

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS**

**“APLICACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA DETERMINAR EL  
PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN DE GRANOS BÁSICOS DE UNA  
EMPRESA COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS  
ALIMENTICIOS UBICADA EN LA CIUDAD CAPITAL”**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS  
ECONÓMICAS**

**POR**

**FLOR DE MARÍA GÓMEZ XIQUÍN**

**PREVIO A CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**

**ADMINISTRADORA DE EMPRESAS**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE**

**LICENCIADA**

**GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS**  
**MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Lic. José Rolando Secaida Morales
SECRETARIO	Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales
VOCAL PRIMERO	Lic. Luis Antonio Suárez Roldan
VOCAL SEGUNDO	Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
VOCAL TERCERO	Lic. Juan Antonio Gómez Monterroso
VOCAL CUARTO	P.C. Oliver Augusto Carrera Leal
VOCAL QUINTO	P.C. Walter Obdulio Chiguichón Boror

**PROFESIONALES QUE PRACTICARON EL EXÁMEN DE ÁREAS  
PRÁCTICAS BÁSICAS**

Área Matemática – Estadística	Lic. Oscar Haroldo Quiñónez Porras
Área Administración – Finanzas	Licda. Elisa Rojas Barahona
Área Mercadotecnia – Operaciones	Licda. Elvia Zulena Escobedo Chinchilla

**JURADO QUE PRACTICO EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS**

PRESIDENTE :	Lic. Oscar Haroldo Quiñónez Porras
SECRETARIA :	Licda. Thelma Marina Soberanis de Monterroso
EXAMINADOR :	Lic. Axel Osberto Marroquín Reyes

Guatemala, abril de 2014

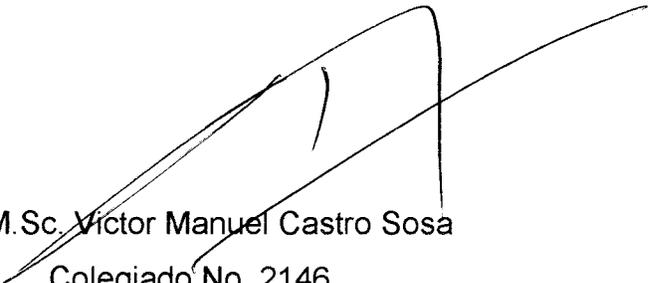
**Licenciado**  
**José Rolando Secaida Morales**  
**Decano de la Facultad de Ciencias Económicas**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Señor Decano

De conformidad con el nombramiento emanado de su decanatura, con fecha 17 de marzo de 2014, en el que se me designa como asesor de tesis de la Estudiante Flor de María Gómez Xiquín, carné 200711945, con el tema **“Aplicación del modelo de transporte para determinar el programa óptimo de distribución de granos básicos de una Empresa Comercializadora y Distribuidora de Productos Alimenticios ubicada en la ciudad capital”**, me permito informarle que he precedido a revisar el contenido de dicho estudio, encontrando que el mismo cumple con los lineamientos y objetivos planteados en el respectivo plan de investigación.

En virtud de lo anterior y considerando que este trabajo de tesis fue desarrollado de acuerdo a los requisitos reglamentarios de la facultad, me permito recomendarlo para que sea discutido en examen privado de tesis, previo a optar el título de Administradora de Empresas en el grado académico de licenciada.

Atentamente



Lic. M.Sc. Victor Manuel Castro Sosa  
Colegiado No. 2146



**FACULTAD DE  
CIENCIAS ECONOMICAS**

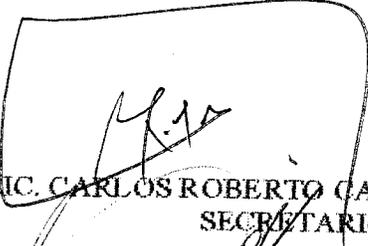
Edificio "S-8"  
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

**DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS. GUATEMALA,  
DIÉCISEIS DE OCTUBRE DE DOS MIL CATORCE.**

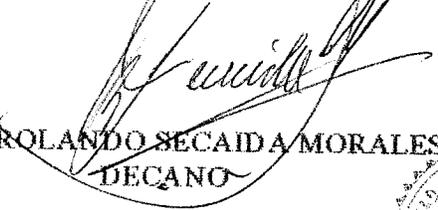
Con base en el Punto QUINTO, inciso 5.1, subinciso 5.1.1 del Acta 16-2014 de la sesión celebrada por la Junta Directiva de la Facultad el 30 de septiembre de 2014, se conoció el Acta ADMINISTRACIÓN 160-2014 de aprobación del Examen Privado de Tesis, de fecha 28 de mayo de 2014 y el trabajo de Tesis denominado: "APLICACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA DETERMINAR EL PROGRAMA OPTIMO DE DISTRIBUCIÓN DE GRANOS BÁSICOS DE UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS UBICADA EN LA CIUDAD CAPITAL", que para su graduación profesional presentó la estudiante FLOR DE MARÍA GÓMEZ XIQUÍN, autorizándose su impresión.

Atentamente,

*"ID Y ENSEÑAD A TODOS"*

  
LIC. CARLOS ROBERTO CABRERA MORALES  
SECRETARIO



  
LIC. JOSE ROLANDO SECAIDA MORALES  
DECANO



Smp.

*Ingrid*  
GONZALEZ

## ACTO QUE DEDICO

### A DIOS

Fuente inagotable de sabiduría, paz, fe, fortaleza y amor, gracias por haberme permitido llegar a culminar mi carrera y por estar constantemente a mi lado dando fortaleza en esos momentos difíciles y proveyendo de muchas bendiciones a mi vida, eres la luz que alumbró mi camino, siempre me llevas de la mano y nunca me dejas caer, no tengo palabras como expresar mi gratitud por todo lo que has hecho en mi vida gracias padre celestial.

“Yo te voy a instruir, te enseñare el camino, te cuidaré, seré tu consejero”. Salmo 32:8

### A MIS PADRES

Las personas que más quiero, con todo mi amor y agradecimiento.

**Horacio Xiquín (†)** tu que ya partiste a la presencia del altísimo, pero que permanentemente me apoyaste brindándome tu amor, tus consejos, dándome palabras de aliento para seguir adelante, y sobre todo me dejaste el ejemplo de ser perseverante que aunque existan dificultades hay que luchar por lo que queremos alcanzar. Gracias por el sacrificio que hiciste de velar por mi vida y por formar la persona que soy, aunque ya no estés a mi lado sé que velas por mí siempre, hoy te puedo decir misión cumplida papito y que no pude haberla logrado sin tu apoyo te quiero mucho.

**Dionisia Quel, María Esperanza de Gómez y David Gómez.** Gracias por haberme apoyado en todo momento, por sus sabios consejos, el apoyo y la motivación que

constantemente me brindaban para seguir adelante, gracias por el sacrificio que cada uno ha hecho por ofrecerme lo mejor, no tendré como pagar todo lo que hicieron para que lograra lo que soy y poder cumplir con este sueño, las palabras quedan cortas para decir todo lo que siento por cada uno de ustedes. Hoy simplemente me he convertido en la representante de un título que aunque no lleva sus nombres es también de ustedes.

**A MIS  
HERMANOS**

**Samuel, Josué, Daniel y Raquel**, por su apoyo, comprensión y ayuda en todo momento muchas gracias los quiero mucho.

**A MIS TIOS**

**Gloria, Roberto (†), Vidal, Hugo y Héctor**, por sus consejos, ayuda y comprensión en el momento que lo necesitaba. Así también a **Fernando, Amparo, Blanca y Patricia**. Por brindarme la confianza y su cariño muchas gracias.

**A MIS PRIMOS**

Quienes siempre me motivaron a seguir adelante y por ser parte de mi vida, especialmente a **Celeste Marisol** gracias por brindarme de tu apoyo y ayuda cuando más lo necesitaba, los quiero mucho a todos.

## **AGRADECIMIENTO ESPECIAL**

**A MI AMIGO VICTOR GONZALEZ** Por el apoyo y amistad incondicional que me dedicaste durante todos estos años y por formar parte de este éxito que ahora he logrado, gracias por los consejos y esas palabras de ánimo que me brindabas en el momento que lo necesitaba y que se convirtieron en una fuente de fortaleza para continuar luchando, eres muy especial y de todo corazón deseo que Dios te bendiga y que permita que nuestra amistad continúe para toda la vida te quiero y aprecio mucho.

**A MI AMIGA SANDRA ARENAS** Por acompañarme en este trayecto tan importante de mi vida en el que compartimos situaciones muy difíciles en los que siempre conté con tu apoyo y con esas palabras que me ayudaron a seguir adelante, por esos agradables momentos que los llevare siempre guardados en el corazón.

**A MIS AMIGOS SERGIO Y HAYRON** Gracias por brindarme su amistad, por ser tan especiales y sobre todo por el apoyo incondicional que me brindaron en el momento más difícil de mi vida, estoy muy agradecida con ustedes, que Dios los Bendiga siempre los quiero amigos.

**A MIS AMIGOS**

**Lourdes, Oscar, Luis, Edwin, Amanda, Damaris, Glendy, Sender y Waleska** gracias por brindarme su apoyo, amistad incondicional y por acompañarme en los buenos momentos, en las etapas difíciles de la vida. Con quienes compartimos experiencias, angustias y sobre todo muchos éxitos. Que Dios los bendiga

**A LIC. OSCAR HAROLDO QUIÑONEZ**

Gracias por brindarme sus conocimientos, consejos y ayuda pero sobre todo por haberme ofrecido su amistad.

**A MI ASESOR DE TESIS**

**Licenciado. Víctor Castro** por su apoyo profesional y moral, por la dedicación que tuvo en este proyecto Dios lo bendiga.

**A LOS LICENCIADOS (AS)**

**Lic. Otto López Orellana (†), Licda. Marlen Pineda, Licda. Friné Salazar y Licda. Elisa Rojas.** Gracias por brindarme su amistad, su apoyo profesional y moral Dios los bendiga siempre.

**A LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS**

Por abrirme las puertas y darme la oportunidad de ampliar los conocimientos y ser parte de ella.

**A LA TRICENTENARIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Por ser el centro de estudios que me acogió a lo largo de estos años y haberme dado la oportunidad de dar un paso más en el campo del conocimiento.

## ÍNDICE

**Introducción** **i**

### **CAPÍTULO I**

#### **MARCO TEÓRICO**

<b>Contenido</b>	<b>página</b>
<b>1.1 EMPRESA</b>	<b>1</b>
1.1.1 Empresa comercial	1
<b>1.2 COSTO</b>	<b>2</b>
1.2.1 Costo fijo	2
1.2.2 Costo variable	2
1.2.3 Costo total	3
<b>1.3 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES</b>	<b>3</b>
1.3.1 Origen de la Investigación de Operaciones	4
1.3.2 Naturaleza de la Investigación de Operaciones	4
1.3.3 Importancia de la Investigación de Operaciones	5
<b>1.4 MODELOS</b>	<b>5</b>
1.4.1 Tipos de modelos	6
1.4.1.1 Modelo icónico ( a escala)	6
1.4.1.2 Modelo analógico o análogo	6
1.4.1.3 Modelo matemático o simbólico	7

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1.4.2 Clasificación de los modelos	7
1.4.2.1 Según la información de entrada	7
1.4.2.2 Según el tipo de representación	8
1.4.2.3 Según la aleatoriedad	8
1.4.2.4 Según su aplicación u objetivo	9
1.4.3 Construcción de modelos	10
<b>1.5 PROGRAMACIÓN LINEAL</b>	<b>12</b>
1.5.1 Supuestos de la programación lineal	12
1.5.2 Forma de expresión	13
1.5.3 Formulación de un problema de programación Lineal	13
1.5.4 Conceptos de formulación del modelo de programación lineal	14
1.5.4.1 Función objetivo	14
1.5.4.2 Variables de decisión	15
1.5.4.3 Restricciones	15
1.5.5 Aplicaciones	16
1.5.6 Métodos de solución	16
1.5.6.1 Método gráfico	16
1.5.6.2 Método simplex	17
<b>1.6 MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL</b>	<b>18</b>
1.6.1 Modelo de asignación	18

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1.6.1.1 Método de maximización	18
1.6.1.2 Método de minimización	18
1.6.2 Modelo de transporte	18
1.6.2.1 Función objetivo del modelo de transporte	21
1.6.2.2 Restricciones del modelo de transporte	21
1.6.3 Matriz de origen y destino	22
1.6.3.1 Origen (O)	23
1.6.3.2 Destino (D)	24
1.6.3.3 Costo de transporte unitario (C)	24
1.6.3.4 Oferta (O)	24
1.6.3.5 Demanda (D)	24
<b>1.7 FORMAS DE MODELOS DE TRANSPORTE</b>	<b>24</b>
1.7.1 Equilibrado	24
1.7.2 No equilibrado	25
<b>1.8 MÉTODOS DE SOLUCIÓN</b>	<b>25</b>
1.8.1 Esquina nor-oeste (ENO)	26
1.8.2 Mínimo costo (MC)	27
1.8.3 Método de aproximación de vogel o multas (MAV)	28
1.8.4 Pasos secuenciales	29

## **CAPÍTULO II**

### **SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

<b>2.1 ANTECEDENTES</b>	<b>32</b>
2.1.1 Misión	33
2.1.2 Visión	33
2.1.3 Objetivos	33
<b>2.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL</b>	<b>34</b>
<b>2.3 ACTIVIDAD COMERCIAL</b>	<b>36</b>
<b>2.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>36</b>
2.4.1 Recolección de información	36
2.4.2 Determinación de los kilómetros recorridos por ruta	37
<b>2.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>37</b>
2.5.1 Determinación de costos fijos	37
2.5.1.1 Determinación de entregas promedio	39
2.5.1.2 Determinación del tiempo de entrega	39
2.5.1.3 Determinación del costo fijo	39
2.5.2 Determinación de los costos variables	40

**CAPÍTULO III**  
**APLICACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA**  
**DETERMINAR EL PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN DE**  
**GRANOS BÁSICOS, PARA UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA**  
**Y DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS UBICADA EN**  
**LA CIUDAD CAPITAL**

<b>Contenido</b>	<b>página</b>
<b>3.1 JUSTIFICACIÓN</b>	47
<b>3.2 APLICACIÓN</b>	47
3.2.1 Planteamiento de la función objetivo	47
3.2.2 Planteamiento de las restricciones	47
3.2.3 Construcción de la matriz de transporte	48
3.2.3.1 Matriz de costo total por ruta y quintal de grano	48
<b>3.3 SOLUCIÓN</b>	49
3.3.1 Esquina Nor-oeste	49
3.3.2 Mínimo Costo	50
3.3.3 Aproximación de Vogel	51
<b>3.4 COMPARACIÓN DE LOS PROGRAMAS FACTIBLES</b>	52
<b>3.5 METODO DE MULTIPLICADORES</b>	52
<b>3.6 ANÁLISIS COMPARATIVO CON RESPECTO A LOS COSTOS DE</b>	88
<b>TRANSPORTE</b>	
Conclusiones	89
Recomendaciones	91

Bibliografía	92
Apéndice: Resumen ejecutivo de tesis	94
Anexo	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>No.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	Red de puntos origen a puntos destino	20
2	Matriz de origen y destino	23

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

No.	Contenido	Página
1	Organigrama General de La Comercializadora y Distribuidora de Productos Alimenticios.	35

## ÍNDICE DE CUADROS

No.	Contenido	Página
1	Determinación de Kilómetros recorridos de las bodegas a las tiendas de acuerdo a la estructura vigente	38
2	Costos totales por ruta de transporte de las bodegas a las tiendas	38
3	Oferta promedio de cada bodega de la comercializadora	41
4	Demanda promedio de las tiendas de la comercializadora	42
5	Distribución actual de granos básicos	43
6	Oferta de producto	44
7	Demanda de producto	44
8	Distribución actual de granos básicos	45

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>No.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	Distribución actual de la bodega zona 1 a los diferentes destinos	100
2	Distribución actual de la bodega zona 19 a los diferentes destinos	101
3	Distribución actual de la bodega zona 7 de Mixco a los diferentes destinos	102
4	Distribución actual de la bodega zona 10 de Mixco a los diferentes destinos	103
5	Distribución propuesta de las bodegas a las tiendas mayoristas	104
6	Guía de entrevista	105

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, muchas empresas dedicadas a la distribución de productos, no cuentan con un análisis detallado de la información necesaria para el total aprovechamiento de las rutas de distribución, ni controles que lo midan. Lo anterior se constituye en una barrera para las organizaciones, ya que perjudican la competitividad de la empresa en los mercados y provocan la pérdida progresiva de sus clientes. Este fenómeno se presenta en la mayoría de organizaciones, que con el tiempo llegan a ser distribuidores líderes, pero con deficiencias administrativas, donde no se cuenta con métodos, procedimientos y controles para el mejoramiento de la distribución.

La falta de controles de las rutas no permite a la empresa determinar la distribución óptima de sus productos, por lo que es necesaria la implementación de un modelo matemático que permita optimizar el tiempo utilizado para la entrega de determinado producto. El modelo matemático de transporte es una técnica que cae dentro de ésta forma de dirigir y que ayuda de manera significativa a la distribución óptima de los productos, ayudando a reducir los costos de operación, a eliminar el desabastecimiento en los tiempos por retraso en las entregas.

Este documento consta de tres capítulos en el I se incluye teorías, conceptos y principios en los cuales se fundamenta la investigación. En donde se hace una descripción de lo que es una empresa y los tipos de empresa que existen, costos, etc. Así también, se describe los tipos de modelos matemáticos estadísticos entre los cuales se pueden mencionar los físicos, los análogos y simbólicos que pueden ser utilizados en los diferentes problemas. Además, incluye la descripción de la programación lineal, la cual es necesaria para la construcción y aplicación del modelo de transporte.

En el **II** Se presenta la situación actual de la Comercializadora y Distribuidora de Productos Alimenticios, antecedentes, misión, visión, objetivos, estructura organizacional y la actividad comercial. Luego se presenta la metodología utilizada en el estudio así también, el análisis e interpretación de la investigación.

El **III** Se integra con los resultados obtenidos en la investigación de campo realizada en la empresa objeto de estudio. También cuenta con el modelo matemático estadístico de transporte que se desarrolló para dar solución a la problemática planteada, con el cual la comercializadora y distribuidora de productos alimenticios podrá encontrar el programa óptimo de distribución, que le permitirá reducir los costos de transporte de sus bodegas a las tiendas.

Como parte final del documento, se presentan las conclusiones y recomendaciones pertinentes. Seguidamente se presenta la Bibliografía consultada y utilizada como fundamento para la realización del estudio, finalmente se presentan los anexos.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 EMPRESA

“Una empresa es un ente que está integrada principalmente por el elemento humano, bienes materiales y servicios necesarios para su funcionamiento, así mismo cuenta con un conjunto de instrumentos técnicos de organización que le permiten optimizar los recursos con los que cuenta la empresa y que previo ha sido registrada como tal con un nombre elegido según el giro del negocio”. (4:1)

#### 1.1.1 EMPRESA COMERCIAL

Es una organización que se dedica al mercadeo de productos terminados, asimismo es un canal de distribución entre el productor y el consumidor final de determinados bienes.

“Es el tipo de empresa intermediaria entre el productor y el consumidor, su función primordial es la compra - venta de productos terminados. Se pueden clasificar en:

- a) **Mayoristas:** Son aquellas que efectúan ventas en gran escala a otras empresas tanto al menudeo como al detalle.
- b) **Minoristas o Detallistas:** Son los que venden productos en pequeñas cantidades al consumidor final.
- c) **Comisionistas:** venden mercancías que los productores dan en consignación, percibiendo por esta función una ganancia o comisión”.  
(8:23)

## **1.2 COSTO**

De acuerdo a Gabriel Baca Urbina “costo es una erogación en efectivo o en especie que se ha realizado en el pasado (costos hundidos), en el presente (inversión), en el futuro (costos futuros) o en forma virtual (costo de oportunidad)”. (1:139)

Se puede decir que el costo es un desembolso de dinero y recursos necesarios que se realizan con el fin de obtener un bien (costo de inversión), entre los recursos utilizados se encuentra el trabajo de cada colaborador y el tiempo que es preciso para hacer posible la producción de determinado producto.

### **1.2.1 Costo fijo**

“Son aquellos costos que una empresa debe realizar independientemente del volumen de producción”. (9:343)

Se le denomina fijo a aquellos costos que la empresa debe cubrir obligatoriamente, por ejemplo: alquiler, sueldos, energía eléctrica, etc., ya que estos son utilizados independientemente a la cantidad de bienes que pueda producir la organización.

### **1.2.2 Costo variable**

Se establecen como variables todos aquellos costos que se van modificando de acuerdo a las unidades que la empresa está produciendo, por ejemplo el material de empaque, materia prima, etc.

“Son aquellos costos que varían en relación directa con el volumen de producción; son una función de volumen y no del tiempo”. (9:343)

### **1.2.3 Costo total**

Se determina realizando la sumatoria del costo fijo y el costo variable, lo que representa el desembolso que debe realizar la empresa para producir determinado volumen de productos.

“Los costos totales para un nivel de producción determinado son la suma de los costos variables (CV) y los costos fijos (CF)”. (9:344)

Antes de iniciar determinado trabajo, ya sea de comercialización o manufactura, es indispensable establecer las condiciones futuras de los elementos necesarios que serán utilizados para la comercialización o producción (transportes o maquinaria), para que funcionen eficazmente. Esto sólo se puede lograr a través de la investigación de operaciones, la que proporciona estrategias de producción, modelos de distribución y elementos que contribuyen a la optimización de los recursos con que cuenta determinada empresa, ya que carecer de estos fundamentos implica graves riesgos, desperdicio de esfuerzos, de recursos materiales y financieros.

A continuación se describe el origen, naturaleza e importancia de la investigación de operaciones.

## **1.3 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES**

La Investigación de Operaciones hace uso de los modelos matemáticos para dar solución a los inconvenientes que se presentan dentro de una entidad, tomando en cuenta varias alternativas de acción y de acuerdo a la problemática planteada seleccionar la opción más indicada.

“La razón por la cual se le da el nombre de Investigación de Operaciones es porque se aplica a problemas que se refieren a la conducción y coordinación de operaciones dentro de una organización”. (6:3)

### **1.3.1 Origen de la Investigación de Operaciones**

Hace años el entorno comercial ha tenido un crecimiento notable, en algunos casos, los pequeños talleres artesanales se han desarrollado y convertido en grandes corporaciones, lo que ha llevado a la división de la mano de obra y de las responsabilidades de administración.

La Investigación de Operaciones nació durante la Segunda Guerra Mundial, ya que en ese momento era necesario optimizar los recursos debido a los enfrentamientos, era preciso asignar los recursos limitados de que disponían en ese momento, a las diferentes operaciones militares. Los militares americanos e ingleses hicieron un llamado a un gran número de científicos para que aplicaran el método científico a este problema. Estas personas fueron los primeros equipos de Investigación de Operaciones.

El éxito alcanzado por la Investigación de Operaciones en las actividades bélicas, generó interés por parte de las industrias, ya que cada vez aumentaba la especialización en determinadas actividades. Los problemas causados por la complejidad y especialización, dentro de las organizaciones, pasaron a primer plano, pues se tenía la necesidad de asignar recursos a las diferentes actividades que se realizaban dentro de las industrias y con esto optimizar los recursos con los que contaban. Por esta razón se introdujo la Investigación de Operaciones al comercio, gobierno, industria, etc.

### **1.3.2 Naturaleza de la Investigación de Operaciones (IO)**

La naturaleza de la IO es intentar encontrar una mejor solución, también llamada solución óptima, para el problema bajo consideración. Se dice una mejor solución y no la mejor solución, porque pueden existir muchas soluciones que iguallen a la mejor. La IO usa el método científico para investigar el problema. El proceso de solución comienza por la definición del problema, lo cual incluye

determinar los objetivos apropiados, las restricciones sobre lo que se puede hacer, las interrelaciones del área bajo estudio con otras áreas, a fin de que se produzcan soluciones que sirvan de mejor manera a los objetivos de la empresa.

### **1.3.3 Importancia de la Investigación de Operaciones**

La IO tiene un rol importante en los problemas de toma de decisión, ya que permite elegir la mejor opción dentro de varias alternativas, para alcanzar un determinado objetivo, respetando los vínculos externos, no controlables por la persona encargada de tomar la decisión. Su finalidad es encontrar la solución óptima, para un determinado problema (económico, de infraestructura, logístico, etcétera), y está establecida por un acercamiento científico a la solución de problemas complejos, tiene características profundamente multidisciplinarias y utiliza un conjunto variado de instrumentos, principalmente matemáticos, para la optimización y el control de problemas. En el caso particular de problemas de carácter económico, la función objetivo puede ser el máximo rendimiento o el menor costo.

## **1.4 MODELOS**

Son representaciones simplificadas o abstracciones de la realidad, requieren datos cuantificables, los cuales son expresados en forma numérica, así mismo se establecen variables, entre las que están: variables de resultado, variables de decisión y variables no controlables, las cuales se componen de ecuaciones y desigualdades, que representan la esencia del problema que se requiere solucionar, por lo que los modelos se construyen con dos propósitos: Establecer claramente el problema y las relaciones entre sus variables, para facilitar la toma de decisiones al estudiar y analizar la situación de cualquier ambiente de la vida real.

“La construcción de un modelo es la esencia del proceso científico de toma de decisiones. Un modelo describe la esencia de un problema o de las relaciones por abstracción de las variables relevantes de la situación en el mundo real y las expresa en una forma simplificada para que el tomador de decisiones pueda estudiar las relaciones básicas en forma aislada. El problema reconstruido (modelo) es entonces usado para el análisis y la prueba de soluciones alternativas”. (7:11)

#### **1.4.1 Tipos de modelos**

Existen tres tipos de modelos que se utilizan para explicar la realidad de cualquier idea o proyecto, que se quiera dar a conocer en la práctica del mundo real, los cuales se describen a continuación:

##### **1.4.1.1 Modelo icónico (a escala)**

“es una réplica física de un sistema, usualmente basados en una escala diferente de la original”. (11:12)

Es el modelo menos abstracto, ya que este hace una demostración de un determinado sistema en una diferente escala, por ejemplo: los arquitectos crean prototipos de determinado edificio, los ingenieros crean réplicas de automóviles, maquinarias.

##### **1.4.1.2 Modelo analógico o análogo**

“Los modelos analógicos son normalmente diagramas y gráficos bidimensionales; estos son modelos físicos, pero que su forma difiere a la del sistema”. (11:12)

Este modelo representa un conjunto de relaciones, a través de un medio diferente pero semejante, es decir que ofrece un comportamiento similar a un modelo real.

#### **1.4.1.3 Modelo matemático o simbólico**

“Los modelos matemáticos son invaluable, pues extraen la esencia del material de estudio, muestran sus interrelaciones y facilitan el análisis. También son representaciones idealizadas, pero están expresados en términos de símbolos y expresiones matemáticas”. (11:12)

El modelo simbólico es el que describe un problema en forma mucho más concisa, ya que éste se integra por variables cuantitativas que se encuentran bien definidas y representadas matemáticamente. Esta característica tiende a hacer más comprensible toda la estructura del problema, y ayuda a revelar las relaciones importantes causa-efecto.

#### **1.4.2 Clasificación de los modelos matemáticos**

De acuerdo con la utilidad en su campo de aplicación, los modelos se pueden clasificar de la siguiente manera:

##### **1.4.2.1 Según la información de entrada**

Respecto a la función de origen los modelos pueden ser:

- **Heurísticos** (del griego euriskein, hallar, inventar). Son los que están basados en las explicaciones sobre las causas o mecanismos naturales que dan lugar al fenómeno estudiado.

“Resolución de problemas usando procedimientos y reglas en vez de optimización matemática”. (4:368)

- **Empíricos** (del griego empíricos relativo a la experiencia). Son los que utilizan las observaciones directas o los resultados de experimentos del fenómeno estudiado.

#### 1.4.2.2 Según el tipo de representación

Los modelos matemáticos encuentran distintas denominaciones en sus diversas aplicaciones. Una posible clasificación puede tener en cuenta si pretenden hacer predicciones de tipo cualitativo o pretenden cuantificar aspectos del sistema que se está formando y en ese sentido pueden ser:

- **Cualitativos o conceptuales:** pueden usar figuras, gráficos o descripciones causales, en general para predecir si el estado del sistema irá en determinada dirección o si aumentará o disminuirá alguna magnitud.
- **Cuantitativos o numéricos:** usan números para representar aspectos del sistema y generalmente incluyen fórmulas y algoritmos matemáticos más o menos complejos que relacionan los valores numéricos.

#### 1.4.2.3 Según la aleatoriedad

Según si a una entrada o situación inicial concreta, pueden corresponder o no diversas salidas o resultados, los modelos se clasifican en:

- **“Modelos determinísticos:** son aquéllos donde se supone que todos los datos pertinentes se conocen con certeza. Es decir en ellos se supone que cuando el modelo sea analizado se tendrá disponible toda la información necesaria para tomar las decisiones correspondientes”. (5:18)
- **“Modelos probabilísticos o estocásticos:** algunos elementos no se conocen con certeza. Es decir en los modelos probabilísticos se

presupone que algunas variables importantes, llamadas variables aleatorias, no tendrán valores conocidos antes que se tomen las decisiones correspondientes, y que ese desconocimiento debe ser incorporado al modelo”. (2:19)

#### 1.4.2.4 Según su aplicación u objetivo

Para la aplicación en los distintos campos se describen los siguientes:

- **Modelo de simulación o descriptivo:** “el objetivo consiste en crear un entorno en el cual se pueda obtener información sobre posibles acciones. Alternativas a través de la experimentación basadas en un modelo Matemático”. (5: 507)
- **Modelo de optimización:** determina el punto exacto para resolver alguna problemática administrativa de producción o cualquier otra situación. “En un modelo de optimización, los valores de las variables de decisión son resultados. El modelo proporciona un conjunto de valores para las variables de decisión que maximiza (o minimiza) el valor de la función objetivo”. (5: 507)
- **Modelo de control:** para saber con precisión como está algo en una organización, investigación, área de operación, etc.

“Este modelo pretende ayudar a decidir qué nuevas medidas, variables o qué parámetros deben ajustarse para lograr un resultado o estado concreto del sistema modelado”. (5: 507)

### 1.4.3 Construcción de modelos

Desarrollar modelos cuantitativos en un ambiente de negocios es de suma importancia, ya que para lograr la solución óptima, la esencia del problema debe ser representado por términos matemáticos.

El modelo matemático se construye primeramente para definir situaciones administrativas, que conducen a las variables de decisión, además sirve para identificar y definir de manera clara y concisa los objetivos, extrayendo el primordial, el que debe ser planteado de forma matemática, así también, el de las restricciones que son condiciones o limitantes del problema.

Como guía general el proceso de la construcción de un modelo se puede dividir en tres etapas:

- **Primera:** el estudio del ambiente. “el estudio del ambiente administrativo. Con frecuencia, el problema planteado no es una abstracción apropiada de la situación real. Muchas veces el problema planteado no es más que la descripción de un síntoma. Diversos factores, como conflictos en la organización, diferencias entre las metas personales y las de la empresa y la complejidad general de la situación, pueden ser obstáculos que afectan la comprensión clara de la situación”. (3:12)
- **Segunda:** la formulación de modelos incluye un análisis conceptual básico, en el cual es necesario hacer suposiciones y simplificaciones. Se requiere que el constructor del modelo seleccione o aísle del ambiente total, aquellos aspectos de la realidad que son pertinentes para la situación en cuestión.

**“Las entradas también conocidas como variables exógenas, se dividen de la siguiente manera:**

1. **decisiones**, variables que se pueden controlar, como las disposiciones que un gerente puede tomar para la resolución de un determinado inconveniente, es decir, las variables de decisión.
2. **parámetros**, variables que están bajo el control de otras personas o de la “Madre Naturaleza”.

**Las salidas, llamadas variables endógenas, se dividen en**

1. **medidas de desempeño**, variables que permiten medir el grado en el cual se han alcanzado las metas.
  2. **Variables de consecuencias**, muestran otras consecuencias que ayudan a entender e interpretar los resultados del modelo”. (3:13)
- **Tercera:** “son procesos integrados, siendo la formulación la que establece la forma lógica del modelo verbal o escrito y la construcción la que desarrolla las ecuaciones matemáticas que relacionarán entre si las variables contenidas de la formulación. La construcción del modelo puede ser menos crítica que la formulación. La razón es ésta: la formulación exige análisis, selectividad y decisiones con respecto a relevancia y objetivos; mientras que la construcción es por lo general un proceso más técnico, que implica una traducción al lenguaje matemático y la adaptación y uso de herramientas conocidas”. (3:14)

La aplicación de modelos matemáticos dentro de las organizaciones comerciales es de suma importancia para optimizar los recursos de la empresa, dentro de estos se establecen los modelos matemáticos determinísticos, en los que se

plantea la programación lineal, la cual proyecta el objetivo que se quiere optimizar dentro de un conjunto de limitaciones o restricciones.

## **1.5 PROGRAMACIÓN LINEAL**

Es una técnica matemática de solución a problemas, que requieren la definición de los valores de las variables involucradas en la decisión, para optimizar un objetivo a alcanzar, dentro de un conjunto de limitaciones o restricciones, que constituyen las reglas del juego. Ésta técnica permite analizar los recursos de producción para maximizar las utilidades y minimizar los costos, así mismo la guía para la toma de decisión y darle solución a un problema administrativo que se suscite en cualquier empresa.

“La programación lineal utiliza un modelo matemático para describir el problema. El adjetivo lineal significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales. La palabra programación en esencia es sinónimo de planeación. Por lo tanto, la programación lineal involucra la planeación de las actividades para obtener un resultado óptimo; esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada, de acuerdo con el modelo matemático, entre todas las alternativas factibles”. (5:25)

### **1.5.1 Supuestos de la programación lineal**

“En la realidad, los supuestos de programación lineal están implícitos en la formulación de modelos;” los supuestos simplemente son que el modelo debe tener una función objetivo lineal sujeta a restricciones lineales. Sin embargo, desde el punto de vista de modelación, estas propiedades matemáticas de un modelo de programación lineal implican que se deben considerar ciertos supuestos acerca de las actividades y datos del problema que será modelado, incluso algunos acerca del efecto de las variaciones en el nivel de las actividades”. (5:37)

Entre ellos se mencionan:

De acuerdo a Frederick Hillier y Lieberman “el supuesto de certidumbre, supone que los valores asignados a cada parámetro de un modelo de programación lineal son constantes conocidas”. (5:43)

“Supuesto de aditividad, cada función de un modelo de programación lineal, sea en la función objetivo o en el lado izquierdo de las restricciones funcionales, es la suma de las contribuciones individuales de las actividades respectivas”. (5:40)

### **1.5.2 Forma de expresión**

La forma en que se expresan matemáticamente los problemas de programación lineal, es de la siguiente manera: Cuando es lineal la función que se desea maximizar o minimizar. Una función lineal en  $\mathbf{x}$ , y  $\mathbf{y}$ , tiene la forma:

$$\text{MAX } Z = ax + by \quad \text{ó} \quad \text{MIN } Z = ax + by$$

En donde  $a$  y  $b$  son constantes. También se requerirá, que las restricciones correspondientes estén representadas mediante un sistema de desigualdades lineales, que implican “ $\leq$ ” o bien “ $\geq$ ” o ecuaciones lineales en  $\mathbf{x}$  y  $\mathbf{y}$ , y que todas las variables sean no negativas. A un problema en el que intervienen todas estas condiciones se les denomina problema de programación lineal.

### **1.5.3 Formulación de un problema de programación Lineal**

Cada problema de programación lineal se formula analizando detenidamente el enfoque del problema que se desea solucionar e identificando claramente sus componentes principales, los cuales son las variables de decisión, función objetivo y restricciones del problema.

- **Definición de las variables de decisión:** establecer los parámetros que conforman el modelo de programación lineal representados simbólicamente.
- **Formulación de la función objetivo:** muestra la relación existente, por ejemplo entre la producción total y la utilidad máxima que se pretende alcanzar o bien, el mínimo costo para llevar a cabo dicha producción, o cualquier otro objetivo que se desee alcanzar.
- **Planteamiento de las restricciones:** es necesario formular limitaciones o restricciones, que permitan observar las condiciones con que se cuenta para resolver el problema, ya que hay recursos limitados.

#### 1.5.4 Conceptos de formulación del modelo de programación lineal

Para comprender la construcción de un problema de programación lineal y la elaboración de un modelo matemático, se describen algunos conceptos cuya utilización es necesaria.

##### 1.5.4.1 Función objetivo

La función objetivo, es una relación entre variables de decisión y un objetivo único estimado, es decir, una expresión matemática dada como una función lineal que se va a maximizar o minimizar, expresada de la siguiente forma:

$$\text{FO: Maximizar o Minimizar } Z = X_1 + X_2 + X_3.$$

<b>Dónde:</b>	<b>F.O.</b> Función objetivo.
	<b>Z</b> Objetivo a alcanzar
	<b>X</b> Variables de decisión

“Todos los modelos de programación lineal tienen dos características importantes en común. La primera es la existencia de restricciones. La segunda es que en cada modelo de programación lineal hay una sola medida de desempeño por maximizar o minimizar, quien toma las decisiones desea maximizar generalmente ganancias, rendimiento, eficiencia o efectividad o minimizar por lo común, costo o tiempo”. (3:69)

#### 1.5.4.2 Variables de decisión

“Se establecen para definir el problema matemáticamente, a menudo simplemente llamadas “variables”, o llamadas “controlables” porque se tienen cierto control sobre sus valores asignados, y el administrador puede formularlas”. (3:72)

Las variables de decisión son números reales mayores o iguales a cero ( $X_i \geq 0$ ). Estas dependen del tipo de problema que se requiere resolver, estas variables desconocidas pueden ser unidades a producir, recursos a distribuir, etc. usualmente designadas como  $X_1: X_2: X_3 \dots X_n$ , que proporcionan una solución óptima al problema.

#### 1.5.4.3 Restricciones

Cuando se buscan los valores de las variables de decisión que maximizan o minimizan el valor de la función objetivo, se está sujeto a varias limitaciones, requerimientos o relaciones incontrolables, que reflejan el hecho de que los recursos están limitados, por lo que estas necesidades se expresan como ecuaciones lineales y/o inecuaciones:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_n \leq o \geq b_1$$

**Dónde:**            **X** Variables de decisión.  
                      **b<sub>1</sub>** Requerimiento, limitaciones o disponibilidades

Eppen, G.D. sobre las restricciones dice: "Son las limitaciones o restricciones impuestas sobre las decisiones permisibles. Las restricciones se presentan generalmente en dos formas: limitaciones y requerimientos. Las restricciones pueden subdividirse aún más para reflejar las limitaciones y requerimientos físicos, económicos y exigencias de política operativa". (3:68)

### **1.5.5 Aplicaciones**

La programación lineal es ampliamente utilizada y sobre todo muy efectiva para la resolución de problemas. En las aplicaciones administrativas pueden incluir cientos de variables y miles de restricciones, pero es posible acomodarlas y hacer cambios menores al contexto del planteamiento del problema, para poder encontrar la mejor solución. Para ello se mencionan algunos ejemplos a los cuales puede aplicarse: asignación de gastos de combustibles, programación de rutas de entrega y la planeación de la fuerza de trabajo en el departamento de transporte.

### **1.5.6 Métodos de solución**

Los problemas de programación lineal se solucionan por los métodos gráfico, simplex, transporte y asignación

#### **1.5.6.1 Método gráfico**

El método gráfico es también conocido como método geométrico y es aplicable a problemas de programación lineal, donde únicamente intervienen dos variables, con éste método se busca maximizar o minimizar una función objetivo, sujeta a ciertas restricciones lineales, utilizando el cuadrante positivo de las coordenadas cartesianas, con el trazo de rectas horizontales, verticales y diagonales para determinar un área de solución común. Una de las ventajas del método gráfico es que es fácil de aprender, ya que el proceso resuelve sistemas de

inecuaciones de primer grado y, una desventaja, es que solo es útil con modelos que tienen dos incógnitas.

“Uno de los métodos más factibles de solución de problemas de dos variables es el método gráfico”. (10:103)

#### **1.5.6.2 Método simplex**

“una propiedad general del método simplex es que resuelve la programación lineal en iteraciones. Cada iteración desplaza la solución a un nuevo punto esquina que tiene potencial de mejorar el valor de la función objetivo. El proceso termina cuando ya no se pueden obtener mejoras”. (10:71)

El método simplex implica un procedimiento en forma algebraica que permite mejorar una solución básica, hasta encontrar un programa óptimo. Éste método es factible para la solución de problemas de programación lineal que tienen más de dos variables de decisión.

##### ➤ **Maximización**

Se utiliza para obtener una combinación óptima de las variables de decisión, con el fin de maximizar la función objetivo, como ejemplo, el rendimiento de utilidades.

##### ➤ **Minimización**

Se obtiene por medio de un procedimiento algebraico, el cual llega a una combinación óptima, como ejemplo, minimizar costos de producción.

A excepción de la cantidad disponible, la asignación de cantidades a los distintos destinos no son una restricción la cual utiliza el método gráfico y el método

simplex, es decir que cada uno de los orígenes puede proveer todo, parte o nada de su oferta, para satisfacer la demanda de los destinos.

## **1.6 MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

Para el modelo de la programación lineal, pueden aplicarse los siguientes:

### **1.6.1 Modelo de asignación**

El objetivo del modelo es determinar la asignación óptima, la menos costosa o la de mejor rendimiento en un problema determinado. Para la resolución del modelo de asignación pueden emplearse dos métodos los cuales son: maximización y minimización.

“En muchos problemas de decisión es necesario asignar un elemento de un grupo (como una máquina, un empleado, un vehículo, etc.), a un elemento de un segundo grupo (como una tarea, un proyecto, una zona, etc.)”. (6:440)

#### **1.6.1.1 Método de maximización**

Toda variable positiva, como por ejemplo ventas, producción, rendimientos, ingresos o sea aquella que favorece a la empresa, debe maximizarse.

#### **1.6.1.2 Método de minimización**

Este método se utiliza cuando existe algo que desfavorece a la empresa, toda variable negativa para la empresa, como errores, costos, pérdidas, se debe minimizar.

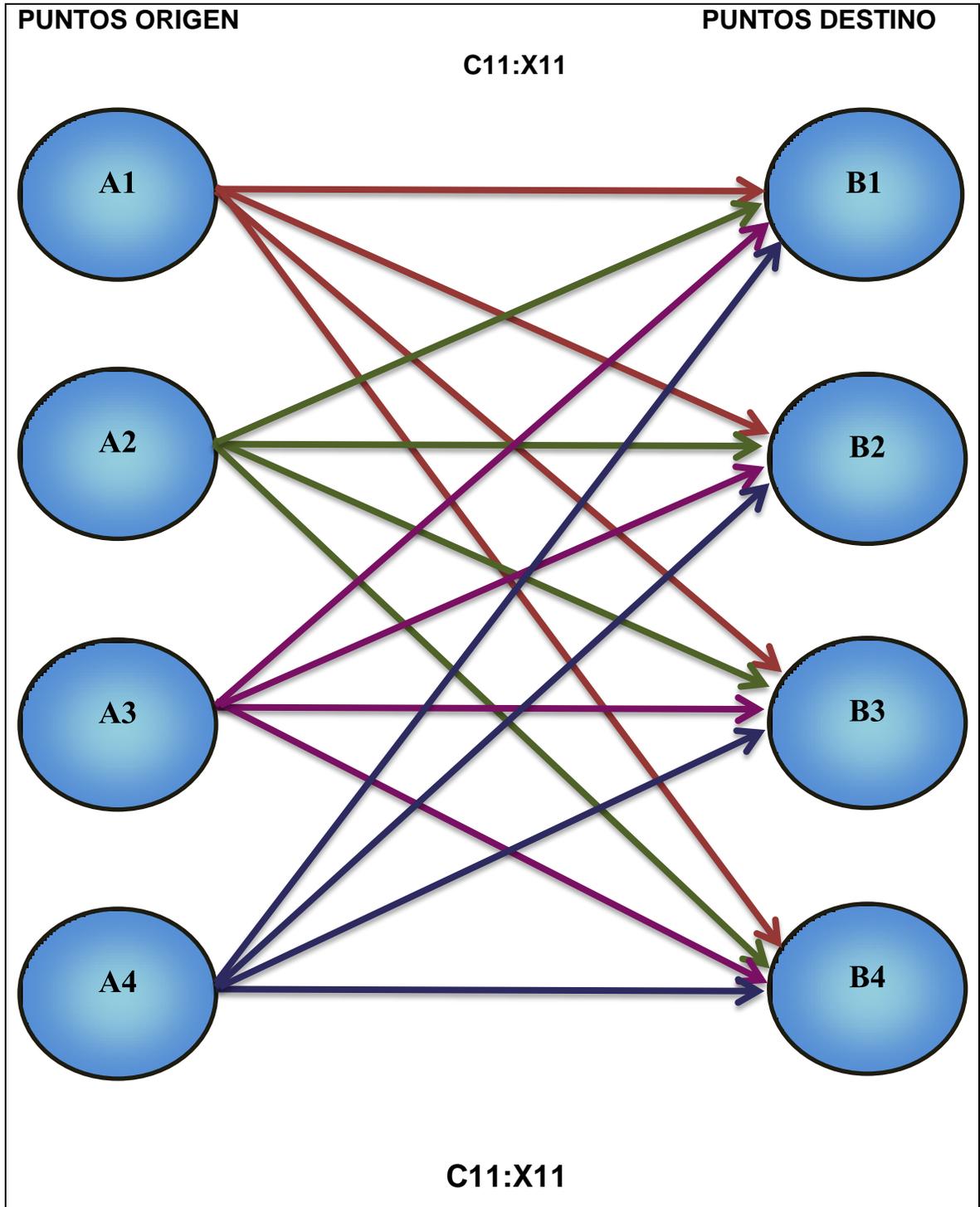
### **1.6.2 Modelo de transporte**

“El modelo de transporte es una clase especial de problema de programación lineal. Trata la situación en la cual se envía a un bien de los puntos de origen, a

los puntos de destino. El objetivo es determinar las cantidades enviadas desde cada punto de origen hasta cada punto de destino, que minimicen el costo total de envío, al mismo tiempo que satisfagan tanto los límites de la oferta como los requerimientos de la demanda. El modelo supone que el costo de envío en una ruta determinada es directamente proporcional al número de unidades enviadas en esa ruta. En general, el modelo del transporte se puede ampliar a otras áreas, además del transporte directo de un bien, incluyendo, entre otras, control de inventarios, horarios de empleo y asignación de personal”. (11:165)

“El problema general está representado por la red en la figura 1. Hay  $m$  puntos de origen (fuentes) y  $n$  puntos de destinos, cada uno representado por un nodo. Los arcos, representados en la figura 1 por flechas, que unen los puntos de origen con los puntos de destino representan las rutas entre los puntos de origen y destino. El arco  $(i, j)$  que une el punto de origen  $i$  con el punto de destino  $j$ , incluye dos fragmentos de información: (1) el costo de transporte por unidad,  $C_{ij}$ , y (2) la cantidad enviada,  $X_{ij}$ . La cantidad de la oferta en el punto de origen  $i$  es  $a_i$  y la cantidad de la demanda en el punto de destino  $j$  es  $b_j$ . El objetivo del modelo es determinar las  $X_{ij}$  desconocidas que minimizarán el costo total del transporte, mientras satisfacen todas las restricciones de la oferta y la demanda.” (13:166)

FIGURA 1  
RED DE PUNTOS ORIGEN A PUNTOS DESTINO



Fuente: Taha H.A. 1998. Investigación de Operaciones una Introducción. México, página 166

### 1.6.2.1 Función objetivo del modelo de transporte

El objetivo del modelo de transporte es determinar la cantidad que se enviará de cada fuente a cada destino, de tal forma que se minimice el costo de transporte total y en ese sentido, el costo de una ruta es directamente proporcional al número de unidades que van a ser transportadas. Representación del planteamiento matemático, del modelo de transporte:

Si  $X_{ij}$  representa la cantidad transportada desde la fuente  $i$  al destino  $j$ , entonces, la forma general de programación lineal que representa el modelo de transporte es:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

<b>Dónde:</b>	<b>Z</b> función objetivo
	<b><math>\Sigma</math></b> sumatoria
	<b>m</b> Fuente
	<b>n</b> destino
	<b>C</b> costo de transporte unitario
	<b>i</b> Origen
	<b>j</b> destino
	<b>X</b> cantidad transportada

### 1.6.2.2 Restricciones del modelo de transporte

La función objetivo está sujeta a las restricciones de fuente y de destino, de la siguiente forma:

$$1) \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq a_i, i=1, 2, \dots, m$$

$$2) \sum_{i=1}^m X_{ij} \geq b_j, j=1, 2, \dots, n$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ para todas las } i \text{ y } j$$

La primera restricción describe que la suma total de los envíos desde una fuente no puede ser mayor que el total de su oferta; en forma similar, la segunda restricción requiere que la suma de los envíos a un destino satisfaga su demanda.

En la vida real, no necesariamente la oferta debe ser igual a la demanda, puede ser mayor la oferta a la demanda o viceversa. Sin embargo, un modelo de transporte para ser aplicado debe equilibrarse; esto quiere decir, que la oferta debe de sumar lo mismo que la demanda, de lo contrario habrá que crear una columna o fila ficticia, según sea el caso para equilibrarse.

### **1.6.3 Matriz de origen y destino**

La matriz de transporte está formada por filas y columnas, en la primera fila se ubican los destinos y en la primera columna los orígenes. En la última columna se ubica la oferta disponible en cada origen y en la última fila la demanda insatisfecha en cada destino; en las mini celdas ubicadas en el extremo derecho de cada celda se ubica el costo de transporte por una unidad, del origen al destino. Y en las demás celdas vacías se asignará la cantidad según el método de aplicación. La celda marcada es la celda ficticia que se debe agregar cuando un problema no es homogéneo.

**FIGURA 2**  
**MATRIZ DE ORIGEN Y DESTINO**

De \ A	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	B
O1	c x	c	c	c	c	c	0	
O2	c	c x	c	c	c	c	0	
O3	c	c	c x	c	c	c	0	
O4	c	c	c	x c	x c	x c	x 0	
<b>A</b>								<b>TOTAL</b>

Fuente: Taha H.A. 1998. Investigación de Operaciones una Introducción. México, página 165

**Dónde:**

- O** Origen
- D** Destino
- C** Costo unitario
- X** Cantidad asignada
- A** Demanda
- B** Oferta

**1.6.3.1 Origen (O)**

“Lugar de donde se envían las unidades disponibles. Punto de partida para iniciar el recorrido de la distribución de cualquier mercancía, por ejemplo, de una bodega o fábrica y cada cual debe de tener una cantidad mínima de insumos”.  
(5:324)

### **1.6.3.2 Destino (D)**

“Lugar que recibe las unidades requeridas. “Centro de recepción de pedidos por ejemplo: insumos que fueron solicitados para consumir, ensamblar productos, o que puedan ser destinados para la venta”. (5:324)

### **1.6.3.3 Costo de transporte unitario (C)**

“Es lo que cuesta, en cantidad monetaria, enviar una unidad del punto de origen al punto de destino. En términos financieros es el costo total del transporte que se incurre en trasladar un envío”. (5:324)

### **1.6.3.4 Oferta (O)**

“Cantidad disponible en unidades en el origen. Una determinada empresa debe de poseer un inventario mínimo de insumos que estén disponibles (oferta) para abastecer a los clientes”. (5:324)

### **1.6.3.5 Demanda (D)**

“Cantidad requerida en unidades en el destino. Son los requerimientos que los clientes realizan frecuentemente en un tiempo establecido, para abastecerse a sí mismos y a sus demandas de unidades que reciben de los orígenes”. (5:324)

## **1.7 TIPOS DE MODELOS DE TRANSPORTE**

De acuerdo con la demanda y la oferta el modelo de transporte puede clasificarse de la siguiente manera:

### **1.7.1 Equilibrado**

La sumatoria de las cantidades disponibles en el origen (oferta), es igual a la sumatoria de las cantidades requeridas en el destino (demanda).

OFERTA		DEMANDA	
ORIGEN	DISPONIBILIDAD	DESTINO	REQUERIMIENTO
B1	50	T1	75
B2	60	T2	125
B3	40	T3	30
B4	150	T4	70
<b>Total</b>	<b>300</b>	<b>Total</b>	<b>300</b>

### 1.7.2 No equilibrado

La sumatoria de las cantidades en el origen (oferta), no es igual a la sumatoria de las cantidades de los requerimientos en el destino (demanda). En este caso, es necesario crear un origen o un destino ficticio, dependiendo si la oferta es mayor a la demanda o inversamente, en la mini celda donde se ubica el costo se escribe cero.

OFERTA		DEMANDA	
ORIGEN	DISPONIBILIDAD	DESTINO	REQUERIMIENTO
B1	50	T1	50
B2	60	T2	75
B3	40	T3	25
B4	150	T4	70
<b>Total</b>	<b>300</b>	<b>F</b>	<b>80</b>
		<b>Total</b>	<b>300</b>

### 1.8 MÉTODOS DE SOLUCIÓN

Entre otros, están los de solución factible para optimizar la distribución de determinados como el método de Esquina Nor-Oeste (ENO), Mínimo costo (MC) y El Método de aproximación de Vogel (MAV) y un método de evaluación como lo es el de multiplicadores (pasos secuenciales).

### 1.8.1 Esquina Nor-Oeste (ENO)

“Este método se desarrolla, distribuyendo las unidades empezando con la esquina Nor-oeste hasta obtener un programa de distribución factible”. (13:181)

#### **Pasos:**

1. Determinar si es un problema equilibrado (oferta=demanda), si no es así, agregar un origen ficticio si la oferta es menor a la demanda o un destino ficticio si la demanda es menor a la oferta.
2. Construir la matriz de origen y destino.
3. Se principia asignando en la celda de la esquina nor-oeste, celda de la primera fila y primera columna, una cantidad que agote la oferta o satisfaga la demanda.
4. Ajustar las cantidades de oferta y demanda, restando la cantidad asignada, cancelando las celdas en las cuales ya no sea posible asignar alguna cantidad.
5. Si se agota la oferta, la siguiente asignación se hace en la celda de abajo; si quedó satisfecha la demanda, la siguiente asignación se hace en la celda de la derecha, las ofertas se agotan recorriendo de izquierda a derecha y las demandas se satisfacen recorriendo de arriba hacia abajo.
6. El proceso termina hasta que todas las ofertas y todas las demandas sean iguales a cero.
7. Elaborar el programa de distribución.

8. Respuesta.

### **1.8.2 Mínimo costo (MC)**

“Se inicia localizando la celda de menor costo y se asignan las unidades que sean Posibles y así sucesivamente, hasta agotar las ofertas y satisfacer las demandas”. (13:182)

#### **Pasos:**

1. Determinar si es un problema equilibrado (oferta=demanda), si no es así, agregar un origen ficticio si la oferta es menor a la demanda o un destino ficticio si la demanda es menor a la oferta.
2. Construir la matriz de origen y destino.
3. Identificar la celda con el menor costo (NO CERO), dentro de todas las celdas descubiertas, y asignarle una cantidad que agote la oferta o satisfaga la demanda, si hubiera dos o más celdas con el mismo costo menor, se asigna arbitrariamente.
4. Ajustar las cantidades de oferta y demanda, restando la cantidad asignada, cancelando las celdas en las cuales ya no sea posible asignar alguna cantidad.
5. Repetir los pasos 3 y 4 hasta que todas las ofertas y todas las demandas sean igual a cero.
6. Elaborar el programa de distribución.
7. Respuesta.

### 1.8.3 Método de aproximación de Vogel o multas (MAV)

“Cada asignación se determina por la multa mayor de filas y columnas de la matriz origen y destino, al costo mínimo”. (13:183)

#### **Pasos:**

1. Determinar si es un problema equilibrado (oferta y demanda), si no es así, agregar un origen ficticio si la oferta es menor a la demanda, o un destino ficticio, si la demanda es menor a la oferta.
2. Construir la matriz de origen y destino.
3. Para cada fila y cada columna con oferta y demanda estrictamente positiva, calcular una multa, llamada también costo penal o costo de penalización, la cual se obtiene restando el valor del elemento, de costo por unidad menor, en la fila o columna, del siguiente valor del elemento, de costo por unidad menor, en la misma fila o columna. Dos costos iguales se consideran como uno.
4. Identificar la fila o la columna con la multa de mayor valor (los empates se resuelven arbitrariamente). En esa fila o columna identificar la celda con el menor costo (no cero), y asignarle una cantidad que agote la oferta o satisfaga la demanda.
5. Ajustar las cantidades de oferta y demanda, restando la cantidad asignada, cancelando las celdas en las cuales ya no sea posible asignar alguna cantidad.
6. Repetir, los pasos 3, 4 y 5, hasta que todas las ofertas y todas las demandas sean iguales a cero.

7. Elaborar el programa de distribución.

8. Respuesta

#### **1.8.4 Método de multiplicadores (Pasos secuenciales)**

“Es uno de los métodos de evaluación para obtener un costo óptimo para la solución original, obtenida a través de cualquiera de los métodos anteriormente citados. En este procedimiento se van formulando secuencias por medio de pasos que se deben de dar, evaluando los costos marginales, (costos que son el valor numérico positivo o negativo, resultado de sumar en forma algebraica los costos que intervienen en una ruta, correspondiente a una celda desocupada, una ruta es el recorrido que se debe realizar para determinar el costo marginal, si es positivo aumenta el costo total y si es negativo lo disminuye), que empieza con una primera solución del problema de transporte, tal como el que produce el método de la esquina noroeste, mínimo costo o aproximación de vogel o multas, para encontrar por medio de comparación la solución óptima”. (13:184)

Lo que se intenta es usar todas las rutas, de modo que la solución se mantenga factible y que se mejore o disminuya el valor de la función objetivo. El procedimiento cesa cuando no hay cambio de rutas que mejoren el valor de la función objetivo. La solución que tenga esta propiedad será la óptima.

Para hacer un evaluación del programa de transporte, elaborado por el método de esquina noroeste, mínimo costo o de voguel, se usa el método de multiplicadores.

#### **Pasos:**

1. Calculo de los costos marginales.

1.1 Para su cálculo se toma como base un ciclo que parte de la celda vacía llamada inicial, que en este caso es la celda a<sub>15</sub>, seguidamente conducirse a lo largo de la fila o columna y seleccionar una celda ocupada que le permita girar, y luego conducirse a lo largo de la columna o fila, seleccionar otra celda ocupada en el cual se pueda girar nuevamente, seguir a lo largo de las filas o columnas hasta regresar a la celda de inicio.

1.2 El costo marginal, de enviar unidades a lo largo de cada una de las rutas no usadas; es decir, de las celdas vacías, se obtiene distribuyendo una unidad en una celda vacía en fila y columna sin utilizar las restantes celdas vacías y para compensar esta restricción de demanda en la columna, se debe asignar una unidad menor en alguna celda ocupada de la columna, al realizar esto, se establece que se ha disminuido en el suministro de la fila y para compensar esta restricción, se debe asignar una unidad adicional en alguna celda ocupada de la fila; el cambio significa que se ha excedido en una unidad la demanda de la columna y para compensar la restricción de demanda se debe asignar una unidad menos en alguna celda ocupada de la columna. Como se muestra a continuación.

Costo marginal para la celda a<sub>15</sub>

4.11	4.46	7.09	7.44	+	12.81	15.03	0
108	-	17			<b>INICIO</b>		
10.03	11.29	14.21	10.24		8.49	16.25	0
7		75					63
11.12	11.41	14.27	8.31	-	7.44	+	14.33
			50		75	8	
11.58	9.77	13.80	10.71		7.67	57	13.45
	88	+					-

$$a_{15} = 12.81 - 7.44 + 14.33 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 11.56$$

Este mismo proceso se realiza para todas las celdas vacías existentes (celdas en donde no existe asignación) en la matriz de origen y destino.

2. Si todos los costos marginales son iguales o mayores que cero, se habrá encontrado la solución óptima. Si hay negativos, elíjase la celda que dio el costo marginal menor (los empates se resolverán arbitrariamente).

3. Redistribución, los pasos a seguir para realizarla son los siguientes:

3.1 Localizar el ciclo que le dio el menor costo marginal.

3.2 Determinar la cantidad a redistribuir, comparando los costos de las celdas con signo negativo del ciclo, eligiendo la menor asignación.

3.3 Asignar la cantidad elegida, en el subpaso 3.2, a la celda inicial, sumando y restando las unidades de cada celda ocupada de acuerdo al ciclo elegido.

4. Calcular nuevamente costos marginales. Dejar de calcular costos marginales, cuando todos sean cero o mayor a cero.

## **CAPITULO II**

### **SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

Para dar a conocer la situación actual de la empresa, el presente capítulo expone los antecedentes, misión, visión, objetivos, estructura organizacional, actividad comercial y los resultados obtenidos en la investigación de campo, en la que se realizó un recorrido para determinar la distancia recorrida por cada unidad de transporte y así mismo se realizó una entrevista al personal financiero, con el objeto de reunir la información necesaria y de esta manera obtener resultados más objetivos.

#### **2.1 ANTECEDENTES**

La organización está constituida como una sociedad anónima, que se dedica a la comercialización y distribución de productos alimenticios: maíz, frijol, azúcar, arroz, productos enlatados, lácteos, entre otros artículos de primera necesidad. Su inicio fue como una pequeña abarrotería en la zona 4, lugar en donde actualmente se ubican las oficinas centrales.

El giro primordial del negocio es la comercialización de productos de primera necesidad, en todo el departamento de Guatemala, así mismo su objetivo principal es alcanzar todo el mercado nacional e internacional, ofreciendo productos de primera calidad a precios accesibles a los clientes.

La empresa ha crecido de tal manera, que cuenta con cuatro bodegas distribuidas de la siguiente forma: zona 1, la Florida zona 19, las Ilusiones zona 7 de Mixco y la zona 10 de Mixco la Comunidad. Actualmente cuenta con seis tiendas las cuales se encuentran ubicadas en la zona 1, 4, 6,7, zona 8 de Mixco y zona 3 de Villa nueva.

Entre sus metas propuestas a corto plazo está la apertura de una nueva sucursal en la zona 18 para brindar un mejor servicio a los clientes reales y potenciales de la empresa; como también extender la cartera de sus clientes y proveer un servicio de primera calidad.

### **2.1.1 Misión**

“Somos una mediana empresa creada en Guatemala con el fin de proporcionar productos de primera calidad a bajos precios a cada uno de nuestros clientes para la satisfacción de sus necesidades, y contribuir con la economía de la sociedad guatemalteca”. (12:SP)

### **2.1.2 Visión**

“Ser una empresa líder proveedora de productos alimenticios en Guatemala una organización competitiva a nivel nacional, así mismo tener una mejora continua en la venta de nuestros productos”. (12:SP)

### **2.1.3 Objetivos**

“El objetivo principal de la empresa es llegar a ser la mejor cadena de tiendas de productos de primera necesidad.

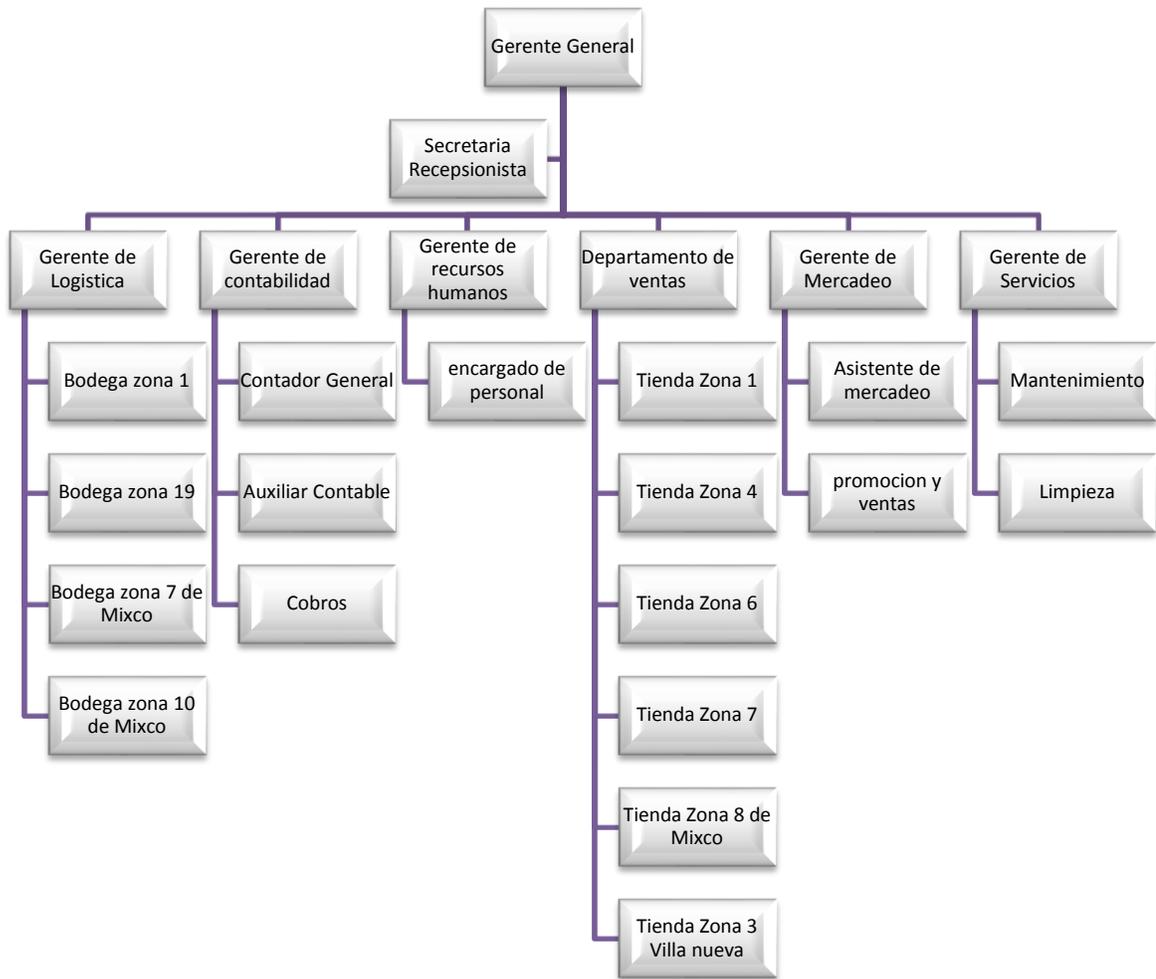
1. Localización conveniente de sus tiendas
2. Surtido de mercadería de primera calidad
3. Equipo de ventas especializado y cortés
4. Entrega puntual de los productos a menor costo”. (12:SP)

## 2.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Para el funcionamiento administrativo y operativo de la empresa el equipo de trabajo se compone de personal capacitado y con experiencia en las áreas siguientes:

- **Gerencia general:** se encarga de la representación legal de la empresa, planificar, organizar, dirigir y controlar las actividades de la organización.
- **Logística:** departamento encargado del control y manejo adecuado de los inventarios con que cuenta la empresa, así como de realizar las compras de los productos y supervisión de la calidad de éstos.
- **Contabilidad:** lleva el control de los estados financieros, elaboración del presupuesto de ingresos y egresos de la organización en general, control de los pagos de impuestos, pagos de los proveedores y acreedores etc.
- **Recursos humanos:** es el encargado de proveer el personal a la empresa, selección y reclutamiento de personal, para que la empresa cuente con colaboradores capacitados para las tareas que se les asigne.
- **Ventas:** se encarga de la distribución de los productos; de la elaboración de órdenes de pedidos y reporte de ventas de las diferentes sucursales.
- **Mercadeo:** departamento encargado de la publicidad y promoción de los diferentes productos que la comercializadora ofrece al mercado.

**GRÁFICA 1**  
**ORGANIGRAMA GENERAL ACTUAL**  
**COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS**



**Fuente:** información proporcionada por la empresa, septiembre 2013

## **2.3 ACTIVIDAD COMERCIAL**

En la actualidad la Comercializadora y Distribuidora de Productos Alimenticios sigue proveyendo a todos sus consumidores, productos de primera necesidad tales como: enlatados, lácteos, granos básicos. La empresa realiza ventas al mayoreo las cuales se efectúan a través de sus seis distribuidores ubicados en la capital, los pedidos especiales son obtenidos por el personal del departamento de ventas para que la comercializadora realice las entregas en una fecha específica.

## **2.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Para la realización de la investigación se recopiló y analizó información que se obtuvo a través de: observación directa, entrevistas y la realización de un recorrido por las rutas de distribución.

Observación directa: ésta se realizó por medio de varias visitas a las instalaciones de la empresa, y a través de ello para poder inferir en la situación actual.

Entrevista: realizada al personal del departamento de contabilidad de la empresa.

### **2.4.1 Recolección de información**

Como primer punto se realizó una entrevista al gerente financiero de la empresa para obtener información sobre los costos de transporte de los productos. Así mismo consultar fuentes secundarias para la obtención de los precios de combustible.

## **2.4.2 Determinación de los kilómetros recorridos por ruta**

Para la determinación de la distancia transitada se efectuó un recorrido en las unidades para medir la distancia, así mismo se realizó una ficha para llevar control de los kilómetros por ruta de entrega de cada origen a cada destino, tomando en cuenta la lectura del odómetro de salida y entrada a la bodega.

## **2.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Con el propósito de cumplir con los objetivos y la comprobación de las hipótesis planteadas en esta investigación, este punto define el análisis y la determinación de los costos en los que incurre la empresa para transportar cada quintal de grano.

Para la realización de estos cálculos la empresa proporcionó los datos de los estados financieros, determinando que el costo de transporte está integrado por las siguientes cuentas: sueldo del piloto, sueldos de ayudantes, combustible y la depreciación del camión. Se consideraron 30 días de cada mes y una jornada laboral de 8 horas, 6 días laborales a la semana procediéndose a efectuar los cálculos correspondientes, en los que se presentan los costos incurridos por parte de la empresa para el transporte de los insumos.

### **2.5.1 Determinación de costos fijos (CF)**

Para establecer el valor actual de los CF se realizó un prorrateo mensual, diario y por hora el cual se muestra en el cuadro siguiente:

**CUADRO 1**  
**COSTOS DE TRANSPORTE**  
**CIFRAS EXPRESADAS EN QUETZALES**  
**COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA DE GRANOS BÁSICOS**  
**SEPTIEMBRE 2013**

Cuenta	Costo Mensual	Costo por Día (30 días)	Costo por Hora (8 horas)
Sueldo piloto	3000	100.00	12.50
Sueldo Ayudante 1	2500	83.33	10.42
Sueldo Ayudante 2	2500	83.33	10.42
Depreciación	6000	200.00	25.00
<b>TOTAL</b>	<b>14,000</b>	<b>466.67</b>	<b>58.34</b>

**Fuente:** información proporcionada por la empresa.

Se determinó que los costos fijos de transporte incurridos por la empresa son aproximadamente de Q58.34 por hora. Para determinar el costo fijo total, se debe establecer el tiempo que utilizan los repartidores para realizar cada entrega de mercancía, lo cual se distribuye de la siguiente manera.

**CUADRO 2**  
**ENTREGAS POR DÍA**  
**COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA DE GRANOS BÁSICOS**  
**SEPTIEMBRE 2013**

Día	No. De entregas por día
Lunes	6
Martes	5
Miércoles	5
Jueves	7
Viernes	6
Sábado	5
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>

**Fuente:** información proporcionada por la empresa.

En el cuadro anterior se presenta el número de entregas realizadas por cada día.

### **2.5.1.1 Determinación de entregas promedio**

Para determinar el promedio de entregas fue necesario conocer el total de éstas y el de días laborados, lo cual se presenta de la siguiente manera:

Datos:

Total de entregas: 34 (ver cuadro 2)                      Días laborados: 6

$$34/6= 5.67 \text{ Entregas al día promedio} = 6 \text{ entregas}$$

Por lo tanto se determinó que se realizan 5.67 entregas lo que se aproxima a 6 entregas promedio al día.

### **2.5.1.2 Determinación del tiempo de entrega**

Datos:

Jornada laboral: 8 horas                                      Entregas promedio: 6

$$\text{Tiempo estimado de entrega} = 8 / 6 = 1.333333333$$

El tiempo estimado de entrega es de 1 hora con 33 minutos aproximadamente.

### **2.5.1.3 Costo fijo total**

Se considera que el costo fijo en que incurre la empresa para la entrega de los productos es el siguiente:

Datos:

A = costo de transporte por hora: Q 58.34 (ver cuadro 1)

B = tiempo estimado de entrega: 1.333333333

$$C.F. = A*B = Q 77.78$$

Por lo tanto el costo fijo que se genera por entrega es de Q 77.78 por consiguiente el total del costo fijo diario es de Q 1,866.72 el cual se obtiene multiplicando las 24 rutas por el costo fijo el cual se muestra de la siguiente manera:

$$\text{Total costo Fijo} = Q 77.78 * 24 = Q 1,866.72$$

## **2.5.2 Determinación de los costos variables**

- Pago total de combustible realizado por la empresa.
- Establecer los kilómetros recorridos por cada trayecto de entrega.
- Determinar el costo de mantenimiento promedio.
- Capacidad efectiva del vehículo.

### **Datos**

- De acuerdo a la información proporcionada por la empresa, el costo de combustible es de Q 800.00  
Costo promedio de combustible por kilómetro recorrido  $Q 800 / 331.20\text{kmts} = Q 2.415458937$
- El total de kilómetros recorridos es de 331.20 kmts.
- El costo de mantenimiento de los vehículos es de Q 5,000.00  
Costo promedio de mantenimiento =  $Q 5000 / 331.20 \text{ kmts} = Q 15.09661836$
- La capacidad del vehículo es de 3 toneladas equivalentes a 30 quintales de granos.

**CUADRO 3**  
**DETERMINACIÓN DE COSTOS VARIABLES POR RUTA DE ACUERDO A LA**  
**ESTRUCTURA VIGENTE DE LA COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA**  
**DE GRANOS BÁSICOS**  
**SEPTIEMBRE 2013**

No. ruta	Recorrido		Km. Por Recorrido	Cts. De combustible por KM. Recorrido	Cts. Variable de combustible por Ruta	Cts. De mantenimiento por KM. Recorrido	Cts. Variable de mantenimiento por Ruta	TOTAL  Costo Variable
	De	A						
1	Zona 1	Zona 1	2,6	2,4155	6,2802	15,0966	39,2512	45,5314
2	Zona 1	Zona 4	3,2	2,4155	7,7295	15,0966	48,3092	56,0386
3	Zona 1	Zona 6	7,7	2,4155	18,5990	15,0966	116,2440	134,8430
4	Zona 1	Zona 7	8,3	2,4155	20,0483	15,0966	125,3019	145,3502
5	Zona 1	Zona 8 M.	17,5	2,4155	42,2705	15,0966	264,1908	306,4614
6	Zona 1	Zona 3 V.N	21,3	2,4155	51,4493	15,0966	321,5580	373,0072
7	Zona 19	Zona 1	13,2	2,4155	31,8841	15,0966	199,2754	231,1594
8	Zona 19	Zona 4	14,9	2,4155	35,9903	15,0966	224,9396	260,9300
9	Zona 19	Zona 6	19,9	2,4155	48,0676	15,0966	300,4227	348,4903
10	Zona 19	Zona 7	13,1	2,4155	31,6425	15,0966	197,7657	229,4082
11	Zona 19	Zona 8 M.	10,1	2,4155	24,3961	15,0966	152,4758	176,8720
12	Zona 19	Zona 3 V.N	23,4	2,4155	56,5217	15,0966	353,2609	409,7826
13	Zona 7	Zona 1	14,6	2,4155	35,2657	15,0966	220,4106	255,6763
14	Zona 7	Zona 4	15,1	2,4155	36,4734	15,0966	227,9589	264,4324
15	Zona 7	Zona 6	20	2,4155	48,3092	15,0966	301,9324	350,2415
16	Zona 7	Zona 7	9,8	2,4155	23,6715	15,0966	147,9469	171,6184
17	Zona 7	Zona 8 M.	8,3	2,4155	20,0483	15,0966	125,3019	145,3502
18	Zona 7	Zona 3 V.N	20,1	2,4155	48,5507	15,0966	303,4420	351,9928
19	Zona 10	Zona 1	15,4	2,4155	37,1981	15,0966	232,4879	269,6860
20	Zona 10	Zona 4	12,3	2,4155	29,7101	15,0966	185,6884	215,3986
21	Zona 10	Zona 6	19,2	2,4155	46,3768	15,0966	289,8551	336,2319
22	Zona 10	Zona 7	13,9	2,4155	33,5749	15,0966	209,8430	243,4179
23	Zona 10	Zona 8 M.	8,7	2,4155	21,0145	15,0966	131,3406	152,3551
24	Zona 10	Zona 3 V.N	18,6	2,4155	44,9275	15,0966	280,7971	325,7246
		Σ	331,2		800		5000	5800

**Fuente:** elaboración propia, con datos proporcionados por la empresa septiembre 2013

**CUADRO 4**  
**DETERMINACIÓN DE COSTOS TOTALES POR RUTA DE TRANSPORTE DE**  
**LAS BODEGAS DE LA DISTRIBUIDORA A LAS TIENDAS**  
**SEPTIEMBRE 2013**

Recorrido		Costo fijo	Costo Variable	Costo total	Costo total semanal	Costo total mensual
De	A					
Zona 1	Zona 1	77,7866666	45,5314	123,32	739,9084	2959,63
Zona 1	Zona 4	77,7866666	56,0386	133,83	802,9516	3211,81
Zona 1	Zona 6	77,7866666	134,8430	212,63	1275,778	5103,11
Zona 1	Zona 7	77,7866666	145,3502	223,14	1338,8212	5355,28
Zona 1	Zona 8 M.	77,7866666	306,4614	384,25	2305,4884	9221,95
Zona 1	Zona 3 V.	77,7866666	373,0072	450,79	2704,7632	10819,05
Zona 19	Zona 1	77,7866666	231,1594	308,95	1853,6764	7414,71
Zona 19	Zona 4	77,7866666	260,9300	338,72	2032,3	8129,20
Zona 19	Zona 6	77,7866666	348,4903	426,28	2557,6618	10230,65
Zona 19	Zona 7	77,7866666	229,4082	307,19	1843,1692	7372,68
Zona 19	Zona 8 M.	77,7866666	176,8720	254,66	1527,952	6111,81
Zona 19	Zona 3 V.	77,7866666	409,7826	487,57	2925,4156	11701,66
Zona 7	Zona 1	77,7866666	255,6763	333,46	2000,7778	8003,11
Zona 7	Zona 4	77,7866666	264,4324	342,22	2053,3144	8213,26
Zona 7	Zona 6	77,7866666	350,2415	428,03	2568,169	10272,68
Zona 7	Zona 7	77,7866666	171,6184	249,41	1496,4304	5985,72
Zona 7	Zona 8 M.	77,7866666	145,3502	223,14	1338,8212	5355,28
Zona 7	Zona 3 V.	77,7866666	351,9928	429,78	2578,6768	10314,71
Zona 10	Zona 1	77,7866666	269,6860	347,47	2084,836	8339,34
Zona 10	Zona 4	77,7866666	215,3986	293,19	1759,1116	7036,45
Zona 10	Zona 6	77,7866666	336,2319	414,02	2484,1114	9936,45
Zona 10	Zona 7	77,7866666	243,4179	321,20	1927,2274	7708,91
Zona 10	Zona 8 M.	77,7866666	152,3551	230,14	1380,8506	5523,40
Zona 10	Zona 3 V.	77,7866666	325,7246	403,51	2421,0676	9684,27
	Σ	<b>1,866,88</b>	5800	7666,88	46001,28	184005,12

**Fuente:** elaboración propia, con datos proporcionados por la empresa septiembre 2013

**CUADRO 5**  
**DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE TRANSPORTE DE LAS**  
**BODEGAS DE LA DISTRIBUIDORA A LAS TIENDAS**  
**SEPTIEMBRE 2013**

Recorrido		Costo fijo	Costo Variable	Costo total por ruta	Costo total semanal	Costo total mensual	Capacidad Efectiva Del vehículo	costo por quintal
De	A							
Zona 1	Zona 1	77,7866666	45,5314	123,32	739,9084	2959,63	30	4,11
Zona 1	Zona 4	77,7866666	56,0386	133,83	802,9516	3211,81	30	4,46
Zona 1	Zona 6	77,7866666	134,8430	212,63	1275,778	5103,11	30	7,09
Zona 1	Zona 7	77,7866666	145,3502	223,14	1338,8212	5355,28	30	7,44
Zona 1	Zona 8 M.	77,7866666	306,4614	384,25	2305,4884	9221,95	30	12,81
Zona 1	Zona 3 V.	77,7866666	373,0072	450,79	2704,7632	10819,05	30	15,03
Zona 19	Zona 1	77,7866666	231,1594	308,95	1853,6764	7414,71	30	10,30
Zona 19	Zona 4	77,7866666	260,9300	338,72	2032,3	8129,20	30	11,29
Zona 19	Zona 6	77,7866666	348,4903	426,28	2557,6618	10230,65	30	14,21
Zona 19	Zona 7	77,7866666	229,4082	307,19	1843,1692	7372,68	30	10,24
Zona 19	Zona 8 M.	77,7866666	176,8720	254,66	1527,952	6111,81	30	8,49
Zona 19	Zona 3 V.	77,7866666	409,7826	487,57	2925,4156	11701,66	30	16,25
Zona 7	Zona 1	77,7866666	255,6763	333,46	2000,7778	8003,11	30	11,12
Zona 7	Zona 4	77,7866666	264,4324	342,22	2053,3144	8213,26	30	11,41
Zona 7	Zona 6	77,7866666	350,2415	428,03	2568,169	10272,68	30	14,27
Zona 7	Zona 7	77,7866666	171,6184	249,41	1496,4304	5985,72	30	8,31
Zona 7	Zona 8 M.	77,7866666	145,3502	223,14	1338,8212	5355,28	30	7,44
Zona 7	Zona 3 V.	77,7866666	351,9928	429,78	2578,6768	10314,71	30	14,33
Zona 10	Zona 1	77,7866666	269,6860	347,47	2084,836	8339,34	30	11,58
Zona 10	Zona 4	77,7866666	215,3986	293,19	1759,1116	7036,45	30	9,77
Zona 10	Zona 6	77,7866666	336,2319	414,02	2484,1114	9936,45	30	13,80
Zona 10	Zona 7	77,7866666	243,4179	321,20	1927,2274	7708,91	30	10,71
Zona 10	Zona 8 M.	77,7866666	152,3551	230,14	1380,8506	5523,40	30	7,67
Zona 10	Zona 3 V.	77,7866666	325,7246	403,51	2421,0676	9684,27	30	13,45
	Σ	1866,88	5800	7666,88	46001,28	184005,12		

**Fuente:** elaboración propia, con datos proporcionados por la empresa septiembre 2013

El cuadro anterior muestra los costos por cada quintal de grano que la empresa transporta de las bodegas a las tiendas distribuidoras. La comercializadora y distribuidora reporta actualmente las siguientes ofertas y demandas mensuales.

**CUADRO 6**  
**OFERTA PROMEDIO DE CADA BODEGA DE LA COMERCIALIZADORA**  
**(CIFRAS EXPRESADAS EN QUINTALES)**  
**SEPTIEMBRE 2013**

BODEGA	DIRECCIÓN	OFERTA PROMEDIO TOTAL MENSUAL	OFERTA PROMEDIO TOTAL SEMANAL
1	ZONA 1	500	125
2	ZONA 19	580	145
3	ZONA 7 DE MIXCO	530	132,5
4	ZONA 10 DE MIXCO	580	145

**Fuente:** oferta promedio, información proporcionada por la empresa septiembre 2013.

**CUADRO 7**  
**DEMANDA PROMEDIO DE LAS TIENDAS DE LA COMERCIALIZADORA**  
**(CIFRAS EXPRESADAS EN QUINTALES)**  
**SEPTIEMBRE 2013**

TIENDA	DIRECCIÓN	DEMANDA PROMEDIO TOTAL MENSUAL	DEMANDA PROMEDIO TOTAL SEMANAL
A	ZONA 1	460	115
B	ZONA 4	420	105
C	ZONA 6	300	75
D	ZONA 7	200	50
E	ZONA 8 DE MIXCO	300	75
F	ZONA 3 DE VILLA NUEVA	260	65

**Fuente:** demanda promedio, información proporcionada por la empresa septiembre 2013.

**CUADRO 8**  
**DISTRIBUCION ACTUAL DE GRANOS BASICOS DE LA**  
**COMERCIALIZADORA**  
**SEPTIEMBRE 2013**

ADE	A	UNIDADES	COSTO	COSTO TOTAL
ORIGEN	DESTINO	QUINTALES	EN QUETZALES	EN QUETZALES
ZONA 1	ZONA 1	15	4,11	61,65
ZONA 1	ZONA 4	15	4,46	66,9
ZONA 1	ZONA 6	10	7,09	70,9
ZONA 1	ZONA 7	16	7,44	119,04
ZONA 1	ZONA 8 M	20	12,81	256,2
ZONA 1	ZONA 3 VN	5	15,03	75,15
ZONA 19	ZONA 1	20	10,3	206
ZONA 19	ZONA 4	35	11,29	395,15
ZONA 19	ZONA 6	25	14,21	355,25
ZONA 19	ZONA 7	11	10,24	112,64
ZONA 19	ZONA 8 M	27	8,49	229,23
ZONA 19	ZONA 3 VN	17	16,25	276,25
ZONA 7	ZONA 1	35	11,12	389,2
ZONA 7	ZONA 4	30	11,41	342,3
ZONA 7	ZONA 6	25	14,27	356,75
ZONA 7	ZONA 7	3	8,31	24,93
ZONA 7	ZONA 8 M	13	7,44	96,72
ZONA 7	ZONA 3 VN	25	14,33	358,25
ZONA 10	ZONA 1	45	11,58	521,1
ZONA 10	ZONA 4	25	9,77	244,25
ZONA 10	ZONA 6	15	13,8	207
ZONA 10	ZONA 7	20	10,71	214,2
ZONA 10	ZONA 8 M	15	7,67	115,05
ZONA 10	ZONA 3 VN	20	13,45	269
	FICTISIA	63	0	0
	<b>TOTAL</b>	<b>548qq</b>		<b>5,363.11</b>

**Fuente:** información proporcionada por la empresa.

Luego de conocer la distribución actual de granos básicos que utiliza la empresa, la cual se muestra en el cuadro anterior, se obtuvo que el costo total en que incurre la comercializadora semanalmente por el transporte de los insumos es de Q 5,363.11, haciendo un total mensual de Q 21,452.44.

**CAPÍTULO III**  
**APLICACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA DETERMINAR EL  
PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN DE GRANOS BÁSICOS, PARA  
UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA Y DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS  
ALIMENTICIOS UBICADA EN LA CIUDAD CAPITAL**

### **3.1 JUSTIFICACIÓN**

La ausencia de controles de las rutas, no permite a la empresa determinar la distribución óptima de sus productos, por lo que es necesaria la implementación de un modelo matemático que permita optimizar el tiempo utilizado para la entrega de determinado producto. Con la aplicación del modelo de transporte, la comercializadora y distribuidora de productos alimenticios, podrá encontrar el programa óptimo de distribución que le permitirá reducir los costos de transporte, de sus bodegas a las tiendas.

### **3.2 APLICACIÓN**

Con los datos presentados en el capítulo II, se construirán las matrices de origen y destino para aplicar el modelo de transporte, y así poder obtener la distribución óptima para la minimización de los costos de transporte.

#### **3.2.1 Planteamiento de la función objetivo**

**Objetivo:** Minimizar costos

**Producto a Transportar:** Granos básicos

#### **3.2.2 Planteamiento de las restricciones**

**Orígenes:** Zona 1, Zona 19, Zona 7 de Mixco, Zona 10 de Mixco la comunidad.

**Destinos:** Zona 1, Zona 4, Zona 6, Zona 7, Zona 8 Mixco, Zona 3 Villa Nueva.

OFERTA		DEMANDA	
ORIGEN	DISPONIBILIDAD	Destino	Requerimiento
Zona 1	125	Zona 1	115
Zona 19	145	Zona 4	105
Zona 7 Mixco	133	Zona 6	75
Zona 10 Mixco	145	Zona 7	50
<b>Total Disponibilidad</b>	<b>548</b>	Zona 8 Mixco	75
		Zona 3 Villa Nueva	65
		* <b>FX</b>	63
		<b>Total Requerimiento</b>	<b>548</b>

\* **Nota:** fue necesario agregar un destino ficticio ya que la demanda no es homogénea con la oferta.

### 3.2.3 Construcción de la matriz de transporte

#### 3.2.3.1 Matriz de costo unitario por ruta y quintal de grano transportado

La matriz que se muestra a continuación representa los costos unitarios en los que la empresa incurre por cada quintal de grano que se transporta de la bodega a las tiendas (origen y destino) respectivos. Para la realización de la siguiente matriz fue necesario determinar la oferta y la demanda (disponibilidad y requerimientos) de la unidad en estudio. (Ver cuadro 2)

De \ A	Zona 1	Zona 4	Zona 6	Zona 7	Zona 8 Mixco	Zona 3 de Villa Nueva	Fx	OFERTA
Zona 1	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0	125
Zona 19	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0	145
Zona 7 Mixco	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0	133
Zona 10 Mixco	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0	145
<b>DEMANDA</b>	115	105	75	50	75	65	63	548

### 3.3 SOLUCIÓN

#### 3.3.1 Esquina Nor-oeste

Este método se inicia con la esquina nor-oeste de la matriz, es decir, con la celda superior izquierda asignando la cantidad necesaria de la oferta para satisfacer la demanda y cancelando las celdas en las que ya no es posible asignar alguna cantidad. En este caso se desarrolla distribuyéndose los 115 quintales en la celda a<sub>11</sub>; hasta obtener un programa de distribución factible.

De \ A	Zona 1	Zona 4	Zona 6	Zona 7	Zona 8 Mixco	Zona 3 de Villa Nueva	Fx	OFERTA
Zona 1	4.11 115	4.46 10	7.09	7.44	12.81	15.03	0	125
Zona 19	10.03	11.29 95	14.21 50	10.24	8.49	16.25	0	145
Zona 7 Mixco	11.12	11.41	14.27 25	8.31 50	7.44 58	14.33	0	133
Zona 10 Mixco	11.58	9.77	13.80	10.71	17 7.67	65 13.45	63 0	145
DEMANDA	115	105	75	50	75	65	63	548 548

ORIGEN	DESTINO	UNIDADES qq	COSTO UNITARIO Cifras en Q	COSTO TOTAL Cifras en Q
Zona 1	Zona 1	115	4.11	472.65
Zona 1	Zona 4	10	4.46	44.60
Zona 19	Zona 4	95	11.29	1,072.55
Zona 19	Zona 6	50	14.21	710.50
Zona 7	Zona 6	25	14.27	356.75
Zona 7	Zona 7	50	8.31	415.50
Zona 7	Zona 8 M	58	7.44	431.52
Zona 10	Zona 8 M	17	7.67	130.39
Zona 10	Zona 3 V	65	4.72	874.25
Zona 10	Zona Fx	63	0	00.00
	Σ	548		Q 4,508.71

### 3.3.2 Mínimo Costo

Se inicia localizando la celda de menor costo y se asignan las unidades que sean posibles y así sucesivamente, hasta agotar las ofertas y satisfacer las demandas.

De \ A	Zona 1	Zona 4	Zona 6	Zona 7	Zona 8 Mixco	Zona 3 de Villa Nueva	Fx	OFERTA
Zona 1	4.11 115	4.46 10	7.09	7.44	12.81	15.03	0	125
Zona 19	10.03	11.29	14.21 75	10.24	8.49	16.25 7	0 63	145
Zona 7 Mixco	11.12	11.41	14.27	8.31 50	7.44 75	14.33 8	0	133
Zona 10 Mixco	11.58 95	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45 50	0	145
DEMANDA	115	105	75	50	75	65	63	548 548

ORIGEN	DESTINO	UNIDADES <u>gg</u>	COSTO UNITARIO Cifras en Q	COSTO TOTAL Cifras en Q
zona 1	zona 1	115	4.11	472.65
zona 1	zona 4	10	4.46	44.60
zona 19	zona 6	75	14.21	1,065.75
zona 19	zona 3 V	7	16.25	113.75
zona 19	FX	63	0	0.00
zona 7 M	zona 7	50	8.31	415.50
zona 7 M	zona 8 M	75	7.44	558.00
zona 7 M	zona 3 V	8	14.33	114.64
zona 10 M	zona 4	95	9.77	928.15
zona 10 M	zona 3 V	50	13.45	672.50
	$\Sigma$	<b>548</b>		<b>Q 4,385.54</b>

### 3.3.3 Aproximación de Vogel o de Multas

Este método toma en cuenta los costos, las ofertas y las demandas para hacer las asignaciones correspondientes.

De \ A	zona 1	zona 4	zona 6	zona 7	zona 8 M	zona 3 v	Fx	OFERTA	M1	O	M2	O	M3	O	M4	O	M5	O	M6	O6	M7	O7
zona 1	4.11 50	4.46	7.09 75	7.44	12.81	15.03	0	125	0.35	50	0.35	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0
zona 19	10.03 65	11.29 35	14.21	10.24	8.49	16.25	0 45	145	1.54	145	1.54	145	1.54	145	0.21	145	1.26	145	1.26	145	1.26	80
zona 7 M	11.12	11.41	14.27	8.31 50	7.44	14.33 65	0 18	133	0.87	133	0.87	133	0.87	133	2.81	83	0.29	83	0.29	18	0.29	18
Zona 10 M	11.58	9.77 70	13.80	10.71	7.67 75	13.45	0	145	2.10	145	2.10	145	2.10	70	0.94	70	1.81	0	-	0	-	0
DEMANDA	115	105	75	50	75	65	63	548														
MULTA 1	5.92	5.31	6.71	0.87	0.23	0.88	-															
DEMANDA	115	105	0	50	75	65	63															
MULTA 2	5.92	5.31	-	0.87	0.23	0.88	-															
DEMANDA	65	105	0	50	75	65	63															
MULTA 3	1.09	1.52	-	1.93	0.23	0.88	-															
DEMANDA	65	105	0	50	0	65	63															
MULTA 4	1.09	1.52	-	1.93	-	0.88	-															
DEMANDA	65	105	0	0	0	65	63															
MULTA 5	1.09	1.52	-	-	-	0.88	-															
DEMANDA	65	35	0	0	0	65	63															
MULTA 6	1.09	0.12	-	-	-	1.92	-															
DEMANDA	65	35	0	0	0	0	63															
MULTA 7	1.09	0.12	-	-	-	-	-															
DEMANDA	0	35	0	0	0	0	63															
DEMANDA	0	0	0	0	0	0	0															

ORIGEN	DESTINO	UNIDADES qq	COSTO UNITARIO Cifras en Q	COSTO TOTAL Cifras en Q
zona 1	zona 1	50	4.11	205.50
zona 1	zona 6	75	7.09	531.75
zona 19	zona 1	65	10.03	651.95
zona 19	zona 4	35	11.29	395.15
zona 19	FX	45	0.00	0.00
zona 7 M	zona 7	50	8.31	415.50
zona 7 M	zona 3 V	65	14.33	931.45
zona 7 M	FX	18	0.00	00.00
zona 10 M	zona 4	70	9.77	683.90
zona 10 M	zona 8 M	75	7.67	575.25
	$\Sigma$	<b>548</b>		<b>Q 4,390.45</b>

### 3.4 COMPARACIÓN DE LOS PROGRAMAS FACTIBLES DE DISTRIBUCIÓN

ESQUINA NOR-OESTE	MINIMO COSTO	VOGEL O DE MULTAS
<b>Q 4,508.71</b>	<b>Q 4,385.54</b>	<b>Q 4,390.45</b>

De los programas de distribución factibles el que proporciona el mejor programa factible, es el método de mínimo costo con un total de Q. 4,385.54. Para determinar si el resultado de éste método es el programa óptimo, es necesario hacer una evaluación con el método de multiplicadores (pasos secuenciales).

### 3.5 METODO DE MULTIPLICADORES (PASOS SECUENCIALES)

Después de obtener un programa de transporte factible por cualquier método, se hace uso del método de los pasos secuenciales para encontrar el programa óptimo de distribución, para esto se realiza el cálculo de los costos marginales para cada celda vacía de la matriz de transportación. En este caso se utilizó la matriz de transporte a través del método mínimo, tomando en cuenta que es el programa con el menor costo total de distribución.

## MATRIZ PARA EL CÁLCULO DE LOS COSTOS MARGINALES

De \ A	Zona 1	Zona 4	Zona 6	Zona 7	Zona 8 Mixco	Zona 3 de Villa Nueva	Fx	OFERTA
Zona 1	4.11 115	4.46 10	7.09	7.44	12.81	15.03	0	125
Zona 19	10.03	11.29	14.21 75	10.24	8.49	16.25 7	0 63	145
Zona 7 Mixco	11.12	11.41	14.27	8.31 50	7.44 75	14.33 8	0	133
Zona 10 Mixco	11.58	9.77 95	13.80	10.71	7.67	13.45 50	0	145
DEMANDA	115	105	75	50	75	65	63	548 548

Costo marginal para la celda a<sub>13</sub>

4.11	-	4.46	+	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115		10	<b>INICIO</b>					
10.03		11.29	-	14.21	10.24	8.49	+	16.25
			75				7	63
11.12		11.41		14.27	8.31	7.44		14.33
					50	75	8	
11.58	+	9.77		13.80	10.71	7.67	50	13.45
	95						-	0

$$a_{13} = 7.09 - 14.21 + 16.25 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 0.99$$

Costo marginal para la celda a<sub>14</sub>

4.11	-	4.46		7.09	+	7.44	12.81	15.03	0
115		10			<b>INICIO</b>				
10.03		11.29		14.21		10.24	8.49	16.25	0
			75				7		63
11.12		11.41		14.27		8.31		14.33	0
					50	-	75	8	+
11.58	+	9.77		13.80	10.71	7.67	50	13.45	0
	95						-		

$$a_{14} = 7.44 - 8.31 + 14.33 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 5.32$$

Costo marginal para la celda a15

4.11	-	4.46		7.09		7.44	+	12.81		15.03		0
115		10						INICIO				
10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
			75						7		63	
11.12		11.41		14.27		8.31		7.44	+	14.33		0
					50		75	-	8			
11.58	+	9.77		13.80		10.71		7.67		13.45		0
			95						50		-	

$$a_{15} = 12.81 - 7.44 + 14.33 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 11.56$$

Costo marginal para la celda a16

4.11	-	4.46		7.09		7.44		12.81	+	15.03		0
115		10						INICIO				
10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
			75						7		63	
11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
					50		75					
11.58	+	9.77		13.80		10.71		7.67		13.45		0
			95						50		-	

$$a_{16} = 15.03 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 6.89$$

Costo marginal para la celda a17

4.11	-	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03	+	0
115		10						INICIO				
10.03		11.29		14.21		10.24		8.49	+	16.25	-	0
			75						7		63	
11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
					50		75		8			
11.58	+	9.77		13.80		10.71		7.67		13.45		0
			95						50		-	

$$a_{17} = 0 - 0 + 16.25 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 8.11$$

Costo marginal para la celda a<sub>21</sub>

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115	10					
10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
<b>INICIO</b>		75			7	63
11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
			50	75		
11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
					50	
	95					

$$a_{21} = 10.03 - 16.25 + 13.45 - 9.77 + 4.46 - 4.11 = (2.19)$$

Costo marginal para la celda a<sub>22</sub>

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0		
115	10							
10.03	+	11.29	14.21	10.24	8.49	-	16.25	0
	<b>INICIO</b>	75				7		63
11.12		11.41	14.27	8.31	7.44		14.33	0
				50	75		8	
11.58	-	9.77	13.80	10.71	7.67		13.45	0
						50		+
	95							

$$a_{22} = 11.29 - 16.25 + 13.45 - 9.77 = (1.28)$$

Costo marginal para la celda a<sub>24</sub>

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0				
115	10									
10.03		11.29	14.21	+	10.24	8.49	-	16.25	0	
			75	<b>INICIO</b>			7		63	
11.12		11.41	14.27	-	8.31	7.44	+	4.33	0	
					50	75		8		
11.58		9.77	13.80		10.71	7.67		50	13.45	0
	95									

$$a_{24} = 10.24 - 16.25 + 14.33 - 8.31 = (0.01)$$

Costo marginal para la celda a25

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115	10					
10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
		75			7	63
11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
			50		8	
11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
	95				50	

$$a_{25} = 8.49 - 16.25 + 14.33 - 8.31 = (0.87)$$

Costo marginal para la celda a31

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115	10					
10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
		75			7	63
11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
			50	75	8	
11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
	95				50	

$$a_{31} = 11.12 - 14.33 + 13.45 - 9.77 + 4.46 - 4.11 = 0.82$$

Costo marginal para la celda a32

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115	10					
10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
		75			7	63
11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
			50	75	8	
11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
	95				50	

$$a_{32} = 11.41 - 14.33 + 13.45 - 9.77 = 0.76$$

Costo marginal para la celda a33

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115	10					
10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
		75	-		7	63
11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	4.33	0
		INICIO	50	75	8	
11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
	95				50	-

$$a_{33} = 14.27 - 14.21 + 16.25 - 14.33 = 1.98$$

Costo marginal para la celda a37

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115	10					
10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
		75			7	63
11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
			50	75	8	INICIO
11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
	95				50	

$$a_{36} = 0 - 14.33 + 16.25 - 0 = 1.92$$

Costo marginal para la celda a41

	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
	115	10					
	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
			75			7	63
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
				50	75	8	
INICIO	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
						50	

$$a_{41} = 11.58 - 4.11 + 4.46 - 9.77 = 2.16$$

Costo marginal para la celda a43

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115	10					
10.03	11.29	-	14.21	10.24	8.49 +	16.25
		75				7
11.12	11.41		14.27	8.31	7.44	14.33
			50	75		8
11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	50	13.45
95		INICIO				

$$a_{43} = 13.80 - 14.21 + 16.25 - 13.45 = 2.39$$

Costo marginal para la celda a44

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115	10					
10.03	11.29		14.21	10.24	8.49	16.25
		75				7
11.12	11.41		14.27	8.31	7.44	14.33
			50	75		8
11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	50	13.45
95		INICIO				

$$a_{44} = 10.71 - 8.31 + 14.33 - 13.45 = 3.28$$

Costo marginal para la celda a45

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115	10					
10.03	11.29		14.21	10.24	8.49	16.25
		75				7
11.12	11.41		14.27	8.31	7.44	14.33
			50	75		8
11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	50	13.45
95				INICIO		

$$a_{45} = 7.67 - 7.44 + 14.33 - 13.45 = 1.11$$

Costo marginal para la celda a<sub>47</sub>

4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
115	10					
10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
		75				
11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
			50	75	8	
11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	50	13.45
	95					

$$a_{47} = 0 - 13.45 + 16.25 - 0 = 2.80$$

la evaluación dio los siguientes costos marginales.

Celda	Costos	Costo total Marginal
a <sub>13</sub>	7.09-14.21+16.25-13.45+9.77-4.46	0.99
a <sub>14</sub>	7.44-8.31+14.33-13.45+9.77-4.46	5.32
a <sub>15</sub>	12.81-7.44+14.33-13.45+9.77-4.46	11.56
a <sub>16</sub>	15.03-13.45+9.77-4.46	6.89
a <sub>17</sub>	0-0+16.25-13.45+9.77-4.46	8.11
a <sub>21</sub>	10.03-16.25+13.45-9.77+4.46-4.11	-2.19
a <sub>22</sub>	11.29-16.25+13.45-9.77	-1.28
a <sub>24</sub>	10.24-16.25+14.33-8.31	-0.01
a <sub>25</sub>	8.49-16.25+14.33-7.44	-0.87
a <sub>31</sub>	11.12-14.33+13.45-9.77+4.46-4.11	0.82
a <sub>32</sub>	11.41-14.33+13.45-9.77	0.76
a <sub>33</sub>	14.27-14.21+16.25-14.33	1.98
a <sub>37</sub>	0-14.33+16.25-0	1.92
a <sub>41</sub>	11.58-4.11+4.46-9.77	2.16
a <sub>43</sub>	13.80-14.21+16.25-13.45	2.39

a44	10.71-8.31+14.33-13.45	1.52
a45	7.67-7.44+14.33-13.45	1.11
a47	0-13.45+16.25-0	2.80

Se puede observar que no se ha alcanzado la asignación óptima, ya que existen costos marginales negativos, lo que indica que estos pueden disminuir aún más el costo total de transporte, por lo que es necesario realizar una redistribución, y obtener un nuevo programa de distribución. Para lo cual se debe realizar lo siguiente:

- a) realizar la redistribución tomando como base el ciclo que dio el menor costo marginal, en este caso es el de la celda  $a_{21}$  el cual se muestra en la siguiente matriz

Costo marginal para la celda  $a_{21}$

-	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	115		10										
+	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49	-	16.25		0
	<b>INICIO</b>				75						7		63
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
							50		75		8		
	11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67		13.45		0
			95								50		+

$$a_{21} = 10.03 - 16.25 + 13.45 - 9.77 + 4.46 - 4.11 = -2.19$$

- b) Determinar la cantidad máxima en unidades, que puede ser asignada a la celda vacía con el costo marginal menor y reajustar las asignaciones de las celdas ocupadas involucradas en el ciclo.

CELDA	CANTIDAD
a11	115
<b>a26</b>	<b>7</b>
a42	95

Para efectuar el reajuste se debe observar el ciclo que dio el costo marginal menor y determinar la cantidad en unidades que se asignaran, en este caso el costo marginal será el de la celda a26, por lo tanto el reajuste es de 7 quintales, se toma la menor cantidad de las celdas decrecientes como se muestra a continuación:

En la celda a21 asignar los 7 quintales, luego restarle los 7 quintales a la celda a26, seguidamente sumarle los 7 quintales a la celda a46, posteriormente restarle los 7 quintales a la celda a42, consecuentemente sumarle los 7 quintales a la celda a12 y por ultimo restarle los 7 quintales a la celda a11.

### MATRIZ DE REAJUSTE

De \ A	Zona 1	Zona 4	Zona 6	Zona7	Zona 8 Mixco	Zona 3 de Villa Nueva	Fx	OFERTA
Zona 1	4.11 115	4.46 10	7.09	7.44	12.81	15.03	0	125
Zona 19	10.03	11.29	14.21 75	10.24	8.49	16.25 7	0 63	145
Zona 7 Mixco	11.12	11.41	14.27	8.31 50	7.44 75	14.33 8	0	133
Zona 10 Mixco	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45 50	0	145
DEMANDA	115	105 95	75	50	75	65	63	548

Seguidamente se debe completar la matriz con las asignaciones de las celdas ocupadas que no fueron modificadas, para cumplir con la oferta y la demanda de cada origen a cada destino.

## MATRIZ DE REDISTRIBUCIÓN

De \ A	Zona 1	Zona 4	Zona 6	Zona 7	Zona 8 Mixco	Zona 3 de Villa Nueva	Fx	OFERTA
Zona 1	4.11 108	4.46 17	7.09	7.44	12.81	15.03	0	125
Zona 19	10.03 7	11.29	14.21 75	10.24	8.49	16.25	0 63	145
Zona 7 Mixco	11.12	11.41	14.27	8.31 50	7.44 75	14.33 8	0	133
Zona 10 Mixco	11.58	9.77 88	13.80	10.71	7.67	13.45 57	0	145
DEMANDA	115	105	75	50	75	65	63	548 548

Inmediatamente de realizar el proceso de redistribución es necesario determinar los nuevos costos marginales, aplicando el método de multiplicadores para determinar si el programa es el óptimo.

Costo marginal para la celda  $a_{13}$

-	4.11	4.46	+ 7.09	7.44	12.81	15.03	0
108		17	<b>INICIO</b>				
10.03		11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
7	+		75	-			63
11.12		11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
				50	75	8	
11.58		9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
	88					57	

$$a_{13} = 7.09 - 14.21 + 10.03 - 4.11 = (1.20)$$

Costo marginal para la celda a<sub>14</sub>

	4.11	-	4.46		7.09	+	7.44		12.81		15.03		0
108			17				<b>INICIO</b>						
7	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
				75								63	
	11.12		11.41		14.27	-	8.31		7.44	+	14.33		0
							50	75			8		
	11.58	+	9.77		13.80		10.71		7.67		57	13.45	0

$$a_{14} = 7.44 - 8.31 + 14.33 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 5.32$$

Costo marginal para la celda a<sub>15</sub>

	4.11	-	4.46		7.09		7.44	+	12.81		15.03		0
108			17				<b>INICIO</b>						
7	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
				75								63	
	11.12		11.41		14.27		8.31	-	7.44	+	14.33		0
							50	75			8		
	11.58	+	9.77		13.80		10.71		7.67		57	13.45	0

$$a_{15} = 12.81 - 7.44 + 14.33 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 11.56$$

Costo marginal para la celda a<sub>16</sub>

	4.11	-	4.46		7.09		7.44		12.81	+	15.03		0
108			17							<b>INICIO</b>			
7	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
				75								63	
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
							50	75			8		
	11.58	+	9.77		13.80		10.71		7.67		57	13.45	0

$$a_{16} = 15.03 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 6.89$$

Costo marginal para la celda a17

-	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	+	0
108	17						INICIO	
7	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	-	0
	+		75				63	
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33		0
				50	75	8		
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45		0
	88					57		

$$a_{17} = 0 - 0 + 10.03 - 4.11 = 5.92$$

Costo marginal para la celda a22

+	4.11	-	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
108	17							
7	10.03	+	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
		INICIO		75				63
	11.12		11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
					50	75	8	
	11.58		9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
	88						57	

$$a_{22} = 11.29 - 10.03 + 4.11 - 4.46 = 0.91$$

Costo marginal para la celda a24

	4.11	-	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
108	+	17						
7	10.03		11.29	14.21	+	10.24	8.49	16.25
				75	INICIO			63
	11.12		11.41	14.27	-	8.31	7.44	+
					50	75	8	14.33
	11.58	+	9.77	13.80		10.71	7.67	57
	88							13.45

$$a_{24} = 10.24 - 8.31 + 14.33 - 13.45 + 9.77 - 4.46 + 4.11 - 10.03 = 2.20$$

Costo marginal para la celda a25

	4.11	-	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0	
	108 +		17											
	-	10.03		11.29		14.21		10.24	+	8.49		16.25		0
	7				75				INICIO				63	
		11.12		11.41		14.27		8.31	-	7.44	+	14.33		0
							50		75					
		11.58	+	9.77		13.80		10.71		7.67		57	13.45	0
			88											

$$a_{25} = 8.49 - 7.44 + 14.23 - 13.45 + 9.77 - 4.46 + 4.11 - 10.03 = 1.22$$

Costo marginal para la celda a26

	+	4.11	-	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	108			17										
		10.03		11.29		14.21		10.24		8.49	+	16.25		0
	7				75				INICIO					63
		11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
							50		75		8			
		11.58	+	9.77		13.80		10.71		7.67		- 57	13.45	0
			88											

$$a_{26} = 16.25 - 13.45 + 9.77 - 4.46 + 4.11 - 10.23 = 2.19$$

Costo marginal para la celda a31

	-	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	108			17										
		10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
	7				75									63
		11.12		11.41		14.27		8.31		7.44	-	14.33		0
	INICIO						50		75		8			
		11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		57	13.45	0
			88											

$$a_{31} = 11.12 - 4.11 + 4.46 - 9.77 + 13.45 - 14.33 = 0.82$$

Costo marginal para la celda a32

	4.11		4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	108		17										
7	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
					75								63
	11.12	+	11.41		14.27		8.31		7.44	-	14.33		0
							50		75		8		
	11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67		57		13.45
													0

Diagram illustrating the calculation of the marginal cost for cell a32. Red arrows show the path: starting from the 'INICIO' label, moving right to the value 11.41, then down to 11.12, then left to 11.58, then right to 9.77, then down to 13.45, then left to 14.33, and finally up to 11.41. The word 'INICIO' is written in red above the 11.41 cell.

$$a_{32} = 11.41 - 14.33 + 13.45 - 9.77 = 0.76$$

Costo marginal para la celda a33

	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	108		17										
+	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
					75								63
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44	-	14.33		0
							50		75		8		
	11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67		57		13.45
													0

Diagram illustrating the calculation of the marginal cost for cell a33. Red arrows show the path: starting from the 'INICIO' label, moving right to 14.27, then down to 11.41, then left to 11.12, then down to 11.58, then right to 9.77, then down to 13.45, then left to 14.33, then up to 11.41, then left to 10.03, then down to 14.21, and finally right to 14.27. The word 'INICIO' is written in red above the 14.27 cell.

$$a_{33} = 14.27 - 14.33 + 13.45 - 9.77 + 4.46 - 4.11 + 10.03 - 14.21 = (0.21)$$

Costo marginal para la celda a37

	4.11		4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	108	+	17										
+	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25	-	0
					75								63
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44	-	14.33	+	0
							50		75		8		
	11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67		57		13.45
													0

Diagram illustrating the calculation of the marginal cost for cell a37. Red arrows show the path: starting from the 'INICIO' label, moving left to 14.33, then up to 11.41, then left to 11.12, then down to 11.58, then right to 9.77, then down to 13.45, then left to 14.33, then up to 11.41, then left to 10.03, then down to 14.21, and finally right to 14.27. The word 'INICIO' is written in red to the right of the 14.33 cell.

$$a_{37} = 0 - 0 + 10.03 - 4.11 + 4.46 - 9.77 + 13.45 - 14.33 = (0.27)$$

Costo marginal para la celda a41

-	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	108		17										
	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
7					75							63	
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
							50		75		8		
+	11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67		57	13.45	0
	INICIO		88										

$$a_{41} = 11.58 - 4.11 + 4.46 - 9.77 = 2.16$$

Costo marginal para la celda a43

-	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	108		17										
	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
7	+				75	-						63	
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
							50		75		8		
	11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67		57	13.45	0
			88		INICIO								

$$a_{43} = 13.80 - 9.77 + 4.46 - 4.11 + 10.03 - 14.21 = 0.20$$

Costo marginal para la celda a44

	4.11		4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	108		17										
	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
7					75							63	
	11.12		11.41		14.27		-	8.31		7.44	+	14.33	0
							50		75		8		
	11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		57	13.45	0
			88				INICIO						

$$a_{44} = 10.71 - 8.31 + 14.33 - 13.45 = 3.28$$

Costo marginal para la celda a45

	4.11		4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	108		17										
7	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
				75								63	
	11.12		11.41		14.27		8.31	-	7.44	+	14.33		0
						50		75		8			
	11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		13.45		0
		88							INICIO		57		

$$a_{45} = 7.67 - 7.44 + 14.33 - 13.45 = 1.11$$

Costo marginal para la celda a47

	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	108		17								INICIO		
+	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		-
7				75								63	0
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
						50		75		8			
	11.58		-	9.77	13.80		10.71		7.67		13.45		+
		88								57			INICIO

$$a_{47} = 0 - 9.77 + 4.46 - 4.11 + 10.03 - 0 = 0.61$$

Celda	Costos	Costo total marginal
a13	7.09-14.21+10.03-4.11	-1.20
a14	7.44-8.31+14.33-13.45+9.77-4.46	5.32
a15	12.81-7.44+14.33-13.45+9.77-4.46	11.56
a16	15.03-13.45+9.77-4.46	6.89
a17	0-0+10.03-4.11	5.92
a22	11.29-10.03+4.11-4.46	0.91

a24	10.24-8.31+14.33-13.45+9.77-4.46+4.11-10.03	2.20
a25	8.49-7.44+14.33-13.45+9.77-4.46+4.11-10.03	1.32
a26	16.25-13.45+9.77-4.46+4.11-10.03	2.19
a31	11.12-4.11+4.46-9.77+13.4-14.33	0.82
a32	11.41-14.33+13.45-9.77	0.76
a33	14.27-14.33+13.45-9.77+4.46-4.11+10.03-14.21	-0.21
a37	0-0+10.03-4.11+4.46-9.77+13.45-14.33	-0.27
a41	11.58-4.11+4.46-9.77	2.16
a43	13.80-9.77+4.46-4.11+10.03-14.21	0.20
a44	10.71-8.31+14.33-13.45	3.28
a45	7.67-7.44+14.33-13.45	1.11
a47	0-9.77+4.46-4.11+10.03-0	0.61

Se determinó que existen costos marginales negativos, por lo cual es necesario aplicar nuevamente el método de multiplicadores.

- a) realizar la redistribución tomando como base el ciclo que dio el menor costo marginal, en este caso es el de la celda a<sub>13</sub> el cual se muestra en la siguiente matriz

Costo marginal para la celda a<sub>13</sub>

-	4.11	4.46	+	7.09	7.44	12.81	15.03	0
108		17	<b>INICIO</b>					
	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0	
7	+		75	-			63	
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0	
				50	75	8		
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0	
		88				57		

$$a_{13} = 7.09 - 14.21 + 10.03 - 4.11 = (1.20)$$

- b) Determinar la cantidad máxima en unidades, que puede ser asignada a la celda vacía con el costo marginal menor y reajustar las asignaciones de las celdas ocupadas involucradas en el ciclo.

CELDA	CANTIDAD
a11	108
<b>a23</b>	<b>75</b>

Para efectuar el reajuste se debe observar el ciclo que dio el costo marginal menor y determinar la cantidad en unidades que se asignaran, en este caso el costo marginal será el de la celda a23, por lo tanto el reajuste es de 75 quintales, se toma la menor cantidad de las celdas decrecientes.

En la celda a13 asignar los 75 quintales, luego restarle los 75 quintales a la celda a23, seguidamente sumarle los 75 quintales a la celda a21, posteriormente restarle los 75 quintales a la celda a11.

### MATRIZ DE REDISTRIBUCIÓN

De \ A	Zona 1	Zona 4	Zona 6	Zona7	Zona 8 Mixco	Zona 3 de Villa Nueva	Fx	OFERTA
Zona 1	4.11 33	4.46 17	7.09 75	7.44	12.81	15.03	0	125
Zona 19	10.03 82	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0 63	145
Zona 7 Mixco	11.12	11.41	14.27	8.31 50	7.44 75	14.33 8	0	133
Zona 10 Mixco	11.58	9.77 88	13.80	10.71	7.67	13.45 57	0	145
DEMANDA	115	105	75	50	75	65	63	548 548

Posteriormente de realizar el proceso de redistribución se debe determinar los nuevos costos marginales.

Costo marginal para la celda a<sub>14</sub>

33	4.11	-	4.46	7.09	+	7.44	12.81	15.03	0
			17	75		<b>INICIO</b>			
82	10.03		11.29	14.21		10.24	8.49	16.25	0
									63
	11.12		11.41	14.27	-	8.31	7.44	+	14.33
						50	75		8
	11.58	+	9.77	13.80		10.71	7.67		57
									13.45
									0

$$a_{14} = 7.44 - 8.31 + 14.33 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 5.32$$

Costo marginal para la celda a<sub>15</sub>

33	4.11		4.46	7.09		7.44	12.81	15.03	0
			17	75		<b>INICIO</b>			
82	10.03		11.29	14.21		10.24	8.49	16.25	0
									63
	11.12		11.41	14.27		8.31	7.44	14.33	0
						50	75		8
	11.58		9.77	13.80		10.71	7.67		57
									13.45
									0

$$a_{15} = 12.81 - 7.44 + 14.33 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 11.56$$

Costo marginal para la celda a<sub>16</sub>

33	4.11	-	4.46	7.09		7.44	12.81	15.03	0
			17	75		<b>INICIO</b>			
82	10.03		11.29	14.21		10.24	8.49	16.25	0
									63
	11.12		11.41	14.27		8.31	7.44	14.33	0
						50	75		8
	11.58	+	9.77	13.80		10.71	7.67		57
									13.45
									0

$$a_{16} = 15.03 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 6.89$$

Costo marginal para la celda a17

-	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	+	0
33		17	75				INICIO	
+	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	-	0
82							63	
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33		0
				50	75	8		
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45		0
		88				57		

$$a_{17} = 0 - 0 + 10.03 - 4.11 = 5.92$$

Costo marginal para la celda a22

+	4.11	-	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
33			7	75				
-	10.03	+	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
82		INICIO					63	
	11.12		11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
				50	75	8		
	11.58		9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
		88				57		

$$a_{22} = 11.29 - 10.03 + 4.11 - 4.46 = 0.91$$

Costo marginal para la celda a23

+	4.11	4.46	-	7.09	7.44	12.81	15.03	0
33		17		75				
-	10.03	11.29	+	14.21	10.24	8.49	16.25	0
82			INICIO					
	11.12	11.41		14.27	8.31	7.44	14.33	0
				50	75	8		
	11.58	9.77		13.80	10.71	7.67	13.45	0
		88				57		

$$a_{23} = 14.21 - 10.03 + 4.11 - 7.09 = 1.20$$

Costo marginal para la celda a24

	4.11	-	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
33 +		17	75					
82	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0	63
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0	
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0	

Diagram illustrating the calculation of the marginal cost for cell a24. Red arrows show the path: starting from the top-left cell (4.11), moving right to (10.03), then down to (11.12), then right to (11.41), then down to (11.58), then right to (9.77), then down to (8.31), then right to (7.44), then down to (7.67), then right to (13.45), then up to (14.33), then left to (8.49), then up to (10.24), then left to (14.21), then up to (11.29), then left to (4.46), then up to (4.11). The word "INICIO" is written in the cell containing 10.24. Other numbers in the diagram include 33, 82, 17, 75, 50, 75, 8, 57, and 63.

$$a_{24} = 10.24 - 8.31 + 14.33 - 13.45 + 9.77 - 4.46 + 4.11 - 10.03 = 2.20$$

Costo marginal para la celda a25

	4.11	-	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
33 +		17	75					
82	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0	63
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0	
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0	

Diagram illustrating the calculation of the marginal cost for cell a25. Red arrows show the path: starting from the top-left cell (4.11), moving right to (10.03), then down to (11.12), then right to (11.41), then down to (11.58), then right to (9.77), then down to (8.31), then right to (7.44), then down to (7.67), then right to (13.45), then up to (14.33), then left to (8.49), then up to (10.24), then left to (14.21), then up to (11.29), then left to (4.46), then up to (4.11). The word "INICIO" is written in the cell containing 10.24. Other numbers in the diagram include 33, 82, 17, 75, 50, 75, 8, 57, and 63.

$$a_{25} = 8.49 - 7.44 + 14.23 - 13.45 + 9.77 - 4.46 + 4.11 - 10.03 = 1.22$$

Costo marginal para la celda a26

	4.11	-	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
33		17	75					
82	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0	63
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0	
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0	

Diagram illustrating the calculation of the marginal cost for cell a26. Red arrows show the path: starting from the top-left cell (4.11), moving right to (10.03), then down to (11.12), then right to (11.41), then down to (11.58), then right to (9.77), then down to (8.31), then right to (7.44), then down to (7.67), then right to (13.45), then up to (14.33), then left to (8.49), then up to (10.24), then left to (14.21), then up to (11.29), then left to (4.46), then up to (4.11). The word "INICIO" is written in the cell containing 10.24. Other numbers in the diagram include 33, 82, 17, 75, 50, 75, 8, 57, and 63.

$$a_{26} = 16.25 - 13.45 + 9.77 - 4.46 + 4.11 - 10.23 = 2.19$$

Costo marginal para la celda a<sub>31</sub>

-	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	33		17		75								
	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
82													63
+	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44	-	14.33		0
	<b>INICIO</b>						50		75		8		
	11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		57		13.45
		88	-										0

$$a_{31} = 11.12 - 4.11 + 4.46 - 9.77 + 13.45 - 14.33 = 0.82$$

Costo marginal para la celda a<sub>32</sub>

	4.11		4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	33		17		75								
	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
82													63
	11.12	+	11.41		14.27		8.31		7.44	-	14.33		0
	<b>INICIO</b>						50		75		8		
	11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		57		13.45
		88	-										0

$$a_{32} = 11.41 - 14.33 + 13.45 - 9.77 = 0.76$$

Costo marginal para la celda a<sub>33</sub>

	4.11		4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	33		17		75								
	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
82													63
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
					<b>INICIO</b>		50		75		8		
	11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		57		13.45
		88											0

$$a_{33} = 14.27 - 14.33 + 13.45 - 9.77 + 4.46 - 7.09 = 0.99$$

Costo marginal para la celda a37

	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0	
	33		17		75									
	+	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25	-	0
	82												63	
		11.12		11.41		14.27		8.31		7.44	-	14.33	+	0
							50		75		8		INICIO	
		11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67		13.45		0
			88								57		+	

$$a_{37} = 0 - 0 + 10.03 - 4.11 + 4.46 - 9.77 + 13.45 - 14.33 = (0.27)$$

Costo marginal para la celda a41

-	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0	
	33		17		75									
		10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
	82												63	
		11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
							50		75		8			
		11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67		13.45		0
	+										57		INICIO	

$$a_{41} = 11.58 - 4.11 + 4.46 - 9.77 = 2.16$$

Costo marginal para la celda a43

	4.11	+	4.46	-	7.09		7.44		12.81		15.03		0	
	33		17		75									
		10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
	82												63	
		11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
							50		75		8			
		11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67		13.45		0
											57		+	

$$a_{43} = 13.80 - 9.77 + 4.46 - 7.09 = 1.40$$

Costo marginal para la celda a44

	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
33		17	75				
	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
82							63
	11.12	11.41	14.27	- 8.31	7.44	+ 14.25	0
				50	75	8	
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	57	13.45
		88					0

INICIO

$$a_{44} = 10.71 - 8.31 + 14.33 - 13.45 = 3.28$$

Costo marginal para la celda a45

	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
108		17					
	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
7			75				63
	11.12	11.41	14.27	8.31	- 7.44	+ 14.25	0
				50	75	8	
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	57	13.45
		88					0

INICIO

$$a_{45} = 7.67 - 7.44 + 14.33 - 13.45 = 1.11$$

Costo marginal para la celda a47

	4.11	+ 4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
33		17	75			INICIO	
	+ 10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	- 0
82							63
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
				50	75	8	
	11.58	- 9.77	13.80	10.71	7.67	57	13.45
		88					0

INICIO

$$a_{47} = 0 - 9.77 + 4.46 - 4.11 + 10.03 - 0 = 0.61$$

<b>Celda</b>	<b>Costos</b>	<b>Costo total marginal</b>
a14	7.44-8.31+14.33-13.45+9.77-4.46	5.32
a15	12.81-7.44+14.33-13.45+9.77-4.46	11.56
a16	15.03-13.45+9.77-4.46	6.89
a17	0-0+10.03-4.11	5.92
a22	11.29-10.03+4.11-4.46	0.91
a23	14.21-10.03+4.11-7.09	1.20
a24	10.24-8.31+14.33-13.45+9.77-4.46+4.11-10.03	2.20
a25	8.49-7.44+14.33-13.45+9.77-4.46+4.11-10.03	1.32
a26	16.25-13.45+9.77-4.46+4.11-10.03	2.19
a31	11.12-4.11+4.46-9.77+13.4-14.33	0.82
a32	11.41-14.33+13.45-9.77	0.76
a33	14.27-14.33+13.45-9.77+4.46-7.09	0.99
a37	0-0+10.03-4.11+4.46-9.77+13.45-14.33	-0.27
a41	11.58-4.11+4.46-9.77	2.16
a43	13.80-9.77+4.46-7.09	1.40
a44	10.71-8.31+14.33-13.45	3.28
a45	7.67-7.44+14.33-13.45	1.11
a47	0-9.77+4.46-4.11+10.03-0	0.61

Inmediatamente de haber realizado la redistribución, se determinó que todavía existen costos marginales negativos, lo que indica que los costos pueden reducirse aún más, por lo cual es necesario aplicar nuevamente el método de multiplicadores. Por lo que se realizara una nueva distribución, seguidamente de realizar el proceso de redistribución se debe de determinar los nuevos costos marginales, para establecer si el programa de distribución es el óptimo.

- a) realizar la redistribución tomando como base el ciclo que dio el menor costo marginal, en este caso es el de la celda a<sub>37</sub> el cual se muestra en la siguiente matriz

Costo marginal para la celda a<sub>37</sub>

	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
33	+	17	75				
+	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	- 0
82							63
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	-	14.33 + 0
				50	75	8	INICIO
	11.58	- 9.77	13.80	10.71	7.67		13.45 0
		88				57	+ 0

$$a_{37} = 0 - 0 + 10.03 - 4.11 + 4.46 - 9.77 + 13.45 - 14.33 = (0.27)$$

- b) Determinar la cantidad máxima en unidades, que puede ser asignada a la celda vacía con el costo marginal menor y reajustar las asignaciones de las celdas ocupadas involucradas en el ciclo.

CELDA	CANTIDAD
a <sub>11</sub>	33
a <sub>27</sub>	63
<b>a<sub>36</sub></b>	<b>8</b>
a <sub>41</sub>	88

Para efectuar el reajuste se debe observar el ciclo que dio el costo marginal menor y determinar la cantidad en unidades que se asignaran, en este caso el costo marginal será el de la celda a<sub>36</sub>, por lo tanto el reajuste es de 8 quintales, se toma la menor cantidad de las celdas decrecientes.

En la celda a<sub>37</sub> asignar los 8 quintales, luego restarle los 8 quintales a la celda a<sub>27</sub>, seguidamente sumarle los 8 quintales a la celda a<sub>21</sub>, consecutivamente restarle los 8 quintales a la celda a<sub>11</sub>, luego sumarle los 8 quintales a la celda a<sub>12</sub>, posteriormente restarle 8 quintales a la celda a<sub>41</sub>, inmediatamente sumar los 8 quintales a la celda a<sub>46</sub> y por ultimo restar los 8 quintales a la celda a<sub>46</sub>.

### MATRIZ DE REDISTRIBUCIÓN

De \ A	Zona 1	Zona 4	Zona 6	Zona7	Zona 8 Mixco	Zona 3 de Villa Nueva	Fx	OFERTA
Zona 1	25 4.11	25 4.46	75 7.09	7.44	12.81	15.03	0	125
Zona 19	90 10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	55 0	145
Zona 7 Mixco	11.12	11.41	14.27	50 8.31	7.44 75	14.33	8 0	133
Zona 10 Mixco	11.58	80 9.77	13.80	10.71	7.67	65 13.45	0	145
DEMANDA	115	105	75	50	75	65	63	548 548

Costo marginal para la celda a<sub>14</sub>

-	4.11	4.46	7.09	+	7.44	12.81	15.03	0	
25		25	75	<b>INICIO</b>					
+	10.03	11.29	14.21		10.24	8.49	16.25	-	0
90								55	
	11.12	11.41	14.27	-	8.31	7.44	14.33	+	0
					50	75		8	
	11.58	80	9.77	13.80	10.71	7.67	65	13.45	0

$$a_{14} = 7.44 - 8.31 + 0 - 0 + 10.03 - 4.11 = 5.32$$

Costo marginal para la celda a15

	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
25	25		75		INICIO		
90	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
	80				65		

Diagram illustrating the calculation of the marginal cost for cell a15. Red arrows show the path from the 'INICIO' cell (row 2, column 6) to the target cell (row 1, column 5) and back to the 'INICIO' cell. The path includes cells (1,5), (1,4), (1,3), (1,2), (1,1), (2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (2,6), (2,7), (2,8), (3,8), (3,7), (3,6), (3,5), (3,4), (3,3), (3,2), (3,1), (4,1), (4,2), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6), (4,7), (4,8).

$$a_{15} = 12.81 - 7.44 + 0 - 0 + 10.03 - 4.11 = 11.29$$

Costo marginal para la celda a16

	4.11	-	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
25	25		75		INICIO			
90	10.03		11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0
	11.12		11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
	11.58	+	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45	0
	80					65		

Diagram illustrating the calculation of the marginal cost for cell a16. Red arrows show the path from the 'INICIO' cell (row 2, column 6) to the target cell (row 1, column 7) and back to the 'INICIO' cell. The path includes cells (1,7), (1,6), (1,5), (1,4), (1,3), (1,2), (1,1), (2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (2,6), (2,7), (2,8), (3,8), (3,7), (3,6), (3,5), (3,4), (3,3), (3,2), (3,1), (4,1), (4,2), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6), (4,7), (4,8).

$$a_{16} = 15.03 - 13.45 + 9.77 - 4.46 = 6.89$$

Costo marginal para la celda a17

	-	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	+	0
25	25		75		INICIO				
90	+	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	-	0
		11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33		0
		11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	13.45		0
		80				65			

Diagram illustrating the calculation of the marginal cost for cell a17. Red arrows show the path from the 'INICIO' cell (row 2, column 6) to the target cell (row 1, column 9) and back to the 'INICIO' cell. The path includes cells (1,9), (1,8), (1,7), (1,6), (1,5), (1,4), (1,3), (1,2), (1,1), (2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (2,6), (2,7), (2,8), (2,9), (3,9), (3,8), (3,7), (3,6), (3,5), (3,4), (3,3), (3,2), (3,1), (4,1), (4,2), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6), (4,7), (4,8), (4,9).

$$a_{17} = 0 - 0 + 10.03 - 4.11 = 5.92$$

Costo marginal para la celda a22

	+	4.11	-	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
25			25		75									
	-	10.03	+	11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
90			INICIO										55	
		11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
							50	75					8	
		11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		65	13.45	0
			80											

$$a_{22} = 11.29 - 10.03 + 4.11 - 4.46 = 0.91$$

Costo marginal para la celda a23

	+	4.11		4.46	-	7.09		7.44		12.81		15.03		0
25			25		75									
	-	10.03		11.29	+	14.21		10.24		8.49		16.25		0
90			INICIO										55	
		11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
							50	75					8	
		11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		65	13.45	0
			80											

$$a_{23} = 14.21 - 10.03 + 4.11 - 7.09 = 1.20$$

Costo marginal para la celda a24

		4.11		4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
25			25		75									
		10.03		11.29		14.21	+	10.24		8.49		16.25	-	0
90			INICIO										55	
		11.12		11.41		14.27	-	8.31		7.44		14.33		0
								50	75				8	+
		11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		65	13.45	0
			80											

$$a_{24} = 10.24 - 0 + 0 - 8.31 = 1.93$$

Costo marginal para la celda a25

	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
25		25	75				
90	10.03	11.29	14.21	10.24	+ 8.49	16.25	- 0
	11.12	11.41	14.27	8.31	- 7.44	14.33	0
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	65	13.45
		80					0

Diagram annotations: Red arrows show the path for calculating the marginal cost of cell a25. A vertical arrow points up from 10.24 to 8.31. A horizontal arrow points right from 8.31 to 16.25, labeled 'INICIO'. A vertical arrow points down from 16.25 to 14.33. A horizontal arrow points left from 14.33 to 7.44, labeled '75'. A vertical arrow points down from 7.44 to 7.67. A horizontal arrow points right from 7.67 to 13.45, labeled '8'. A vertical arrow points down from 13.45 to 0.

$$a_{25} = 8.49 - 7.44 + 0 - 0 = 1.05$$

Costo marginal para la celda a26

	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
25		25	75				
90	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	+ 16.25	0
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	0
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	65	13.45
		80					0

Diagram annotations: Red arrows show the path for calculating the marginal cost of cell a26. A vertical arrow points down from 4.11 to 10.03. A horizontal arrow points right from 10.03 to 16.25, labeled 'INICIO'. A vertical arrow points down from 16.25 to 14.33. A horizontal arrow points left from 14.33 to 7.44, labeled '75'. A vertical arrow points down from 7.44 to 7.67. A horizontal arrow points right from 7.67 to 13.45, labeled '8'. A vertical arrow points down from 13.45 to 0. A horizontal arrow points left from 10.24 to 4.11, labeled '25'. A vertical arrow points up from 4.11 to 11.12.

$$a_{26} = 16.25 - 13.45 + 9.77 - 4.46 + 4.11 - 10.23 = 2.19$$

Costo marginal para la celda a31

	4.11	4.46	7.09	7.44	12.81	15.03	0
25		25	75				
90	10.03	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	+ 0
	11.12	11.41	14.27	8.31	7.44	14.33	- 0
	11.58	9.77	13.80	10.71	7.67	65	13.45
		80					0

Diagram annotations: Red arrows show the path for calculating the marginal cost of cell a31. A vertical arrow points up from 10.03 to 11.12, labeled 'INICIO'. A horizontal arrow points right from 11.12 to 14.33, labeled '8'. A vertical arrow points down from 14.33 to 7.44. A horizontal arrow points left from 7.44 to 10.24, labeled '75'. A vertical arrow points up from 10.24 to 4.11, labeled '25'. A horizontal arrow points right from 4.11 to 0.

$$a_{31} = 11.12 - 10.03 + 0 - 0 = 1.09$$

Costo marginal para la celda a32

	+	4.11	-	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
25			25		75									
-	10.03			11.29		14.21		10.24		8.49		16.25	+	0
90													55	
	11.12		+	11.41		14.27		8.31		7.44		14.33	-	0
			<b>INICIO</b>		50	75							8	
	11.58			9.77		13.80		10.71		7.67		65	13.45	0
		80												

$$a_{32} = 11.41 - 0 + 0 - 10.03 + 4.11 - 4.46 = 1.03$$

Costo marginal para la celda a33

	+	4.11	-	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
25			25		75									
-	10.03			11.29		14.21		10.24		8.49		16.25	+	0
90													55	
	11.12			11.41		14.27		8.31		7.44		14.33	-	0
			<b>INICIO</b>		50	75							8	
	11.58			9.77		13.80		10.71		7.67		65	13.45	0
		80												

$$a_{33} = 14.27 - 0 + 0 - 10.03 + 4.11 - 7.09 = 1.26$$

Costo marginal para la celda a36

		4.11		4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
25			-	25		75								
-	10.03			11.29		14.21		10.24		8.49		16.25	+	0
90													55	
	11.12			11.41		14.27		8.31		7.44	+	14.33	-	0
						50	75				<b>INICIO</b>		8	
	11.58		+	9.77		13.80		10.71		7.67	65	13.45		0
		80												

$$a_{36} = 14.33 - 0 + 0 - 10.03 + 4.11 - 4.46 + 9.77 - 13.45 = 0.27$$

Costo marginal para la celda a<sub>41</sub>

-	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
	25		25		75								
90	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
						50	75					8	
+	11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67	65	13.45		0
	<b>INICIO</b>												

$$a_{41} = 11.58 - 4.11 + 4.46 - 9.77 = 2.16$$

Costo marginal para la celda a<sub>43</sub>

	4.11	+	4.46	-	7.09		7.44		12.81		15.03		0
	25		25		75								
90	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25		0
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0
						50	75					8	
	11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67	65	13.45		0
				<b>INICIO</b>									

$$a_{43} = 13.80 - 9.77 + 4.46 - 7.09 = 1.40$$

Costo marginal para la celda a<sub>44</sub>

	4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0
25			25		75								
+	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25	-	0
90													55
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33	+	0
						50	75						8
	11.58	-	9.77		13.80		10.71		7.67	65	13.45		0
							<b>INICIO</b>						

$$a_{44} = 10.71 - 8.31 + 0 - 0 + 10.03 - 4.11 + 4.46 - 9.77 = 3.01$$

Costo marginal para la celda a45

4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0		
25		25		75										
+	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25	-	0	
90												55		
	11.12		11.41		14.27		8.31	-	7.44		14.33	+	0	
						50			75			8		
	11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		65	13.45		0
									<b>INICIO</b>					

$$a_{45} = 7.67 - 8.31 + 0 - 0 + 10.03 - 4.11 + 4.46 - 9.77 = 0.84$$

Costo marginal para la celda a47

4.11	+	4.46		7.09		7.44		12.81		15.03		0		
25		25		75										
+	10.03		11.29		14.21		10.24		8.49		16.25	-	0	
90												55		
	11.12		11.41		14.27		8.31		7.44		14.33		0	
						50			75			8		
	11.58		9.77		13.80		10.71		7.67		65	13.45	+	0
													<b>INICIO</b>	

$$a_{47} = 0 - 9.77 + 4.46 - 4.11 + 10.03 - 0 = 0.61$$

Celda	Costo marginal	Costo total
a14	7.44-8.31+0-0+10.03-4.11	5.05
a15	12.81-7.44+0-0+10.03-4.11	11.29
a16	15.03-13.45+9.77-4.46	6.89
a17	0-0+10.03-4.11	5.92
a22	11.29-10.03+4.11-4.46	0.91
a23	14.21-10.03+4.11-7.09	1.20
a24	10.24-0+0-8.31	1.93

a25	8.49-7.44+0-0	1.05
a26	16.25-13.45+9.77-4.46+4.11-10.03	2.19
a31	11.12-10.03+0-0	1.09
a32	11.41-0+0-10.03+4.11-4.46	1.03
a33	14.27-0+0-10.03+4.11-7.09	1.26
a36	14.33-0+0-10.03+4.11-4.46+9.77-13.45	0.27
a41	11.58-4.11+4.46-9.77	2.16
a43	13.80-9.77+4.46-7.09	1.40
a44	10.71-8.31+0-0+10.03-4.11+4.46-9.77	3.01
a45	7.67-7.44+0-0+10.03-4.11+4.46-9.77	0.84
a47	0-9.77+4.46-4.11+10.03-0	0.61

Después de aplicar el método de multiplicadores para determinar si ésta es la solución óptima, se constató que el reajuste actual proporciona el programa óptimo de distribución, ya que todos los costos marginales son positivos. Lo que indica que se alcanzó el objetivo planteado, por lo tanto se presenta la matriz y el programa óptimo de distribución.

### MATRIZ ÓPTIMA DE DISTRIBUCION

De \ A	Zona 1	Zona 4	Zona 6	Zona7	Zona 8 Mixco	Zona 3 de Villa Nueva	Fx	OFERTA
Zona 1	4.11 25	4.46 25	7.09 75	7.44	12.81	15.03	0	125
Zona 19	10.03 90	11.29	14.21	10.24	8.49	16.25	0 55	145
Zona 7 Mixco	11.12	11.41	14.27	8.31 50	7.44 75	14.33	0 8	133
Zona 10 Mixco	11.58	9.77 80	13.80	10.71	7.67	13.45 65	0	145
DEMANDA	115	105	75	50	75	65	63	548 548

### PROGRAMA ÓPTIMO DE DISTRIBUCIÓN

ORIGEN	DESTINO	UNIDADES <u>qq</u>	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
zona 1	zona 1	25	4.11	102.75
zona 1	zona 4	25	4.46	111.50
zona 1	zona 6	75	7.09	531.75
zona 19	zona 1	90	10.03	902.70
zona 19	Fx	55	0	0.00
zona 7 M	zona 7	50	8.31	415.50
zona 7 M	zona 8 M	75	7.44	558.00
zona 7 M	Fx	8	0	0.00
zona 10 M	zona 4	80	9.77	781.60
zona 10 M	Zona 3 V	65	13.45	874.25
	$\Sigma$	<b>548</b>		<b>4,278.05</b>

#### **Análisis:**

El cuadro anterior muestra el programa de distribución óptimo, de cada origen a cada destino, el cual le podrá demostrar a la empresa comercializadora y distribuidora de productos alimenticios que minimizará el costo de distribución. Siendo el costo óptimo de transporte de Q. 4,278.05 semanales.

### 3.6 ANÁLISIS COMPARATIVO CON RESPECTO A LOS COSTOS DE TRANSPORTE

<b>COSTO TOTAL</b>					
<b>SEMANAL</b>		<b>MENSUAL</b>		<b>ANUAL</b>	
<b>Sin el modelo de transporte</b>	<b>Con el modelo de transporte</b>	<b>Sin el modelo de transporte</b>	<b>Con el modelo de transporte</b>	<b>Sin el modelo de transporte</b>	<b>Con el modelo de transporte</b>
<b>Q5,363.11</b>	<b>Q4,278.05</b>	<b>Q21,452.44</b>	<b>Q17,112.20</b>	<b>Q257,429.28</b>	<b>Q205,346.40</b>
<b>Diferencia significativa</b>		<b>Diferencia significativa</b>		<b>Diferencia significativa</b>	
<b>Q 1,085.06</b>		<b>Q 4,340.24</b>		<b>Q 52,082.88</b>	

En el cuadro anterior se presenta los costos totales sin aplicar el modelo de transporte y posteriormente aplicando el modelo, lo cual evidencia a la empresa que obtendrá ahorros significativos en la parte de los costos de transporte de los productos a las tiendas mayoristas, siendo estos ahorros de Q 52,082.88 aproximadamente al año.

## CONCLUSIONES

1. La empresa carece de lineamientos para organizar las rutas de distribución de productos, lo que provoca dificultad en las operaciones de la organización y como consecuencia presenta deficiencias en la entrega de los productos ya que existe impuntualidad de entrega y desabastecimiento en las tiendas.
2. Al analizar las rutas se determinó que no existe organización en ellas, por lo que se comprobó la hipótesis planteada en el plan de investigación, en el sentido de que la razón por la cual se presentan costos elevados en el transporte de productos, es la falta de organización y ausencia de controles en las rutas de comercialización, ya que esto no permite a la empresa determinar la distribución óptima de sus productos, lo que ha generado que la unidad objeto de estudio presente altos costos de transporte en los rubros siguientes: combustible, mantenimiento, depreciación del vehículo y sueldos.
3. El modelo de transporte facilita la asignación de rutas, ya que una no será igual a la anterior. Por lo que con la implementación del modelo se podrán optimizar los recursos de la empresa y minimizar los costos en los que se incurre.
4. El método del Mínimo Costo, da el menor costo de distribución en comparación al método de esquina Noroeste y Voguel, para la solución óptima de distribución de insumos de la Comercializadora y Distribuidora de productos alimenticios.

5. Se determinó que actualmente la comercializadora realiza gastos de distribución mensuales de Q 21,452.44, luego de aplicar el modelo de transporte los gastos se reducen a Q 17,112.20 obteniendo una diferencia significativa de Q 4,340.24 mensuales, si los costos se mantienen más o menos constantes durante un año, el ahorro con la aplicación del método del mínimo costo sería de Q 52,082.88.

## RECOMENDACIONES

1. Para que la Comercializadora y Distribuidora de Productos Alimenticios mantenga un mejor control sobre la distribución de insumos, se recomienda crear una unidad de costos de transporte, que analice los gastos en los que incurre la organización, así mismo busque facilitar el estudio, la elaboración e implementación de procedimientos estadísticos que proporcionen a la comercializadora un manejo eficiente de las rutas de distribución y con esto disminuir las deficiencias que se presentan en la organización.
2. Mantener el control de las rutas de comercialización a través de la aplicación del modelo de transporte que permite conocer la distribución óptima de los productos así mismo, minimizar el tiempo de entrega y los costos de envío que la empresa realiza, como también mantener una mejor organización de las rutas y así eliminar el desabastecimiento en las tiendas de distribución.
3. Se recomienda utilizar métodos de análisis matemático estadístico para mejorar los procesos de distribución y la toma de decisiones, de esta manera reducir la incertidumbre que se tenga sobre las rutas de comercialización y de los costos.
4. Se deberá evaluar la información utilizada en el modelo, monitoreando mensualmente los costos de transporte en lo referente al combustible, mantenimiento entre otros, a fin de adecuarlos a los cambios que se presenten en el futuro y así obtener un resultado verídico y confiable.
5. Se recomienda utilizar la herramienta del modelo matemático de transporte, y con esto contribuir a la optimización de las rutas de distribución, así también a la disminución de los costos de transporte en los que incurre la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Baca Urbina, Gabriel. Evaluación de Proyectos. Sexta Edición. Editorial McGraw Hill, interamericana. México 2010. 318 páginas.
2. Benavides Pañeda, Javier. Administración. Editorial McGraw Hill, interamericana. México 2004. 364 páginas.
3. Eppen, G. D., Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. Quinta Edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México et al. 2000. 702 páginas.
4. Goodstein, Leonard. Nolan Timothy, Minnie Sterner. Pfeiffer, Joseph William. Planeación Estratégica Aplicada. Sexta Edición, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México, 1991. 433 páginas.
5. Heizer, Jay. & Render Barry. Principios de Administración de Operaciones. Séptima Edición. Editorial Pearson. México 2009. 684 páginas.
6. Hillier, Frederick y Lieberman, Introducción a la investigación de Operaciones. Cuarta Edición. Editorial McGraw Hill, interamericana. México 1988. 833 páginas.
7. Mathur, K. y Solow D. Investigación de Operaciones. Editorial Prentice Hall. México 1998. 977 p.
8. Monks, J. G., Administración de Operaciones. Novena Edición. Editorial McGraw Hill, interamericana. México 1994. 412 páginas.

9. Münch Galindo & García Martínez. Fundamentos de Administración. Quinta Edición. Editorial Trillas. Séptima reimpresión. México 1998. 594 Páginas.
10. Ross, Westerfield & Jordan. Fundamentos de finanzas corporativas. Novena Edición. Editorial McGraw Hill, interamericana. México 2010. 882 páginas.
11. Salort, Vicens. Ortiz, Eduardo. Bas, Ángel. Guarch Bertolín. Juan José. Métodos Cuantitativos, Volumen I, Camino de Vera, Valencia 1998. Servicios de Publicaciones. Páginas 349
12. Sociedad Anónima. Comercializadora y Distribuidora de productos Alimenticios.
13. Taha, Hamdy A. Investigación de Operaciones, séptima edición, Naucalpan de Juárez, Estado de México (2004): Pearson Educación de México, S.A. Páginas 848.

## RESUMEN EJECUTIVO DE TESIS

El presente documento consta de tres capítulos concatenados entre sí, los cuales muestran el estudio y la posible solución al problema planteado dentro de la Comercializadora y Distribuidora de Productos Alimenticios, los que se detallan a continuación:

**CAPÍTULO I:** describe el marco teórico en el cual se plasman los conceptos, teorías y principios; las definiciones, elementos y términos que se detallan a continuación permitieron una mejor comprensión y análisis de la investigación.

**EMPRESA:** es una institución o agente económico que se organiza dentro de una sociedad que a su vez interactúa con ella, se integra con los recursos humano, material, financiero y tecnológico, que en conjunto trabajan para la creación de bienes y servicios tangibles e intangibles, que satisfagan las necesidades de la sociedad, los cuales son intercambiados por un valor monetario. **Empresa comercial:** es una organización que se dedica al mercadeo de productos terminados, asimismo es un canal de distribución entre el productor y el consumidor final de determinados bienes.

**COSTO:** es un desembolso de dinero y recursos necesarios que se realizan con el fin de obtener un bien (costo de inversión), Este se divide en, **Costo fijo:** Son aquellos costos que una empresa debe realizar independientemente del volumen de producción. **Costo Variable:** Son aquellos costos que varían en relación directa con el volumen de producción; son una función de volumen y no del tiempo. **Costo total:** Los costos totales para un nivel de producción determinado son la suma de los costos variables (CV) y los costos fijos (CF).

**INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES:** La Investigación de Operaciones hace uso de los modelos matemáticos para dar solución a los inconvenientes que se presentan dentro de una entidad, tomando en cuenta varias alternativas de

acción y de acuerdo a la problemática planteada seleccionar la opción más indicada. **Origen de la Investigación de Operaciones:** La Investigación de Operaciones nació durante la Segunda Guerra Mundial, ya que en ese momento era necesario optimizar los recursos debido a los enfrentamientos. **Naturaleza de la Investigación de Operaciones (IO):** La naturaleza de la IO es intentar encontrar una mejor solución también llamada solución óptima para el problema bajo consideración. **Importancia de la Investigación de Operaciones:** La IO tiene un rol importante en los problemas de toma de decisión, ya que permite elegir la mejor opción dentro de varias alternativas, para alcanzar un determinado objetivo.

**MODELOS:** Son representaciones simplificadas o abstracciones de la realidad, requieren datos cuantificables, los cuales son expresados en forma numérica. **Tipos de modelos:** Existen tres tipos de modelos que se utilizan para explicar la realidad de cualquier idea o proyecto que se quiera dar a conocer, los cuales se describen a continuación: modelo icónico (a escala), modelo analógico o análogo, modelo matemático o simbólico. **Clasificación de los modelos:** estos pueden clasificarse en: según la información de entrada, el tipo de representación, la aleatoriedad, su aplicación u objetivo. **Construcción de modelos:** se construye primeramente para definir situaciones administrativas que conducen a las variables de decisión, además, identificar y definir de manera clara y concisa los objetivos.

**PROGRAMACIÓN LINEAL:** Es una técnica matemática de solución a problemas que requieren la definición de los valores de las variables involucradas en la decisión, para optimizar un objetivo a alcanzar dentro de un conjunto de limitaciones o restricciones, que constituyen las reglas del juego. **Supuestos de la programación lineal:** los supuestos se refieren a que el modelo debe tener una función objetivo lineal, sujeto a restricciones lineales. **Forma de expresión:** La forma en que pueden expresarse matemáticamente los problemas de

programación lineal, puede ser: Cuando es lineal la función que se desea maximizar o minimizar. Una función lineal en  $X$ , y  $y$ . **Formulación de un problema de programación Lineal:** Cada problema de programación lineal se formula analizando detenidamente el enfoque del problema que se desea solucionar e identificando claramente sus componentes principales, los cuales son las variables de decisión, función objetivo y restricciones del problema.

**MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL: (Modelo de asignación)** El objetivo del modelo es determinar la asignación óptima, la menos costosa o la de mejores rendimientos en un problema determinado. Para la resolución del modelo de asignación pueden emplearse dos métodos los cuales son: maximización y minimización. **(Modelo de transporte)** Entre los problemas más recurrentes en el tema de transporte de cualquier empresa desde el punto de vista económico, está el de trasladar un bien (materia prima, producto terminado etc.) al lugar de destino, de forma eficiente y eficaz, con el fin de minimizar los costos, es por ello que se han desarrollado algoritmos o procedimientos a partir del método simplex uno de los métodos de solución de la programación lineal. **Métodos de solución:** Esquina Nor-Oeste (ENO), mínimo costo (MC), método de aproximación de Vogel o multas (MAV) y pasos secuenciales.

**CAPÍTULO II:** Para dar a conocer la situación actual de la empresa y con el propósito de cumplir con los objetivos y la comprobación de las hipótesis planteadas en esta investigación, el presente capítulo expone el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la investigación de campo a través de la entrevista y la observación directa con el objeto de reunir la información necesaria y de esta manera obtener resultados más verídicos, este punto define la determinación de los costos en los que incurre la empresa para transportar el grano, seguidamente se procedió a determinar la distancia recorrida de cada origen a cada destino. Al analizar la información obtenida, se comprobó la hipótesis planteada con anterioridad. Por lo que es necesaria la implementación

de un modelo que permita optimizar el tiempo utilizado para la entrega de determinado producto, el cual se plantea en el siguiente capítulo.

**CAPÍTULO III:** muestra la aplicación que con los datos expuestos en el capítulo II se crearon las matrices de origen y destino para la aplicación del modelo de transporte, y así poder obtener la distribución óptima y la minimización de los costos de transporte. Los cuales se muestran a continuación:

**1. Planteamiento de la función objetivo:**

- **Objetivo:** Minimizar costos
- **Producto a Transportar:** Granos básicos

**2. Planteamiento de las restricciones**

- **Orígenes:** Zona 1, Zona 19, Zona 7 de Mixco, Zona 10 de Mixco la comunidad.
- **Destinos:** Zona 1, Zona 4, Zona 6, Zona 7, Zona 8 Mixco, Zona 3 Villa Nueva.

**3. Construcción de la Matriz de Orígenes y Destinos**

De \ A	Zona 1	Zona 4	Zona 6	Zona7	Zona 8 Mixco	Zona 3 de Villa Nueva	Ex	OFERTA
Zona 1	4.11 108	4.46 17	7.09	7.44	12.81	15.03	0	125
Zona 19	10.03 7	11.29	14.21 75	10.24	8.49	16.25	0 63	145
Zona 7 Mixco	11.12	11.41	14.27	8.31 50	7.44 75	14.33 8	0	133
Zona 10 Mixco	11.58	9.77 88	13.80	10.71	7.67	13.45 57	0	145
DEMANDA	115	105	75	50	75	65	63	548 548

**4. SOLUCIÓN:** para obtener una solución factible existen métodos los cuales se detallan a continuación: El método de esquina Nor-oeste, Mínimo costo, Aproximación de Vogel o de Multas y el de Pasos Secuenciales. Luego de

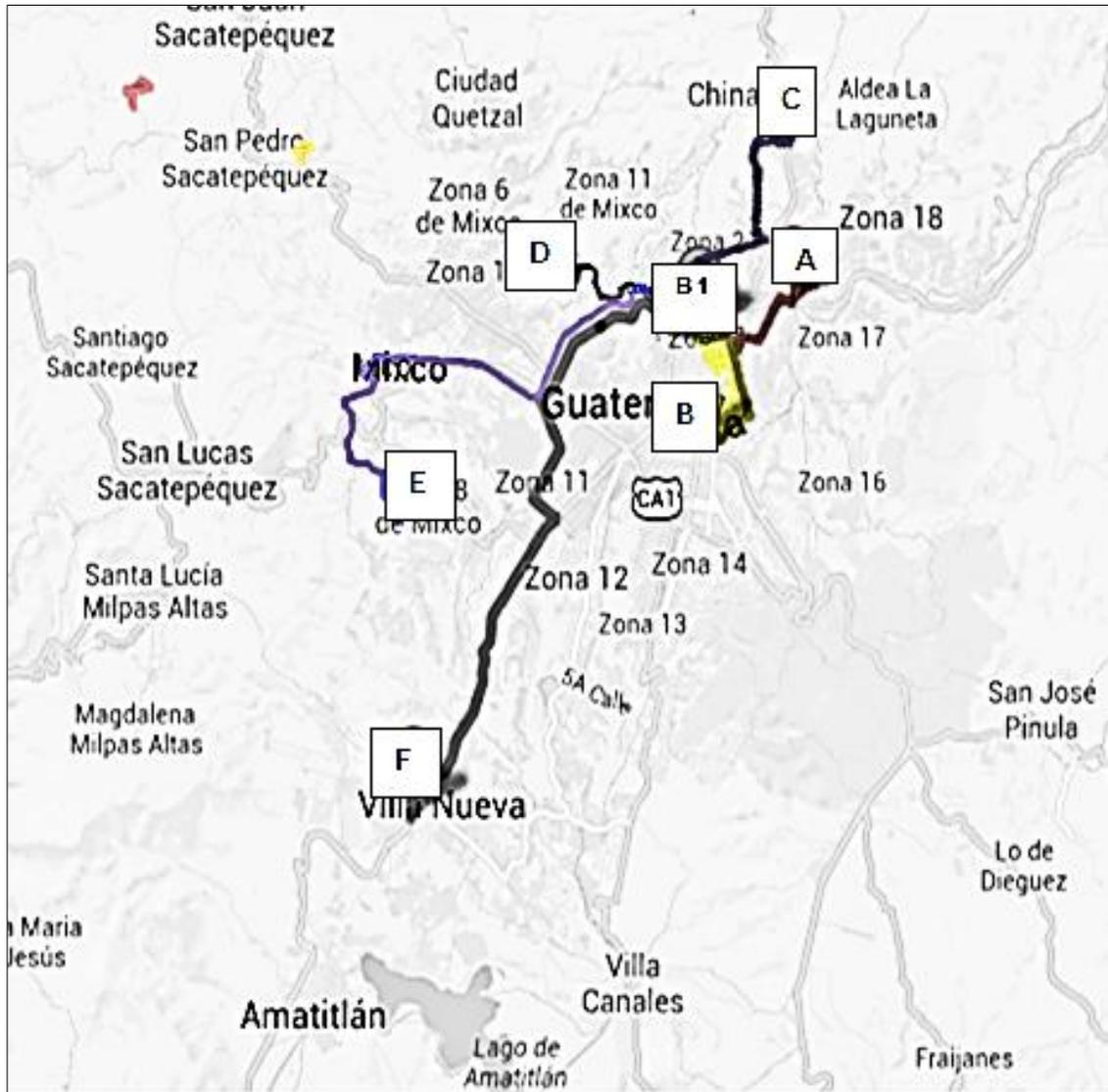
aplicar los diferentes métodos se obtuvieron los siguientes programas factibles de distribución.

<b>ESQUINA NOROESTE</b>	<b>MINIMO COSTO</b>	<b>VOGEL O DE MULTAS</b>
<b>Q 4,508.71</b>	<b>Q 4,385.54</b>	<b>Q 4,390.45</b>

De los programas de distribución expuestos anteriormente, el que proporciona el programa factible, es el método del mínimo costo. Para determinar si el resultado de éste es el programa óptimo, es necesario hacer una evaluación con el método de los pasos secuenciales el cual deberá evaluar cada celda vacía y determinar si se puede realizar alguna reasignación. Luego de haber aplicado el procedimiento se estableció un nuevo programa factible de distribución el cual demuestra que los costos pueden disminuir aún más. Por lo que se concluyó en lo siguiente: La hipótesis planteada en el plan de investigación, en el sentido de que la razón por la cual se presentan costos elevados en el transporte de productos, es la falta de organización y ausencia de controles en las rutas de comercialización, ya que esto no permite a la empresa determinar la distribución óptima de sus productos, lo que ha generado que la unidad objeto de estudio presente altos costos de transporte en los rubros siguientes: combustible, mantenimiento, depreciación del vehículo y sueldos fue comprobada. Esto da lugar a recomendar: Mantener el control de las rutas de comercialización a través de la aplicación del modelo de transporte que permite conocer la distribución óptima de los productos así mismo, minimizar el tiempo de entrega y los costos de envío que la empresa realiza, como también mantener una mejor organización de las rutas y así eliminar el desabastecimiento en las tiendas de distribución.

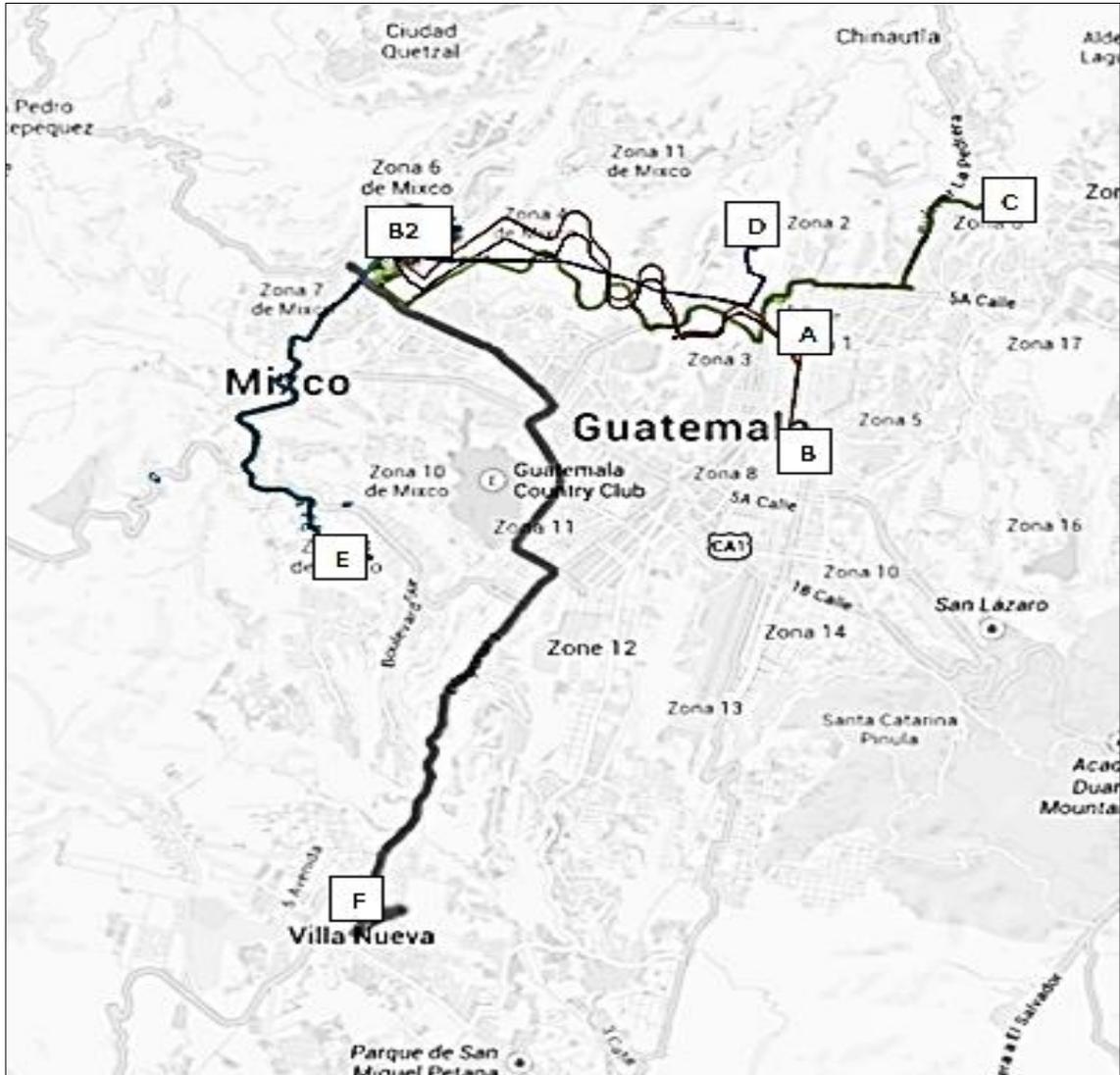
# **Anexos**

**ANEXO 1  
DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA BODEGA ZONA 1 A LOS DIFERENTES  
DESTINOS**



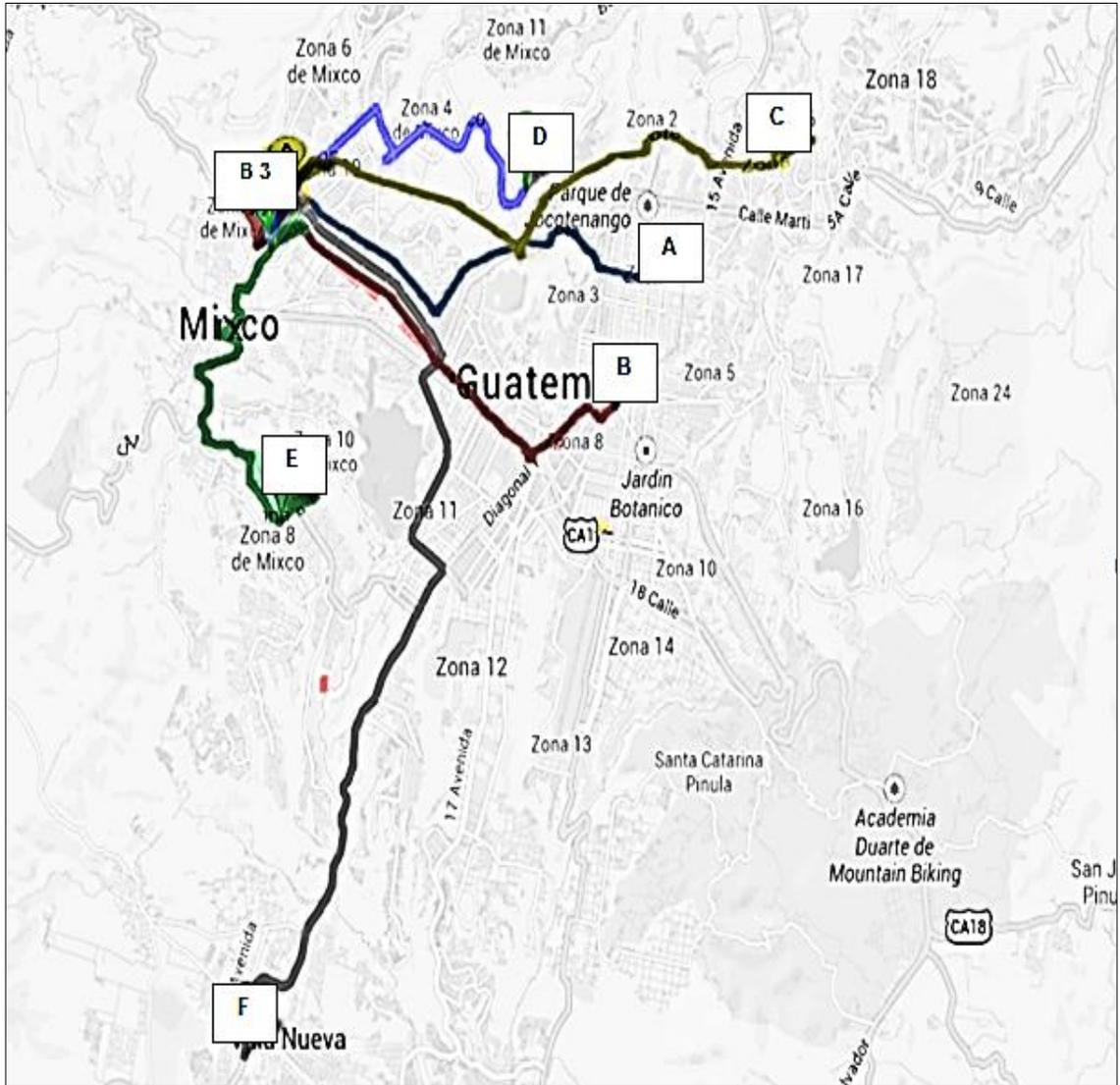
ORIGEN	DESTINO	IDENTIFICACIÓN	DISTANCIA EN KILOMETROS
	ZONA 1 B1	ZONA 1	A
ZONA 4		B	3,2
ZONA 6		C	7,7
ZONA 7		D	8,3
ZONA 8 DE MIXCO		E	17,5
ZONA 3 DE VILLA NUEVA		F	21,3

**ANEXO 2**  
**DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA BODEGA ZONA 19 A LOS DIFERENTES DESTINOS**



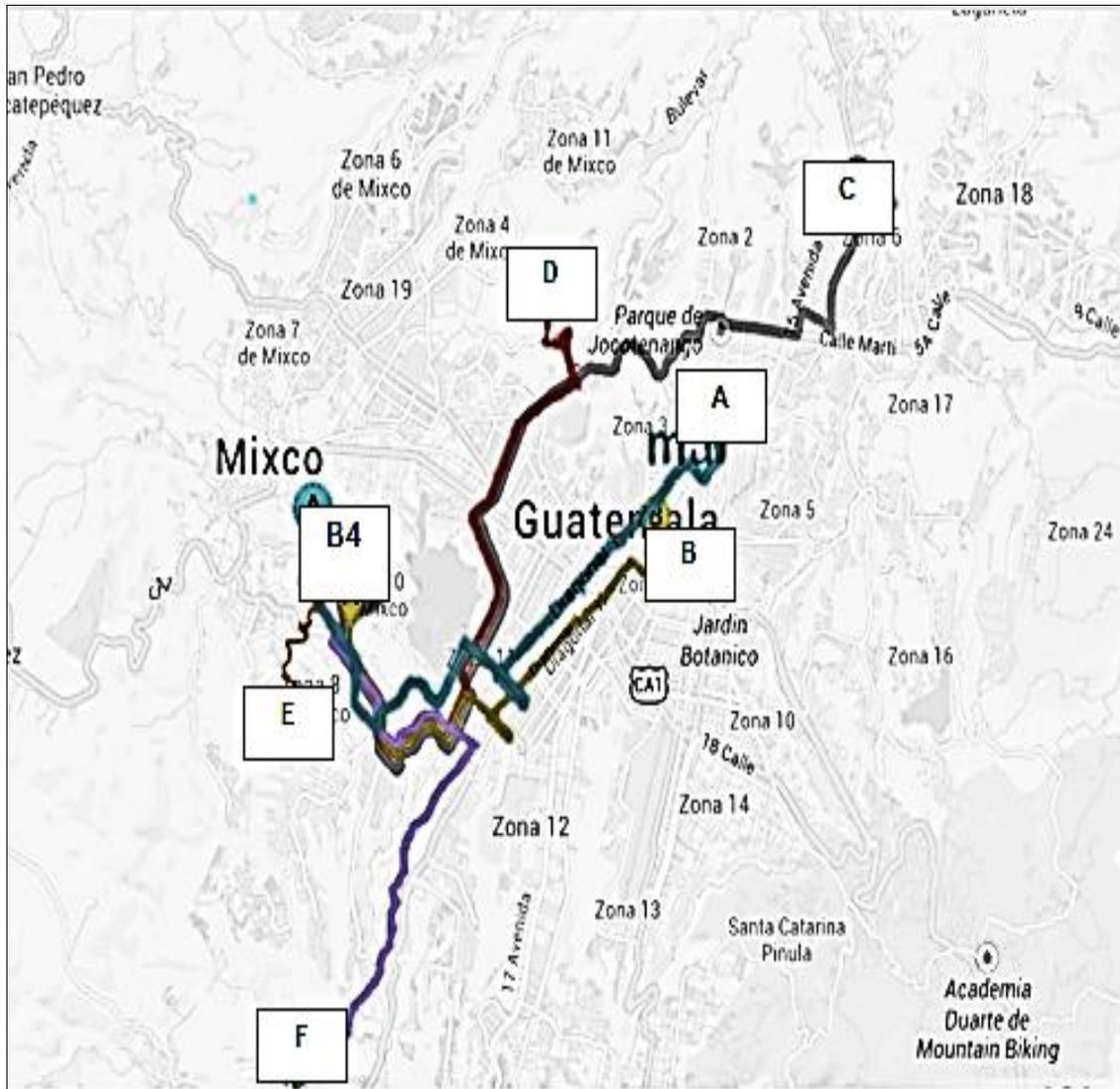
ORIGEN	DESTINO	IDENTIFICACIÓN	DISTANCIA EN KILÓMETROS
<b>ZONA 19</b> <b>B2</b>	ZONA 1	A	13,2
	ZONA 4	B	14,9
	ZONA 6	C	19,9
	ZONA 7	D	13,10
	ZONA 8 DE MIXCO	E	10,1
	ZONA 3 DE VILLA NUEVA	F	23,4

**ANEXO 3**  
**DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA BODEGA ZONA 7 DE MIXCO A LOS**  
**DIFERENTES DESTINOS**



<b>ORIGEN</b>	<b>DESTINO</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>DISTANCIA EN KILÓMETROS</b>
<b>ZONA 7</b> <b>MIXCO</b> <b>B3</b>	ZONA 1	A	14,6
	ZONA 4	B	15,1
	ZONA 6	C	20
	ZONA 7	D	9,8
	ZONA 8 DE MIXCO	E	8,3
	ZONA 3 DE VILLA NUEVA	F	19

**ANEXO 4**  
**DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA BODEGA ZONA 10 DE MIXCO A LOS**  
**DIFERENTES DESTINOS**



ORIGEN	DESTINO	IDENTIFICACIÓN	DISTANCIA EN KILÓMETROS
<b>ZONA 10</b> <b>MIXCO</b> <b>B4</b>	ZONA 1	A	15,4
	ZONA 4	B	12,3
	ZONA 6	C	19,2
	ZONA 7	D	13,19
	ZONA 8 DE MIXCO	E	8,7
	ZONA 3 DE VILLA NUEVA	F	18,6

**ANEXO 5  
DISTRIBUCIÓN PROPUESTA DE LA BODEGAS A LAS TIENDAS  
MAYORISTAS**



ORIGEN	DESTINO	
ZONA 1 B1	zona 1	A
	zona 4	B
	zona 6	C
ZONA 19 B2	zona 1	A
ZONA 7 DE MIXCO B3	zona 7	D
	zona 8 M	E
ZONA 10 DE MIXCO B4	zona 4	B
	Zona 3 V	F

**ANEXO 6**  
**GUIA DE ENTREVISTA**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS**  
**ESCUELA DE ADMINISTRACION DE EMPRESAS**

La presente guía de entrevista se realizará con el objetivo de conocer los registros contables que generan los costos de transporte de los productos de las bodegas hacia las tiendas de distribución.

1. ¿Cuál es el número y dirección de las bodegas con las que cuenta la empresa?
  
2. ¿Cuál es el número y dirección de las tiendas distribuidoras con las que cuenta la empresa?
  
3. ¿Qué cantidad de demanda manejan mensualmente?
  
4. ¿Qué cantidad de oferta manipulan mensualmente?
  
5. ¿Cuál es el horario de jornada laboral?
  
6. ¿Qué rubros integra el costo de transporte?
  
7. ¿Cuál es la cantidad de entregas diarias?
  
8. ¿Cuál es la unidad de medida de distribución?