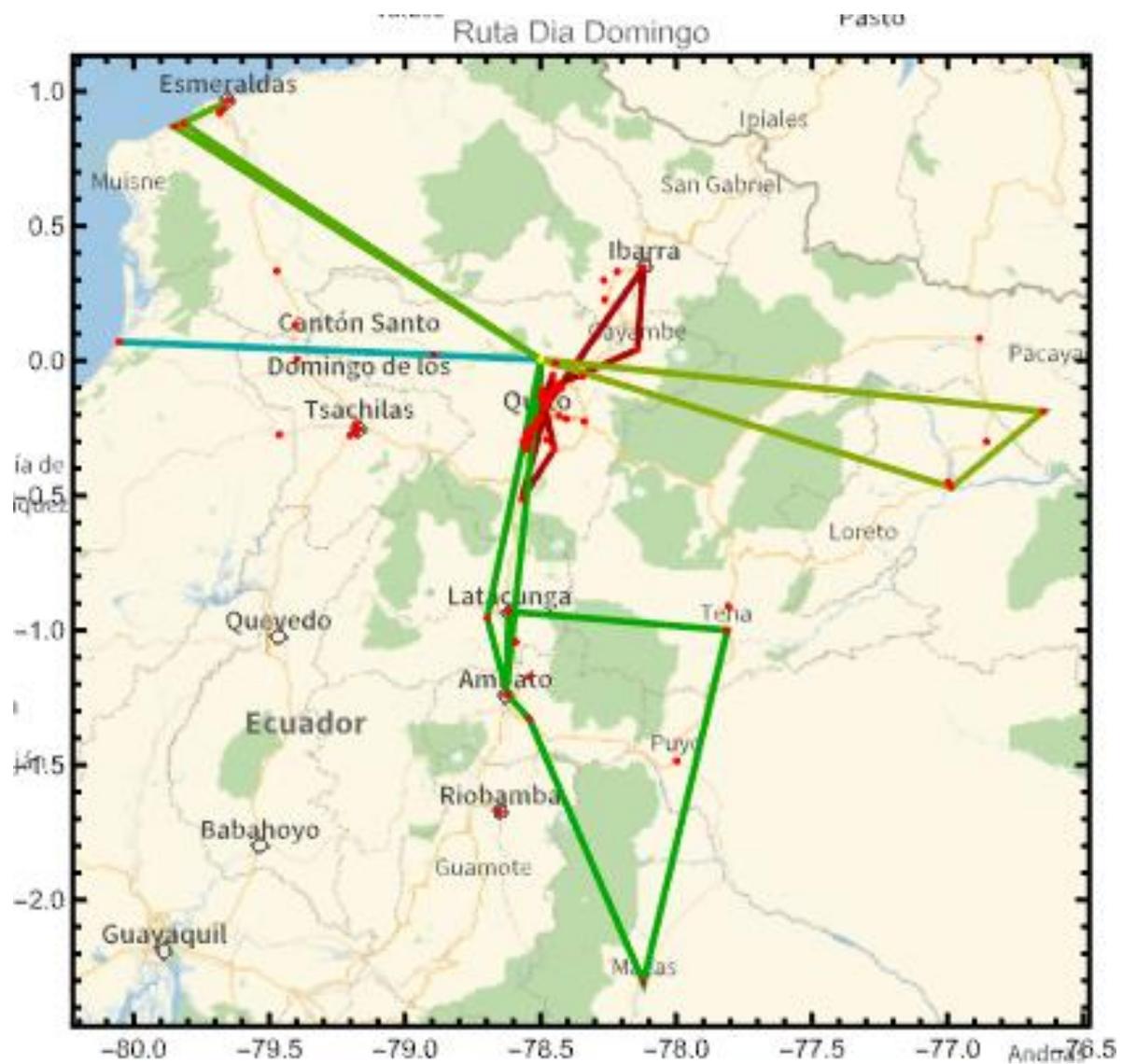


**Figura 3.6 Ruta del día Viernes**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.7 Ruta del día Sábado**  
 Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.8 Ruta del día Domingo**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Análisis de costos

Debido a que la propuesta es un código en que se manejaría en un software de modelado para la optimización matemática como lo es GAMS, se necesitaría una sola máquina ya sea computadora de escritorio o laptop que contenga la licencia que se compra una sola vez y es perpetua. También se tomó en consideración costos fijos como el consumo de luz e internet para la oficina de optimización de la empresa estudiada, así como el salario de la persona encargada de manejar los códigos para realizar el cronograma. Adicionalmente una consideración para el mantenimiento del equipo empleado para ejecutar los códigos.

**Tabla 3.16 Detalle de presupuesto de la propuesta**

Fuente: Elaboración propia

<b>COSTO DE LA PROPUESTA</b>	
Consumo de luz	\$25.00
Consumo de internet	\$100.00
Mantenimiento de máquinas (computadoras)	\$20.00
Salario de personal	\$450.00
<b>TOTAL MENSUAL</b>	<b>\$595.00</b>
Licencia de GAMS (UN SOLO PAGO)	\$3,500.00
<b>TOTAL ANUAL PRIMER AÑO</b>	<b>\$10,640.00</b>
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>\$7,140.00</b>

La licencia perpetua de usuario designado de GAMS detallada en la Tabla 3.16, es un módulo obligatorio para todas las instalaciones de GAMS. Incluye los siguientes solucionadores de código abierto sin costo adicional: CBC, IPOPT, HiGHS, MILES y SHOT, justamente el solver CBC es el que se empleó para la solución del modelo matemático.

Incluye el compilador del lenguaje GAMS, interfaces de programación de aplicaciones, GAMS Studio y muchas otras utilidades. Todos los demás módulos y solucionadores están incluidos en el sistema y se pueden usar con limitaciones de tamaño. Así que se puede deducir que la compra de este tipo de licencia sería acertada dentro del contexto del problema para este proyecto.

### 3.5 Análisis comparativo entre situación actual vs. situación propuesta

En este apartado se comparó algunas características tanto de la situación actual como de la propuesta, específicamente los costos y las rutas que se generaron para el horizonte de estudio de 7 días semanales.

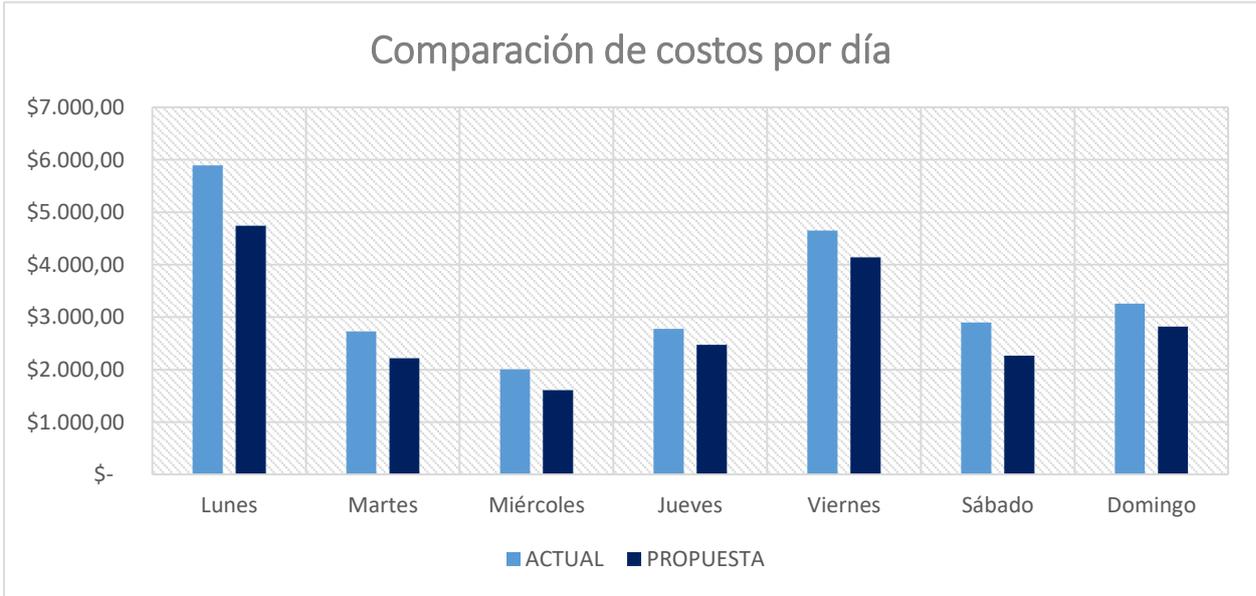
En la Tabla 3.8 se visualizan los costos en los que incurre la empresa de estudio para realizar su distribución semanal con el método que emplean actualmente, costando \$96.850 mensuales. Por otra parte, se tienen los valores que arrojó el código para el cronograma de despacho propuesto por los autores del proyecto, costando \$81.085 mensuales generando así un ahorro de casi \$16.000.

**Tabla 3.8 Costos de la distribución en la situación actual vs. la propuesta**

Fuente: Elaboración propia

	<b>Actual</b>	<b>Propuesto</b>
Costo Semanal (L - D)	\$ 24,212.54	\$ 20,271.44
Costo Mensual	\$ 96,850.15	\$ 81,085.74
<b>Ahorro mensual</b>		<b>\$ 15,764.41</b>

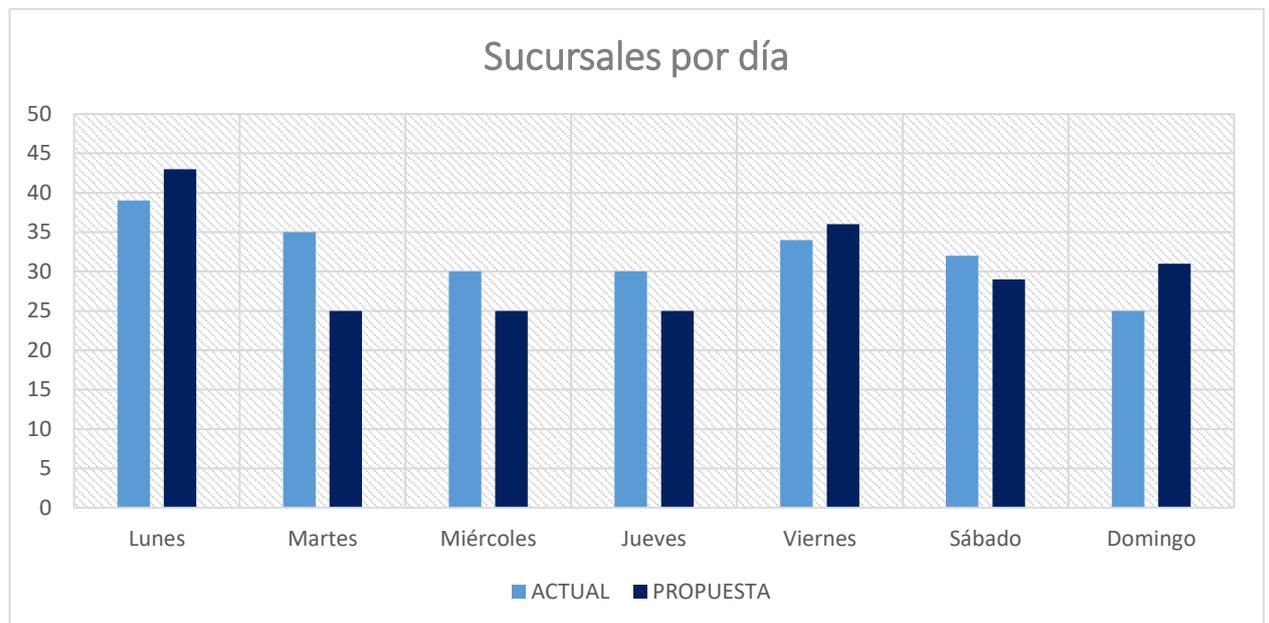
En la figura 3.9 se visualiza de manera gráfica esta comparación de los costos entre las dos opciones, la actual y la propuesta. Logrando observar una notoria disminución en los costos de distribución por día.



**Figura 3.9 Diagrama de barras de comparación de costos por día**

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.10 se presenta gráficamente el número de sucursales abastecidas por día de la semana. Como se puede observar se mejora Martes, Miércoles, Jueves y Sábado se mejoran las rutas de modo que se disminuyen las sucursales visitadas. Los demás días de la semana se visitan sucursales que incurrían en un desabastecimiento si no se atendían el mismo día. Aunque se reducen en cierta medida los desplazamientos, el modelo no deja de ser óptimo ya que se abastecen a todas las sucursales.



**Figura 3.10 Diagrama de barras de sucursales visitadas por día**

Fuente: Elaboración propia

### 3.6 Entregables

Los entregables que se entregaran a la empresa son los siguientes:

- Cronograma propuesto realizado por medio del algoritmo basado en el modelo matemático Enrutamiento de Inventario.
- Código en Python que realiza el análisis estadístico de los datos y que genera los clústeres y elige las sucursales que se visitan cada día mediante la verificación del inventario mínimo de cada sucursal.
- Modelo matemático del IRP realizado en GAMS para la elección de la cantidad y la ruta a seguir para despachar los pedidos en cada sucursal de cada clúster.
- Análisis de costos de la situación actual vs. la propuesta.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Se logró establecer y conocer las rutas que la empresa debe cumplir por cada día y por zona geográfica, así como la cantidad a enviar a cada sucursal, cumpliendo las restricciones de capacidad de los vehículos. Esto fue posible gracias al algoritmo de determinación de frecuencia basado en el modelo matemático del enrutamiento de inventario. Este modelo funciona mediante los parámetros iniciales como el inventario inicial, el consumo diario, la capacidad de la sucursal, su posición geográfica etc. El algoritmo arrojó las sucursales elegidas para el día correspondiente a los datos ingresados mencionados anteriormente, así como la cantidad a enviar en cada sucursal y la ruta que se debe de seguir.

Al final de la semana después de haber ejecutado el algoritmo y actualizado los datos, se obtiene una frecuencia o cronograma a cumplir para reabastecer a las sucursales de una manera eficiente sin generar desabastecimientos. El algoritmo trabaja bajo periodos de tiempos cortos que pudieron considerarse para temporadas de demanda cambiante. Es decir que el cronograma arrojado se hará efectivo mientras dure un periodo de tiempo donde la demanda se relativamente estable. Si la demanda en un periodo de tiempo se dispara, lo que se conoce como picos de demanda, se debe actualizar los datos y volver a ingresarlos al código para ejecutarlo.

El cronograma de envío por ruta a las diferentes sucursales se apoya en base a lo calculado con el plan de visita a las sucursales que fue otorgado por la empresa, este cronograma se basa en los históricos por envío de cada sucursal a la que pertenece su competencia del centro de distribución que se realizó.

Las sucursales elegidas se basan en el consumo diario histórico promedio que tienen cada una de las sucursales y en cada iteración del algoritmo se les realizó la prueba si su nivel de inventario está por debajo del mínimo se eligen candidatas por cada clúster.

Con el diseño e implementación de la planificación de un cronograma para la visita de sucursales basado en el modelo matemático del enrutamiento del inventario, se logró reducir los costos totales mensuales en \$15,764.00 frente a la situación actual.

Todos los datos que fueron ingresados en el modelo fueron extraídos en el periodo de tiempo de un año comenzando en 2021-2022.

## **4.2 Recomendaciones**

- Para la elaboración del cronograma se debe plantear un periodo de tiempo donde la demanda permanezca estable, es decir no aumente ni disminuya en mucha cantidad, ya que es donde el algoritmo funciona eficientemente.
- Es recomendable verificar y actualizar la información ingresada en el modelo y ejecutarlo cada semana, para coordinar dicha información con cada una de las sucursales, debido a que pueden ocurrir eventos externos incontrolables que hagan que la demanda de cierta sucursal se vea afectada e infiera en un posible desabastecimiento.
- Es recomendable que la empresa de alimentos estudiada adopte un mecanismo de actualización de esta información de manera dinámica en un sistema de información, para que el algoritmo trabaje de mejor manera y no se tenga imprevistos en cuanto a la demanda.

# BIBLIOGRAFÍA

- Campbell, A., Clarke, L., Kleywegt, A., Savelsbergh, M. . (1998). The Inventory Routing Problem. In: Crainic, T.G., Laporte, G. (eds). *Fleet Management and Logistics*. Obtenido de [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5755-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5755-5_4)
- Archetti, C. &. (2022). Comparison of formulations for the inventory routing problem. *European Journal of Operational Research*, págs. 997-1008. doi:10.1016/j.ejor.2021.12.051
- Bertazzi, L. S. (2012). Inventory routing problems: an introduction. *EURO J Transp Logist* 1, págs. 307–326. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s13676-012-0016-7>
- Barnhart, C., Laporte, G. (Eds.). (2007). *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. 14). Elsevier B.V. Obtenido de [http://dx.doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14006-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14006-2)
- Laudon K, L. P. (2016). *Sistemas de Información Gerencial* (14 ed.). Ciudad de México: Pearson.
- Ministerio de Trabajo y Empleo Ecuador. (2008). Mandato Constituyente núm. 8. Recuperado 7 de febrero de 2023, de [https://www.ilo.org/dyn/natlex/natlex4.detail?p\\_lang=es&p\\_isn=79927](https://www.ilo.org/dyn/natlex/natlex4.detail?p_lang=es&p_isn=79927)
- R. (2021). Criterios para la tercerización en transporte terrestre. THE LOGISTICS WORLD <https://thelogisticsworld.com/historico/criterios-para-la-tercerizacion-en-transporte-terrestre/>

# APENDICES

## APENDICE A

Código en Python

### ▼ **IMPORTACION DE DATOS**

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.cluster import KMeans
```

```
datos=pd.read_excel("TARIFAS irp.xlsx","Hoja1")
```

```
print(datos)
```

```
df=pd.DataFrame(datos)
nu=df["n"].values
x=df["x"].values
y=df["y"].values
invini=df["inventario inicial"].values
cap=df["capacidad máx"].values
invmin=df["inventario mínimo irp"].values
consumo=df["consumo diario"].values
```

```
info=[x,y]
```

```
print(info)
```

```
data=np.array(list(zip(nu,x,y,invini,cap,invmin,consumo)))
print(data)
```

```
X=np.array(list(zip(x,y)))
print(X)
```

```
matriz=pd.read_excel("primepowers.xlsx","Hoja2")
ma=np.array(matriz)
```

### ▼ **CLUSTERIZACION**

```
kmeans=KMeans(n_clusters=5)
kmeans=kmeans.fit(X)
labels=kmeans.predict(X)
centroids=kmeans.cluster_centers_
```

```
colors=["m.", "r.", "c.", "y.", "b."]
```

```
for i in range(len(X)):
    print("coordenada: ",X[i],"label: ",labels[i])
    plt.plot(X[i][0],X[i][1],colors[labels[i]],markersize=10)
plt.scatter(centroids[:,0],centroids[:,1],marker="*",s=150,linewidths=5,zorder=10)
plt.show()
```

## ▼ ALGUNAS FUNCIONES A UTILIZAR EN EL MODELO

```
def position(lista,valor):
    result=[]
    for i in range(len(lista)):
        for j in range(len(lista[i])):
            if valor==lista[i][j]:
                result.append((i,j))
    return result
```

```
def EncontrarMatriz(lista,matrix): #funcion que encuentra una matriz cuadrada de solo las distancias de las sucursales que aparecen en la
matrizBusq=[]
for i in range(len(lista)):
    a=matrix[lista[i]]
    reset=[]
    for j in range(len(lista)):
        reset.append(a[lista[j]])
    matrizBusq.append(reset)
return (matrizBusq)
```

## ▼ ELECCION DE SUCURSALES BASADO EN UN CRONOGRAMA INICIAL

```
semana = [[2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 24, 27, 31, 32, 34, 36, 37, 39, 41, 42, 46, 49, 53, 54, 55, 58, 59, 63, 66, 69,
```

```
semanaF=[]
for i in range(len(semana)):
    semanaN=[]
    for j in range(len(semana[i])):
        semanaN.append(semana[i][j]-1)
    semanaF.append(semanaN)

print(semanaF)
```

```
[[1, 2, 3, 6, 7, 8, 10, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 26, 30, 31, 33, 35, 36, 38, 40, 41, 45, 48, 52, 53, 54, 57, 58, 62, 65, 68, 69,
```

**\*\*codigo de eleccion de sucursales**

```
semanaA=[semanaF[5]]
frecuencia=[]
```

```
for i in range(len(semanaA)):
    letra=[]
    a=[]
```

```
for j in range(len(semanaA[i])):
    clusp=position(clu,semanaA[i][j])
    nodos=[]
    nivelclustera=[]
    inventariominimo=[]
    if clusp[0][0] not in letra:
        for t in range(len(clu[clusp[0][0]])):
            nivelclustera.append(data[clu[clusp[0][0]][t]][3]-data[clu[clusp[0][0]][t]][-1])
            inventariominimo.append(data[clu[clusp[0][0]][t]][5])
        for y in range(len(nivelclustera)):
            if nivelclustera[y]<=inventariominimo[y]:
                nodos.append(clu[clusp[0][0]][y])

    a.append(nodos)
    frecuencia.append(a)
    letra.append(cclusp[0][0])
```

```
print(frecuencia)
```

## APENDICE B

### Código de GAMS

```
option optcr=0.0000001;
option MIP=CBC;
set
i nodos
v vehiculos
alias(i,j)
;
parameter
c(v) capacidad de vehiculos
/
/
qmin(i)
/
/
qmax(i)
/
/
p(i)
/
/
;
Table
co(i,j) Costo tarifa de envio
;
Variables
z costo total
l(i,v) cantidad de carga en el vehiculo v al salir del nodo i hacia el j
q(i,v) cantidad a enviar en el vehiculo v al nodo i
;
q.fx("cd",v)=0;
binary variables
X(i,j,v) Var de decisión;
Equations
FO función objetivo
R1 todo lo que sale de un nodo sea igual a 1 el primero no porque es deposito
central
R2 todo lo que sale de un nodo sea igual a 1: cada nodo debe ser visitado por
un solo vehículo
R3 restricción de capacidad
R5 eliminación de subtours
R6
R7
R8
R9
R10
;
FO.. z=e=sum((i,v),p(i)*q(i,v)) - sum((i,j,v),co(i,j)*X(i,j,v));
R1(i)$ (ord(i)>1) .. sum((v,j)$ (not sameas(i,j)),X(i,j,v))=e=1;
R2(v) .. sum(j,X("cd",j,v))=g=1;
R3(v,j)$ (ord(j)>1) ..sum(i$(not sameas(i,j)),X(i,j,v))=e=sum(i$(not
sameas(i,j)),X(j,i,v));
R5(i,j,v)$ (ord(j)>1) .. (l(i,v)+q(j,v)-l(j,v))=l=10000*(1-X(i,j,v));
R6(v,i)$ (ord(i)>1) .. sum(j$(not sameas(i,j)),qmin(i)*X(i,j,v))=l=q(i,v);
R7(v,i)$ (ord(i)>1) .. sum(j$(not sameas(i,j)),qmax(i)*X(i,j,v))=g=q(i,v);
R8(v) .. l("cd",v)=e=0;
```

```
R9(v,i).. q(i,v)=l=l(i,v);
R10(v,i).. l(i,v)=l=sum(j$(not sameas(i,j)),c(v)*X(i,j,v));
model vrp /all/;
solve vrp maximizing z using mip;
display X.l,q.l,z.l,l.
```

## APENDICE C

### Cronograma de distribución semanal

cod_bodega	cod_sucursal	desc_sucursal		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
200	202	QUITO	1	1		1		1		1
200	206	ALAMEDA	2		1	1		1		1
200	207	AMBATO	3		1				1	
200	212	ATAHUALPA	4		1			1		1
200	213	10 DE AGOSTO	5		1		1			
200	217	SANTO DOMINGO CENTRO	6		1		1		1	
200	218	PARQUE INGLES	7	1					1	
200	219	ESMERALDAS CENTRO	8		1		1		1	
200	224	RIOBAMBA CENTRO	9	1				1		
200	225	MALDONADO	10		1			1		
200	227	IBARRA	11	1		1		1		1
200	232	EL CARMEN	12		1		1		1	
200	235	AMBATO II	13		1					1
200	245	CAYAMBE	14	1			1			1
200	246	QUININDE	15		1		1			1
200	248	LATACUNGA	16	1			1			1
200	250	SOLANDA	17		1		1		1	
200	253	OTAVALO	18			1			1	
200	255	COTOCOLLAO	19	1		1		1	1	
200	256	ESMERALDAS PARQUE INF	20		1			1		1
200	262	PUYO	21	1				1		
200	263	LA CONCORDIA	22			1		1	1	
200	264	SANGOLQUI	23	1		1		1		1
200	265	MACHACHI	24	1		1		1		1
200	277	PEDERNALES	25	1			1			1
200	279	MITAD DEL MUNDO	26		1	1		1	1	

200	288	COMITE DEL PUEBLO	27	1	1	1	1	1	1	1
200	290	CONOCOTO	28	1			1		1	
200	295	POMASQUI	29	1			1			1
200	299	TOACAZO	30	1		1		1		
200	403	GUAJALO	31	1			1			1
200	411	TENA	32	1		1		1		1
200	414	QUITO SUCRE	33				1			1
200	416	ATACAMES	34	1		1		1		1
200	417	CALDERON	35		1		1			1
200	419	ATUNTAQUI	36			1				1
200	421	ESMERALDAS CODESA	37		1			1		
200	422	MACAS	38	1		1		1		1
200	426	PELILEO	39	1						1
200	429	SALCEDO	40		1			1		1
200	431	COTACACHI	41	1		1		1		
200	434	CUSUBAMBA	42	1			1			1
200	436	SUPER LABORAL	43	1			1			1
200	440	GUAMANI	44	1		1		1		1
200	441	AJAVI	45	1			1			1
200	443	COCA CENTRO	46		1		1			1
200	446	TUMBACO	47			1		1		1
200	447	PILLARO	48	1				1		
200	450	6 DE DICIEMBRE	49	1			1	1		
200	451	ECUATORIANA	50			1				1
200	452	CUMBAYA	51	1						1
200	453	ESMERALDAS COLON	52				1			1
200	455	SANTO DOMINGO INDIO COLORADO	53		1					1
200	460	MARTHA BUCARAM UIO	54		1			1		
200	473	LA LUZ	55	1		1		1		1
200	475	RIVERMALL	56	1				1		1
200	476	CARAPUNGO	57	1		1		1		1

200	480	COCA AV 9 DE OCTUBRE	58	1				1		
200	483	ARCHIDONA	59		1				1	
200	484	CHILLOGALLO	60	1				1	1	
200	487	LAGO AGRIO	61	1				1		
200	488	SAN ISIDRO	62		1					1
200	490	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	63	1		1		1		1
200	495	PUJILI	64	1						1
200	499	PLATAFORMA GUBERNAMENTAL	65	1			1			1
200	607	SHUSHUFINDI	66		1					1
200	608	PIFO	67		1		1		1	
200	610	SUPER TUMBACO	68		1		1		1	
200	613	SAN JOSE DE GUAMANI	69	1			1		1	
200	621	PUEBLO SOLO PUEBLO	70				1			
200	623	LA CONDAMINE	71	1						
200	638	LA UNION	72	1				1		
200	639	SANTO DOMINGO JUAN EULOGIO	73			1		1		
200	642	SANTO DOMINGO AV QUEVEDO	74		1			1		1
200	643	SANTO DOMINGO SANTA MARTHA	75	1		1			1	
200	648	TOLITA	76			1			1	
200	650	TONSUPA	77	1			1		1	
200	653	SAN JOSE DE MORAN	78	1			1		1	
200	691	GUAYLLABAMBA	79		1			1	1	
200	694	LA JOYA DE LOS SACHAS	80	1			1		1	