ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

"MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA"

TEMA

"REDISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE HELADOS MEDIANTE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA"

AUTOR

ING. EDWARD VICENTE VERA MORA

Guayaquil - Ecuador

AÑO

2014

AGRADECIMIENTO

A Dios por su infinita bondad y bendiciones ya que sin la mira del Creador alcanzar alguna meta sería imposible.

A mis padres, abuelos y tíos que siempre estuvieron conmigo para apoyarme a superar los obstáculos del día a día. A ustedes, gracias totales por su paciencia, comprensión y cariño.

DEDICATORIA

A Carmen, mi madre, por darme la vida, por su invaluable cariño, por inculcarme valores de vida, y por sobre todo por enseñarme que el planteamiento de metas y la perseverancia para conseguirlas son claves indispensables para alcanzar el éxito.

A Paty, mi tía, quien con paciencia y sacrificio me ha acompañado durante todos mis años de estudio, siendo, con su guía y consejos, un pilar fundamental en mi formación profesional y personal.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponden; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Reglamento de Graduación de la Espol.

Ing. Edward Vicente Vera Mora

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

M.Sc. GAUDENCIO ZURITA HERRERA

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

M.Sc. CARLOS CEPEDA DE LA TORRE

DIRECTOR

M.Sc. GUILLERMO BAQUERIZO PALMA

VOCAL DEL TRIBUNAL

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

ÍNDICE GENERAL ..... **I**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **III**

ÍNDICE DE GRÁFICOS ..... **V**

1. OBJETIVOS Y GENERALIDADES

1.1 Antecedentes 1
1.2 Generalidades 5
1.3 Planteamiento del problema 6
1.4 Justificación del problema 7
1.5 Objetivo General 8
1.6 Objetivos Específicos 8
1.7 Metodología 9

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción 11
2.2 Programación Matemática 12
2.3 Programación Lineal 14
2.3.1 Lineamientos para la formulación de los modelos de programación lineal 16
2.3.2 Principales tipos de métodos para la resolución de este tipo de problemas 17
2.3.2.1 El algoritmo simplex 17
2.4 Programación Lineal Entera Mixta 18
2.4.1 Problemas más relevantes de la programación entera mixta 20
2.5 El Problema de Optimización de una Red Logística 22
2.6 Estado del Arte 24

3. APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Introducción 27
3.2 Situación Actual 27
3.3 Consideraciones del Modelo Matemático 30
3.4 Diseño y Estructura Del Modelo 30

3.4.1 Índices del Modelo 30
3.4.1.1 Plantas 31
3.4.1.2 Centros de Distribución 31
3.4.1.3 Regionales y Zonas de Distribución Controlada 31
3.4.1.4 Ciudades Destino 32
3.4.1.5 Variantes de Producto 32
3.4.1.6 Períodos de Tiempo 33
3.4.2 Parámetros del Modelo 34
3.4.2.1 Capacidad de Producción de la Planta 35
3.4.2.2 Demanda 35
3.4.2.3 Costos de Transporte 37
3.4.2.4 Costos Fijos 40
3.4.2.5 Costos de Implementación Distribución Controlada 40
3.4.3 Variables del Modelo 43
3.4.4 Formulación del Modelo Matemático 43
3.5 Escenarios Propuestos 46
3.5.1 Escenario 1: Rediseño de la Red Actual 47
3.5.2 Escenario 2: Implementación de Distribución Controlada en Quito. 49
3.5.3 Escenario 3: Implementación de Distribución Controlada en Cuenca. 51
3.5.4 Escenario 4: Implementación de Distribución Controlada en Machala. 53
3.5.5 Escenario 5: Implementación de Distribución Controlada en Portoviejo 55
3.5.6 Escenario 6: Implementación de Distribución Controlada para toda la Red. 57
3.5.7 Escenario 7: Implementación de Distribución Controlada en Machala y Portoviejo. 59
3.6 Resultados Obtenidos En Cada Escenario 61
3.7 Anexos Modelización En Gams 63

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Introducción 64
4.2 Conclusiones 64
4.3 Recomendaciones 66

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 3.1 Zonas de Atención Actual Asignada a Regionales....28
Tabla 3.2 Costos Red de Distribución Actual – Año 2012....29
Tabla 3.3 Índices del Modelo....30
Tabla 3.4 Ciudades Destino....32
Tabla 3.5 Demanda Mensual Año 2013 por Categoría en Toneladas....33
Tabla 3.6 Parámetros del Modelo....34
Tabla 3.7 Capacidad de Producción de la Planta en Toneladas....35
Tabla 3.8 Demanda Mensual Año 2013 por Ciudad en Toneladas....36
Tabla 3.9 Costo de Transporte: Planta - Centro de Distribución....37
Tabla 3.10 Costo de Transporte: Centro de Distribución - Regionales & Zonas de Distribución Controlada....37
Tabla 3.11 Costo de Transporte: Regionales - Ciudades Destino (Parte I)....38
Tabla 3.12 Costo de Transporte: Regionales - Ciudades Destino (Parte II)....39
Tabla 3.13 Costos Fijos Anuales de Centro de Distribución y Regionales....40
Tabla 3.14 Porcentajes Aplicables para Cálculo de Costos de Distribución Controlada ..41
Tabla 3.15 Porcentajes Aplicables para Plan de Incentivos por Metas Comerciales e Indicadores de Gestión....42
Tabla 3.16 Costos Asociados a la Implementación de Distribución Controlada....42
Tabla 3.17 Variables del Modelo....43
Tabla 3.18 Escenario 1 - Reestructura Zonas de Atención Asignada a cada Regional....47
Tabla 3.19 Escenario 1 - Costos Asociados a la Red de Distribución....48
Tabla 3.20 Escenario 2 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional..49
Tabla 3.21 Escenario 2 - Costos Asociados a la Red de Distribución....50
Tabla 3.22 Escenario 3 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional..51
Tabla 3.23 Escenario 3 - Costos Asociados a la Red de Distribución....52
Tabla 3.24 Escenario 4 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional..53
Tabla 3.25 Escenario 4 - Costos Asociados a la Red de Distribución....54
Tabla 3.26 Escenario 5 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional..55
Tabla 3.27 Escenario 5 - Costos Asociados a la Red de Distribución....56
Tabla 3.28 Escenario 6 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional..57
Tabla 3.29 Escenario 6 - Costos Asociados a la Red de Distribución....58
Tabla 3.30 Escenario 7 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional..59
Tabla 3.31 Escenario 7 - Costos Asociados a la Red de Distribución....60
Tabla 3.32 Resultados de cada Escenario....61
Tabla 3.33 Ahorros Obtenidos y Porcentajes de Costos de Distribución....61

Tabla 3.34 Propuesta de Mejora - Reasignación de Ciudades para Zonas de Atención de cada Regional 62
Tabla 3.35 Anexos - Modelos Desarrollados en GAMS 63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1.1 Grafo representativo de una Red Logística……2
Gráfico 2.1 Estructura de una Red Logística 21
Gráfico 3.1 Flujo de la Red - Situación Actual 29
Gráfico 3.2 Flujo de la Red - Asignación Óptima de Ciudades 48
Gráfico 3.3 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada en Quito 50
Gráfico 3.4 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada en Cuenca 52
Gráfico 3.5 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada en Machala 54
Gráfico 3.6 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada en Portoviejo .. 56
Gráfico 3.7 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada en toda la red . 58
Gráfico 3.8 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada Machala y Portoviejo 60

CAPÍTULO I
OBJETIVOS Y GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

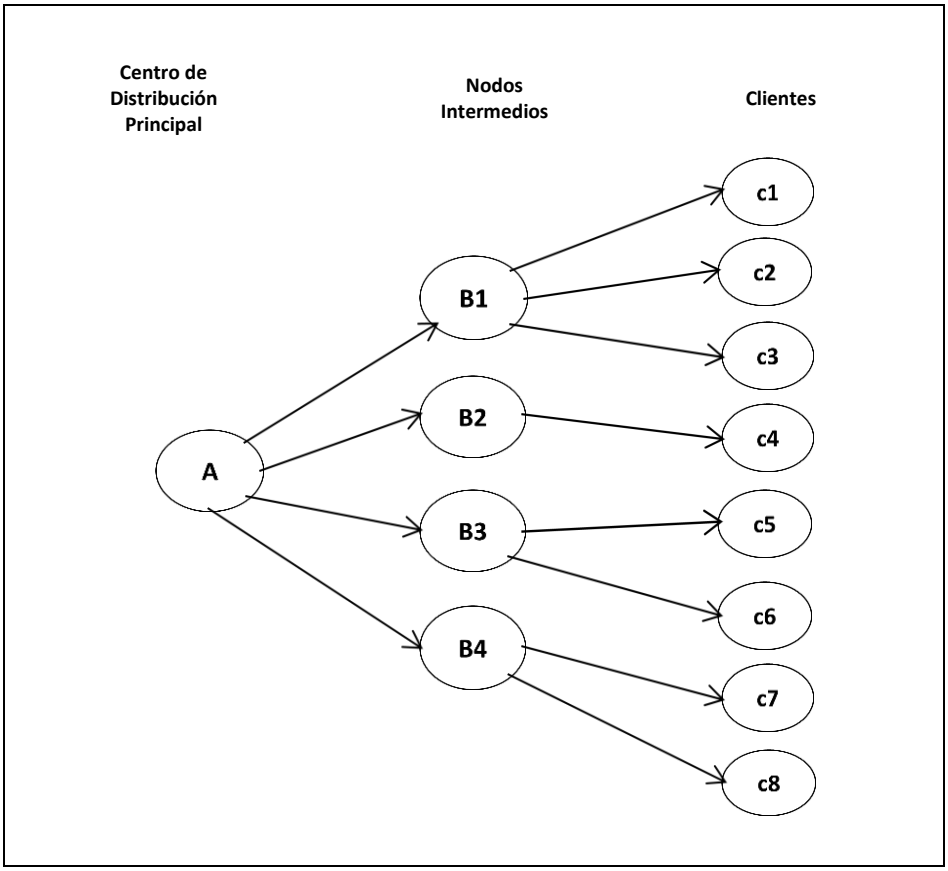
Actualmente los gerentes de logística deben ser capaces de reestructurar con frecuencia su red de distribución, en la búsqueda de reducir los costos de operación mientras se mejora el nivel de servicio.

En los años noventa las compañías reestructuraban su red de distribución una vez cada cinco o diez años, pero por los constantes cambios y la situación de mercado actual, se debe reconfigurar con mayor frecuencia la red.

Entre los factores principales que se deben evaluar para determinar la necesidad de cambios o rediseños de una red de distribución se pueden citar requerimientos de seguridad, cambios en acuerdos comerciales, variación de las tasas laborales, costos de operación e infraestructura, segmentación de clientes, localización de proveedores, nuevas compañías y productos, entre otros.

Una red de distribución puede ser vista como un grafo compuesto por nodos y arcos. Los nodos representan los agentes de la organización que interactúan en la red como son las fábricas, almacenes, centros de distribución y clientes; y los arcos son los diferentes medios de transporte entre los nodos ubicados en los diferentes niveles de la red.

Gráfico 1.1 Grafo Representativo de una Red Logística



Elaborado por: Edward Vera

La gestión de una red logística consiste en tomar las decisiones que optimizan su funcionamiento. Esta gestión se suele realizar a tres niveles diferentes como son el nivel estratégico, el nivel táctico y el nivel operacional.

El nivel estratégico define la estructura de la red de distribución. Dentro de ésta podemos citar los medios de producción, almacenamiento y transporte disponibles para un horizonte de tiempo de varios años. Los estudios a nivel estratégico tienen por objetivo determinar la mejor estructura de una red logística a partir de datos históricos y previsiones estimadas.

El nivel táctico planifica el funcionamiento de la red logística en un horizonte medio, normalmente en el orden máximo de un año o meses si es el caso. La planificación táctica de la red determina la utilización óptima de sus recursos en el período fijado.

El nivel operacional ejecuta los planes del nivel táctico en el día a día del funcionamiento de la red de distribución.

El diseño de la configuración de la red logística involucra la definición de la función, capacidad y localización de cada uno de sus elementos. Adicionalmente se debe considerar la estrategia corporativa, la misión y objetivos del sistema logístico, así como las metas en el nivel de servicio al cliente establecidas.

El diseño de la red constituye un problema estratégico por los elevados montos de inversión involucrados, por su impacto en el nivel competitivo de la empresa a largo plazo, y por el alto nivel de incertidumbre que acompaña su análisis. La definición de la cantidad, capacidad y ubicación de almacenes son decisiones interdependientes e importantes para la definición del nivel de servicio al cliente.

La determinación de las decisiones previas depende en gran medida de los costos de transporte y de la necesidad de garantizar que existan los niveles requeridos de inventarios, para cumplir con un nivel de servicio establecido.

Los objetivos que principalmente se persiguen en el diseño de una red de distribución, pero no los únicos, son la minimización del inventario, la disminución de los costos de transporte, y la satisfacción de los requerimientos del cliente.

Muchas técnicas han sido desarrolladas para ayudar en la tarea de diseñar la configuración y operatividad de una red de distribución.

En general, todas requieren de la construcción de un modelo que represente la red. Entre las técnicas existentes podemos mencionar el Análisis Operativo/Financiero de Opciones, Optimizaciones con el uso de Heurísticas y Sistemas de Soporte en Decisiones (DSS - Decision Support Systems).

Uno de los mecanismos utilizados es el Método de Evaluación de Criterios, el cual es usado comúnmente para evaluar y seleccionar entre varias opciones uno o varios lugares para localizar plantas y/o almacenes. Bajo este método se identifican varios factores o criterios relevantes para evaluar y seleccionar áreas o sitios donde se ubicarían los nodos de la red, posteriormente se asignan valores y/o pesos a cada criterio. Finalmente, cada alternativa se evalúa sumando los valores de cada criterio, seleccionándose aquellas que hayan obtenido la mayor puntuación.

Entre los factores de mayor relevancia a evaluar para determinar la localización de nodos e instalaciones podemos citar; la infraestructura existente de transporte, disponibilidad de fuerza de trabajo, disponibilidad de terrenos, infraestructura de servicios, cercanía a centros poblados y de abastecimiento de materias primas y de productos terminados, legislación local y apertura o rechazo existente en la comunidad considerada como locación.

La ventaja del método es que se puede evaluar un sitio con varios criterios a la vez. Sin embargo, la subjetividad involucrada origina que diferentes decisiones resulten, si el proceso es evaluado por diferentes personas.

También se puede considerar técnicas de optimización basadas principalmente en programación matemática las mismas que serán utilizadas en el presente trabajo de estudio, con las cuales se busca minimizar el costo total de operación de la red.

Con estas técnicas se pueden analizar sistemas logísticos complejos, y encontrar respuestas óptimas a interrogantes como: cantidad y localización de almacenes, mezcla de productos por planta, niveles de inventarios óptimos y medios de transporte a utilizar.

1.2 GENERALIDADES

La empresa objeto de estudio se encuentra ubicada en Guayaquil en uno de los mayores sectores industriales de la ciudad, y su actividad económica principal es la producción, comercialización y distribución de helados a nivel nacional.

La compañía cuenta con 60 años de presencia en el mercado ecuatoriano, razón por la cual su marca se encuentra muy bien posicionada, alcanzando una participación promedio del 75% a nivel nacional.

Dentro de las categorías de helados que se comercializan podemos citar paletería, tortas, postres, litros y combos promocionales que son asignados principalmente al canal de autoservicios.

El modelo de distribución actual contempla la ejecución de distribución primaria hacia las regionales ubicadas en las principales ciudades del país; y distribución secundaria, la cual se realiza mediante un modelo de entregas punto a punto a clientes directos. Se cuenta con un portafolio de 5,400 clientes aproximadamente, lo cual representa un total de 6,000 puntos de entrega que son atendidos a través del modelo de distribución ya especificado.

Adicional a la planta de producción y centro de distribución ubicado en Guayaquil, la compañía cuenta con 4 regionales que se encuentran ubicadas en Quito, Cuenca, Machala y Portoviejo.

Cada regional es abastecida desde Guayaquil, y a su vez desde cada regional se realiza la distribución hacia cada una de las localidades donde se encuentran ubicados los puntos de entrega de atención directa.

La operación de transporte se encuentra totalmente tercerizada con proveedores especializados en cadena de frío. Los tipos de camiones utilizados por la operación de distribución son de 2,000, 2,500, 6,000 y 20,000 litros. Los camiones de 20,000 litros son utilizados para realizar los traslados desde el centro de distribución principal hacia cada una de las regionales; mientras que los camiones con capacidades de 2,000, 2,500, y 6,000 litros se utilizan para cubrir las rutas de entregas directas a clientes.

El centro de distribución principal y cada regional cuenta con una flota asignada por el proveedor para garantizar la operación de cada localidad.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La compañía necesita realizar un análisis profundo de la estructura de costos asociados a la red de distribución actual por lo cual el presente trabajo de graduación tiene como premisas principales dar respuesta a interrogantes como:

- ¿Es eficiente la estructura y diseño actual de la red?
- ¿Cuál es la localización óptima de los nodos de distribución dentro de la red?
- ¿Qué zonas de clientes o ciudades deben ser atendidas desde cada nodo de la red?
- ¿Cuál es el costo total asociado a la red de distribución si suprimimos un nodo específico e implementamos Distribución Controlada para esa zona?

Lo que se pretende con este trabajo es poder contar con un análisis en detalle de la red de distribución que se encuentra actualmente implementada, y proponer diversos escenarios para su respectiva evaluación y revisión con el equipo del Área Logística.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En el entorno globalizado en el que tienen que interactuar actualmente las compañías, contar con una red de distribución que permita operar de manera eficiente en términos de costos, minimización de tiempos de respuesta y servicio, representa una ventaja competitiva que se ve reflejada en la velocidad de la ejecución del proceso logístico, y que faculta a las organizaciones a poder competir tanto en el ámbito local como internacional.

Toda organización hoy en día se encuentra frente a la necesidad de colocar en tiempos menores y en forma efectiva sus productos y/o servicios en manos de los clientes, razón por la cual la administración de la red logística ha ingresado en el plano titular de la gestión empresarial y es considerada como una variable esencial en el proceso de generación de valor y en la estrategia de penetración y captación de nuevos mercados.

El diseño eficiente de una red de distribución es una tarea de mucha complejidad, sobre todo por la gran cantidad de variables que intervienen y la importancia de las decisiones que se deben tomar, por lo cual se hace necesaria la implementación de técnicas matemáticas que permitan minimizar los costos asociados a la operación de distribución de cualquier empresa.

En la empresa objeto de estudio, los costos actuales de distribución representan aproximadamente el 11.5% de las ventas anuales (alrededor de $ 6.1 millones).

Es aquí donde radica la importancia de este proyecto y la necesidad de evaluar el diseño de la red actual en búsqueda de oportunidades de optimización y reducción de costos. La compañía actualmente está haciendo mucho énfasis en una política de disminución de costos y la implementación de proyectos de ahorro.

Este trabajo de graduación tiene como propósito evaluar el diseño actual de la red de distribución y proponer alternativas mediante la evaluación de diversos escenarios con el objetivo de minimizar los costos de operación asociados a toda la red.

1.5 OBJETIVO GENERAL

Proponer y evaluar el rediseño de una red de distribución de una empresa comercializadora de helados que minimice los costos de operación asociados al funcionamiento de toda la red, mediante la determinación de las localizaciones óptimas de cada uno de sus nodos; así como también el establecimiento de zonas de atención específicas para cada uno de ellos.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En cuanto a los objetivos específicos que se persiguen en este estudio se pueden citar:

- Determinar si el diseño y estructura actual de la red es eficiente.
- Determinar la localización óptima de los nodos que estructuran la red propuesta, y las zonas de atención específicas que se van a asignar a cada nodo.
- Comparar los costos actuales con los costos que se pueden generar al evaluar diferentes escenarios de localización de nodos para la red de distribución.

- Comparar los costos actuales con los costos que se pueden generar al implementar la distribución controlada en determinadas plazas que actualmente se encuentran definidas como nodos dentro de la red.

1.7 METODOLOGÍA

La metodología a utilizar consistirá en la recolección de datos y levantamiento de información relacionada con los costos de operación y funcionamiento de la red de distribución con el diseño actual.

El estudio contempla el levantamiento de información relevante que incluye los costos fijos de operación de cada nodo de la red, los costos de transporte asociados al flujo de productos o mercaderías entre cada nodo, la demanda por producto y ciudad, y los costos asociados a la implementación de distribución controlada en cada nodo de la red. Estos datos serán proporcionados por el departamento logístico de la empresa.

Con esta información se procederá a diseñar un modelo matemático basado en programación entera mixta que permita dar solución a las interrogantes y premisas expuestas en cada uno de los objetivos generales y específicos del presente estudio.

Para la programación de dicho modelo se utilizará el software GAMS, el cual se basa en un lenguaje de modelización. Una de las ventajas que presenta este programa, es que junto al módulo base de modelización, incorpora diferentes algoritmos de resolución de problemas tanto de programación lineal, no lineal y entera.

Dentro de los escenarios a evaluarse como alcance del proyecto se propone:

- Rediseño y localización de la red actual considerando la solución óptima encontrada por el modelo matemático.

- Eliminación de la regional e implementación de Distribución Controlada en Quito manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.

- Eliminación de la regional e implementación de Distribución Controlada en Cuenca manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.

- Eliminación de la regional e implementación de Distribución Controlada en Machala manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.

- Eliminación de la regional e implementación de Distribución Controlada en Portoviejo manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.

- Eliminación de las regionales e implementación de Distribución Controlada en Machala y Portoviejo manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.

- Implementación de Distribución controlada para toda la red.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos de una organización es contar con un producto de óptima calidad a un costo competitivo y que éste sea entregado en el menor tiempo posible a los consumidores.

Es por esta razón que las empresas prestan cada vez más atención a la logística dentro de la organización, ya que ésta se involucra tanto en el costo como en el tiempo de entrega y la calidad de un producto que se distribuye por cada uno de los eslabones de la cadena de abastecimiento.

El rápido avance en la informática y el desarrollo de software enfocado a dar soluciones a problemas de orden logístico, han permitido mejorar de forma eficiente las operaciones de distribución en las organizaciones, implementando diferentes mejoras en la búsqueda constante de tener una estructura mucho más flexible, práctica y económica.

Enfocado a un proceso de toma de decisiones, la optimización se define como hallar el valor máximo o mínimo de una función que representa la descripción matemática del problema en análisis. En los problemas de decisión que generalmente se presentan, se deben considerar una serie de requisitos a cumplir, los cuales denominamos restricciones y que condicionan la elección de la solución buscada. Muchas veces la complejidad de las situaciones reales hace que los problemas de optimización planteados se resuelvan frecuentemente con métodos aproximados.

La investigación de operaciones busca resolver problemas reales analizando los mismos bajo una representación simplificada de los diversos factores que intervienen en éste y su interrelación. Esta representación se denomina modelo, con el cual a través de la utilización de métodos matemáticos podemos plantear alternativas de optimización para el problema propuesto.

El modelo que se construye no es único y constituye una visión personalizada de la problemática que va a ser considerada como objeto del estudio a realizarse. Para la consecución y desarrollo del presente trabajo de graduación, se procederá con la aplicación de programación matemática, a través del diseño de un modelo de programación lineal.

2.2 PROGRAMACION MATEMÁTICA

La Programación Matemática es una técnica orientada al diseño de metodologías para resolver, desde un punto de vista práctico y con el uso de la computación, problemas de optimización con recursos limitados.

Un problema de optimización en términos matemáticos queda definido por:

- Las **variables del problema** que se notarán por el vector (x). El vector (x) es el vector de variables instrumentales o variables de decisión, de entre cuyos valores posibles se trata de elegir aquel o aquellos que proporcionen el valor óptimo de la función (f).

- La **función objetivo** f(x) representa una descripción matemática del objetivo que se pretende alcanzar con el problema planteado. Esta función puede comprender una o varias variables de decisión.

- El **conjunto de oportunidades** (k) o conjunto de valores que satisfacen todas las condiciones del problema que se trata de resolver. El conjunto de las restricciones está formado por cada una de las condiciones que deben cumplirse por cada valor asignado a las variables de decisión.

En función de diversos criterios, los modelos de optimización se pueden clasificar:

a) Según la **naturaleza de los datos**, se puede hablar de modelos deterministas o de modelos estocásticos.

   Se denominan problemas deterministas a todos aquellos problemas en donde se conoce con exactitud los datos del modelo, mientras que cuando los datos siguen una distribución de probabilidades se está frente a modelos estocásticos.

b) En relación a la **variable de tiempo**, si interviene de forma explícita en el modelo, entonces se considera como un problema dinámico frente a los problemas estáticos, en donde no lo está.

c) Atendiendo a los **objetivos del problema**, se puede hablar de modelos con objetivo único frente a los problemas multi-objetivos.

d) Considerando **la continuidad de las variables**, también se los puede clasificar como problemas continuos o problemas discretos.

e) Atendiendo a la **linealidad de las funciones** que intervienen, también se pueden clasificar a los modelos en lineales o modelos no lineales.

2.3 PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal es el estudio de modelos matemáticos concernientes a la asignación eficiente de los recursos limitados en las actividades conocidas, con el objetivo de satisfacer las metas deseadas.

George Dantzig (1947) desarrolló el método SIMPLEX para el problema de programación lineal. Con ello hizo posible la solución de grandes problemas modelados con programación lineal que solo quedaban en la situación de estudios [1].

Paralelamente a la invención de este método a mediados del siglo XX se desarrolló la computación digital y se pudo tener resultados óptimos a los problemas estudiados que se quedaron como modelos. [4]

Según Shamblin (1975), programación lineal es un medio matemático que permite asignar una cantidad fija de recursos a la satisfacción de varias demandas, de tal manera que mientras se optimiza algún objetivo se satisfacen otras restricciones definidas. [1].

El desarrollo de la programación lineal es considerado como uno de los avances científicos más importantes de la mitad del siglo XX. Su impacto desde 1950 ha sido extraordinario, siendo una técnica que ha permitido la utilización óptima de recursos en muchas empresas y negocios alrededor del mundo [1].

En sus inicios la aplicación de la programación lineal estuvo concentrada en las operaciones de índole militar, sin embargo estos modelos emigraron rápidamente hacia la industria.

Hoy, con el aumento de las capacidades computacionales, más y más empresas tienen acceso a las ventajas de los modelos de programación lineal [2]. Sin duda alguna es uno de los métodos analíticos más viables económicamente para la solución de problemas de administración, el cual tiene diversas aplicaciones y ha sido aplicado exitosamente en las industrias petrolera, automotriz, química, forestal, metalúrgica, agrícola, militar, etc. Incluso en mercadotecnia, se le ha empleado para seleccionar los medios de publicidad y los canales adecuados de distribución.

La Programación Lineal permite resolver problemas de mezclas, nutrición de animales, distribución de fábricas, afectación de personal a distintos puestos de trabajo, almacenaje, planes de producción, escalonamiento de la fabricación, problemas de circulación, planes de optimización de semáforos, estudios de comunicaciones internas, entre otros.

La programación lineal se caracteriza por:

1. La función objetivo es lineal, es decir:

   $$f(x) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \ldots.$$

2. Las restricciones del problema también son lineales:

   $$h_1(x); \quad a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \ldots\ldots + a_{1n} x_n \leq b_1$$
   $$h_2(x); \quad a_{21} x_1 + a_{12} x_2 + \ldots\ldots + a_{1n} x_n \leq b_1$$
   $$h_m(x); \quad a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \ldots\ldots + a_{mn} x_n \leq b_m$$

3. Las variables instrumentales han de tomar necesariamente valores mayores o iguales que cero. Se trata de una condición de no negatividad.

   $$x_i \geq 0$$

2.3.1 LINEAMIENTOS PARA LA FORMULACIÓN DE LOS MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Para comprender lo que es la Programación Lineal es importante entender los siguientes conceptos básicos:

- **Variables de Decisión:** Conjunto de variables cuya magnitud se desea determinar resolviendo el modelo de programación lineal.

- **Restricciones:** Están constituidas por el conjunto de desigualdades que limitan los valores que puedan tomar las variables de decisión en la solución.

- **Función Objetivo:** Es la función matemática que relaciona las variables de decisión.

- **Linealidad:** Se refiere a que las relaciones entre las variables, tanto en la función objetivo como en las restricciones deben ser lineales.

- **Desigualdades:** Las desigualdades utilizadas para representar las restricciones deben ser cerradas o flexibles, es decir, menor o igual (<=), o mayor o igual (>=). No se permiten desigualdades de los tipos menor estrictamente o mayor estrictamente, o abiertas.

- **Condición de no – negatividad:** En la programación lineal las variables de decisión sólo pueden tomar valores de cero o valores positivos. No se permiten valores negativos.

- **Solución Factible:** La solución factible ha de ser una solución que esté contenida dentro del conjunto convexo de oportunidades. La solución factible óptima es aquel o aquellos vectores admisibles para los que la función objetivo alcanza el óptimo.

La solución del modelo proporcionará los valores óptimos de las variables de decisión, así como también información acerca del análisis de sensibilidad. La interpretación adecuada puede ofrecer información valiosa sobre la toma de decisiones para los administradores.

2.3.2 PRINCIPALES MÉTODOS PARA LA RESOLUCIÓN DE ESTE TIPO DE PROBLEMAS

De entre los varios métodos propuestos para resolver este tipo de problemas destaca el algoritmo simplex.

2.3.2.1 EL ALGORITMO SIMPLEX

El algoritmo simplex como todo algoritmo iterativo, necesita un punto de partida que es la solución factible básica inicial. Ésta se puede definir como aquella en que los valores asignados a las variables de decisión satisfacen todas las restricciones; así como también las condiciones de no negatividad para las variables básicas del problema.

Si esta solución no es la óptima, se van generando a través del método de cálculo sucesivas soluciones básicas (puntos extremos), hasta determinar cuál de ellas es la óptima, momento en el cual se detiene el proceso. El algoritmo simplex se puede resumir en las siguientes etapas:

- Determinar una solución básica factible inicial.

- Resolver para las variables básicas.
- Comprobar si se cumple el criterio de optimalidad.
- En caso de que la tercera condición no se cumpla, eliminar una variable de la base, que pasaría a ser no básica e introducir una nueva variable básica seleccionada entre las no básicas.

2.4 PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA MIXTA

Muchos problemas de decisión involucran no solo variables que pueden representarse por valores reales, sino decisiones de tipo discreto que están representadas de forma natural por variables enteras o binarias. Estos problemas de optimización híbridos con variables reales y enteras se denominan de programación entera mixta. Matemáticamente un modelo de programación entera se puede expresar como [5]:

$$\max(\min) \qquad z = c^T x$$

sujeto a:

$$Ax \leq b$$

con $x \in \mathbb{Z}^n$, $c \in \mathbb{R}^n$, $b \in \mathbb{R}^m$, $A \in M_{mxn}$

De manera particular si algunas variables deben tomar valores enteros y otros valores reales se dice Programa lineal mixto (MIP) [5]:

$$\max(\min) \qquad z = c^T x + a^T y$$

sujeto a:

$$Ax + By \leq b$$

con $x \in \mathbb{R}^n$,$y \in \mathbb{Z}^n$, $c, a \in \mathbb{R}^n$, $b \in \mathbb{R}^m$, $A \in M_{mxn}$

Existen numerosas aplicaciones de programación entera en la que el problema incluye cierto número de decisiones que pueden estar interrelacionadas. Debido a que estos problemas involucran sólo dos posibilidades, este tipo de decisiones se pueden representar mediante variables de decisión restringida a sólo dos valores 0 y 1 [3]. De esta forma la i-ésima decisión sí o no se puede representar por (x_i) tal que:

$$x_i = \begin{cases} 1 \; si \; la \; decisión \; i \; es \quad sí \\ 0 \; si \; la \; decisión \; i \; es \; no \end{cases}$$

Los modelos de programación entera mixta son una extensión de los modelos lineales en los cuales las variables del modelo pueden tomar valores enteros. A través de estos modelos se pueden representar sistemas de mayor complejidad, pero paralelamente, la resolución de los mismos a través de métodos exactos se complica.

Es por esta razón que los métodos más usados para resolver un problema MIP incluyen relajaciones y heurísticas. Las relajaciones se realizan fundamentalmente abandonando algunas restricciones del problema original, y su principal objetivo es que el problema sea más fácil de resolver que el original.

Los métodos heurísticos producen un número finito de iteraciones para encontrar una solución factible de buena calidad para el problema, sin que esto garantice que se encontrará el óptimo para el problema objeto de estudio. Adicional a las relajaciones y heurísticas, también se suelen utilizar metaheurísticas las cuales están orientadas a encontrar soluciones de mayor calidad, tomando como punto de partida las soluciones iniciales encontradas mediante la aplicación de métodos heurísticos. Entre las principales metaheurísticas podemos citar: algoritmos genéticos, búsqueda tabú, redes neuronales, colonia de hormigas, entre otras.

2.4.1 PROBLEMAS MÁS RELEVANTES DE LA PROGRAMACIÓN ENTERA MIXTA

Entre los problemas más relevantes de la programación entera mixta podemos citar:

- El **Problema de la Mochila**, el cual consiste en elegir un subconjunto de objetos de tal forma que se maximice la utilidad que el excursionista obtiene, pero sin rebasar su capacidad de llevar objetos.

- El **Problema de la Asignación** cuyo objetivo es determinar la asignación óptima de tareas, de manera que se minimice el costo total de la asignación considerando la restricción de que cada operador debe ejecutar una tarea y solo una.

- Otro de los aplicativos de la programación entera mixta es el **Problema del Particionamiento,** el cual considera un conjunto de (n) clientes a los que se les debe satisfacer la demanda de bienes. El objetivo es escoger un subconjunto de las (m) rutas, de tal forma que a cada cliente se le visite una y sólo una vez.

- El **Problema de Recubrimiento** en cuya solución se debe decidir la instalación de centros de seguridad de entre (n) posibles de tal forma que se cubran (m) regiones.

  Cada centro tiene asociado un costo de instalación y definido el número de regiones que pueden ser cubiertos por éste. El objetivo es la elección de un subconjunto de centros que cubran todas las regiones y minimicen los costos de instalación.

- El **Problema del Agente Viajero** cuyo objetivo es encontrar el TOUR para el cual la distancia total recorrida sea mínima considerando un conjunto de nodos que se deben visitar una sola vez.

- El **Problema del Transporte (Estructura de Redes Logísticas)** basado principalmente en el escenario en el cual se tienen (m) orígenes o depósitos, (n) destinos o puntos de demanda.

  Adicionalmente se considera el costo de envío de una unidad de producto desde el origen (i) al destino (j) representado con (c_{ij}).

  El problema consiste en determinar las cantidades (x_{ij}), que deben enviarse desde el origen (i) al destino (j), para satisfacer la demanda y minimizando el costo total del envío a través de toda la red.

Gráfico 2.2 Estructura de una Red Logística

Elaborado por: Edward Vera

Este modelo puede ser expresado de la siguiente forma: [5]

$$\min \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = u_i \quad \forall \; i = 1, ..., m$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = v_j \quad \forall \; j = 1, ..., n$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall \; i = 1, ..., m, j = 1, ..., n$$

2.5 EL PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN DE UNA RED LOGÍSTICA

El escenario típico referente a la estructura y diseño de una red logística se caracteriza principalmente por la problemática de ubicación de plantas, almacenes y demás centros de distribución que estructuran la red.

A través de los flujos que conforman la red, existe una demanda asociada a cada artículo que es fabricado por las plantas, las mismas que cuentan con una capacidad finita de producción.

Esta demanda se satisface mediante el despacho vía almacenes, hacia cada nodo ubicado en la red logística, los mismos que a su vez, tienen asignadas de forma exclusiva determinadas zonas de clientes.

Las posibles ubicaciones para los almacenes o nodos están dadas dentro de un posible listado de opciones, pero los sitios particulares que se utilizarán serán seleccionados de manera que den por resultado el menor costo total de distribución [6].

Los costos de almacenamiento se expresan como cargos fijos más un cargo variable lineal generado por los costos de transporte. El presente problema está sujeto a las siguientes restricciones:

- No puede excederse el suministro disponible por las plantas para cada producto.
- Debe cumplirse la demanda para cada producto.
- La utilización de cada almacén no puede exceder su capacidad.
- Todos los productos de un mismo cliente deben atenderse desde un solo almacén.

Un problema similar a éste, relacionado con la ubicación de almacenes, fue desarrollado por H.J. Heinz Company (1960), y luego aplicado a los problemas de distribución de la compañía Nestlé [6].

Los principales elementos de costo de distribución en la simulación de la compañía Heinz fueron:

Clientes: Las características de los clientes que afectan los costos de distribución son:

a. Ubicación del cliente.
b. Volumen anual de demanda.
c. Distribución del tamaño de pedido.

Almacenes: Los costos de los almacenes están representados por:

a. Inversión Fija en almacenes.
b. Costos fijos de operación y administración de cada Centro de Distribución.
c. Costos variables asociados a la gestión de almacenamiento.

Fábricas: La ubicación de las fábricas está ligada estrictamente a los costos de transporte, ya que la localización de las mismas tiene inherencia directa en las distancias entre cada nodo que conforma la red.

Costos de transportación: Los costos de flete asociados al transporte de productos entre cada uno de los nodos localizados en la red.

Costos de Distribución Controlada: Estos costos están representados por valores que se destinan a la implementación y desarrollo de distribuidores responsables de la comercialización y entrega de mercaderías hacia el canal detallista.

Los porcentajes aplicados a descuentos en facturación y cumplimiento de metas comerciales como por ejemplo aumento de puntos activos y coberturas, componen este rubro de costos.

2.6 ESTADO DEL ARTE

Como parte final del análisis de los conceptos teóricos plasmados para evaluar el problema propuesto en este trabajo de graduación, se resumen algunas aplicaciones similares por parte de otros autores.

En el 2012, en Cali-Colombia se levantó un estudio para reducir el costo logístico de transporte primario entre la Cervecería del Valle a los diversos centros de distribución. Este proyecto tuvo como alcance reducir el costo logístico en la Cervecería del Valle hacia los centros de distribución ubicados en las ciudades de Armenia, Barranquilla, Bogota, Girardot, Honada, Ibagué, Medellín, Neiva, Pasto, Pereira, Popayán, Tibasosa y Tocancipa [7].

El proyecto abarcó desde la planeación del despacho pasando por la toma del producto desde la bodega de almacenamiento hasta el estibado del producto en la bodega de almacenamiento del centro de distribución de destino. Para la solución de este problema se utilizó un modelo de programación entera mixta para determinar la asignación óptima de plazas a ser atendidas por cada centro de distribución; así como también la asignación del medio de transporte a utilizarse en cada tramo de la red.

En el 2009, en el estado de Puebla – México se realizó un análisis de la red actual de abastecimiento de amoníaco anhidro que es una de las materias primas principales para fertilizantes en México. El problema planteó minimizar los costos de distribución de la red aplicando un modelo de programación matemática para determinar la localización del centro de distribución que atenderá las zonas de Baja California, Sinaloa, Sonora y Chihuaha. Con la aplicación del modelo se definió que el centro de distribución debe estar ubicado en Topolobambo Sinaloa. La alternativa de Guaymas Sonora también fue evaluada como opción dentro del análisis. [8]

En el 2008, en Bogotá se realizó un estudio enfocado a la localización de una plataforma de cross-docking. En este estudio se formula un modelo matemático que permite tomar la decisión de la localización de la plataforma de cross-docking teniendo en cuenta entre otros parámetros: la localización de los orígenes de la demanda; la localización de los orígenes de suministros como proveedores, fabricantes, otras plataformas, etc.; los medios de transporte, sus capacidades y los costos de transporte, de tal manera que se minimicen los costos de transporte y distribución de toda la red. Para la solución del problema, este se divide en dos sub-problemas como son: un problema de localización exclusivamente, y un problema de distribución y transporte. [9]

En relación al primer problema que es objeto de nuestro estudio, se plantea un problema de programación lineal entera mixta. Este trabajo tuvo su enfoque en el área militar donde se desarrolló un proyecto piloto para evaluar ubicaciones estratégicas de surtidores de provisiones y equipamiento.

También en el 2008, en un estudio realizado por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Beijing por los investigadores Wang Zhuan, Zhang Qinghua, Yang bo, He Wenwen, se utilizó la aplicación de un modelo matemático en el Software Lindo, para reducir los costos logísticos aplicándolo en la cadena de distribución de medicinas, con restricción de tiempo límite de servicio. [10]

En el 2007, se realizó un estudio que tuvo como objetivo proponer un diseño para la red de abastecimiento de alimentos en Guayaquil. Este trabajo fue realizado mediante la aplicación de un modelo de programación entera mixta. Como parte de la solución encontrada se plantearon 2 escenarios. El primero consistió principalmente en analizar la factibilidad de reubicar parte de las plazas existentes para garantizar el abastecimiento de alimentos a sectores donde la población demandante no disponía de fácil acceso. El segundo escenario contempló como parte de la solución propuesta incorporar plazas adicionales de mercado en 5 sectores denominados Esteros, Trinitaria, Km 8 y medio, Sector Cisne y Bastión. [1]

CAPÍTULO III
APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Como fue citado en el capítulo I, una de las premisas principales a considerar y por las cuales se planteó el desarrollo del presente trabajo de estudio, fue la necesidad de realizar un análisis profundo de la estructura de costos asociados a la red logística.

El objetivo principal consiste en evaluar el rediseño de la red de distribución de la empresa con el propósito de minimizar los costos de operación asociados al funcionamiento de toda red. Otros de los objetivos que se persiguen con este estudio son la determinación de las localizaciones óptimas de cada uno de los nodos que estructuran la red; así como también el establecimiento de zonas de atención específicas para cada uno de ellos.

Para la búsqueda de soluciones y planteamiento de alternativas a cada uno de los objetivos planteados en este estudio, se procederá a diseñar un modelo matemático basado en programación lineal entera mixta en GAMS. Dicho modelo será desarrollado en el presente capítulo.

3.2 SITUACIÓN ACTUAL

El diseño actual de la red de distribución contempla la localización de la Planta de Producción y Centro de Distribución principal en Guayaquil y 4 regionales ubicadas en Quito, Cuenca, Machala y Portoviejo.

Teniendo como origen cada uno de los nodos citados, se realiza la distribución a diferentes ciudades a nivel nacional, llegando aproximadamente a más de 6000 puntos de entrega que son atendidos a través del modelo de distribución ya especificado.

La asignación actual de las ciudades destino a las zonas de atención de cada regional, se muestran en la tabla adjunta.

Tabla 3.1 Zonas de Atención Actual Asignada a Regionales

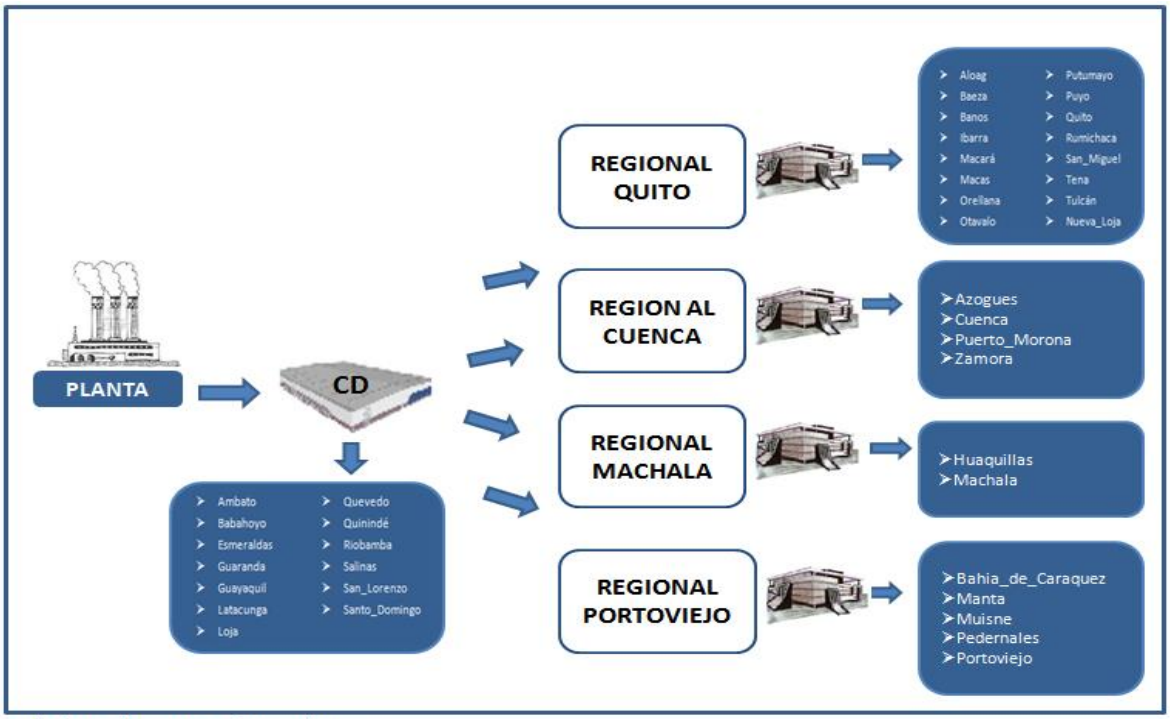
Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Cuenca	Azogues
Regional Cuenca	Cuenca
Regional Cuenca	Puerto Morona
Regional Cuenca	Zamora
Regional Guayaquil	Ambato
Regional Guayaquil	Babahoyo
Regional Guayaquil	Esmeraldas
Regional Guayaquil	Guaranda
Regional Guayaquil	Guayaquil
Regional Guayaquil	Latacunga
Regional Guayaquil	Loja
Regional Guayaquil	Quevedo
Regional Guayaquil	Quinindé
Regional Guayaquil	Riobamba
Regional Guayaquil	Salinas
Regional Guayaquil	San Lorenzo
Regional Guayaquil	Santo Domingo
Regional Machala	Huaquillas
Regional Machala	Machala

Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Portoviejo	Bahía de Caráquez
Regional Portoviejo	Manta
Regional Portoviejo	Muisne
Regional Portoviejo	Pedernales
Regional Portoviejo	Portoviejo
Regional Quito	Alóag
Regional Quito	Baeza
Regional Quito	Baños
Regional Quito	Ibarra
Regional Quito	Macará
Regional Quito	Macas
Regional Quito	Orellana
Regional Quito	Otavalo
Regional Quito	Putumayo
Regional Quito	Puyo
Regional Quito	Quito
Regional Quito	Rumichaca
Regional Quito	San Miguel
Regional Quito	Tena
Regional Quito	Tulcán
Regional Quito	Nueva Loja

Elaborado por: Edward Vera

La asignación de ciudades determinada en la tabla 3.1, se ilustra a continuación:

Gráfico 3.1 Flujo de la Red - Situación Actual



Elaborado por: Edward Vera

Los costos totales de la red bajo la asignación y esquema de trabajo actual, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.2 Costos Red de Distribución Actual – Año 2012

Concepto	Descripción
Costo Fijo Centro de Distribución Guayaquil	$ 794,130.06
Costo Fijo Regional Quito	$ 400,154.15
Costo Fijo Regional Portoviejo	$ 321,404.83
Costo Fijo Regional Machala	$ 278,987.14
Costo Fijo Regional Cuenca	$ 328,441.14
Costo de Transporte Planta - Centro de Distribución	$ 353,848.00
Costo de Transporte Centro de Distribución - Regionales	$ 1,628,436.26
Costo de Transporte Regionales - Ciudades Destino	$ 1,987,340.92
	$ 6,092,742.49

Elaborado por: Edward Vera

3.3 CONSIDERACIONES DEL MODELO MATEMÁTICO

La metodología utilizada contempla la recolección de datos y levantamiento de información relacionada con todos los costos de operación del modelo de distribución actual y las demás consideraciones relacionadas con el funcionamiento de dicho sistema logístico.

Dentro de la información relevante que será analizada para construir el modelo constan los costos fijos de operación de cada nodo de la red, los costos de transporte por tramo, la demanda por cada variante de producto y por ciudad, y los costos asociados a la implementación de distribución controlada. Estos datos han sido suministrados por el departamento logístico de la empresa.

3.4 DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL MODELO

3.4.1 ÍNDICES DEL MODELO

El modelo contempla los siguientes índices o conjuntos, los mismos que forman parte del sistema de distribución con el que funciona actualmente la empresa.

Tabla 3.3 Índices del Modelo

Índices	Descripción
(i)	Plantas
(j)	Centros de Distribución
(k)	Regionales y/o Zonas de Distribución Controlada
(l)	Ciudades Destino
(m)	Variante de productos
(t)	Periodo de Tiempo (Mes)

Elaborado por: Edward Vera

3.4.1.1 PLANTAS

El conjunto Plantas está representado en este caso por la planta de producción actual ubicada en Guayaquil desde la cual se realiza el envío de producto terminado hacia el centro de distribución ubicado en la misma ciudad.

3.4.1.2 CENTROS DE DISTRIBUCIÓN

El conjunto centros de distribución lo conforma el Almacén principal, que también está ubicado en Guayaquil y que se encarga de recibir la producción proveniente de la planta.

En el centro de distribución se ejecuta una fase de control de calidad post-producción, la cual contempla que el inventario debe permanecer en cuarentena durante un período de 48 horas antes de que éste sea considerado como disponible para la venta y direccionado hacia cada regional.

El centro de distribución maneja una frecuencia de recepción de 20 pallets de producto terminado de planta cada hora y media, esto equivale aproximadamente a 8 recepciones en total al día.

3.4.1.3 REGIONALES Y ZONAS DE DISTRIBUCIÓN CONTROLADA

Las regionales son utilizadas como plataformas logísticas intermedias para luego generar los flujos de entrega de mercadería hacia los clientes finales.

El Área Logística conjuntamente con el Departamento de Compras y el Equipo de Proyectos de la compañía, han determinado que las plazas consideradas para la implementación de Zonas de Distribución Controlada son las mismas en las que actualmente la compañía mantiene operando sus regionales; es decir, Guayaquil, Quito, Cuenca, Portoviejo y Machala.

3.4.1.4 CIUDADES DESTINO

Las ciudades representan los nodos o puntos finales de destino de la red. Se considera a cada ciudad destino como una plaza comercial desde la que se generan diversos flujos de demanda de los clientes ubicados en dicha localización.

Estos flujos de demanda por cliente han sido consolidados o agrupados en una sola demanda por plaza, con la finalidad de poder modelar el flujo consolidado originado desde cada regional hacia cada ciudad destino.

Los clientes a nivel nacional se encuentran ubicados en cada una de las ciudades que se detallan a continuación:

Tabla 3.4 Ciudades Destino

Clientes			
Alóag	Guayaquil	Nueva Loja	Quito
Ambato	Huaquillas	Orellana	Riobamba
Azogues	Ibarra	Otavalo	Rumichaca
Babahoyo	Latacunga	Pedernales	Salinas
Baeza	Loja	Portoviejo	San Lorenzo
Bahía de Caráquez	Macará	Puerto Morona	San Miguel
Baños	Macas	Putumayo	Santo Domingo
Cuenca	Machala	Puyo	Tena
Esmeraldas	Manta	Quevedo	Tulcán
Guaranda	Muisne	Quinindé	Zamora

Elaborado por: Edward Vera

3.4.1.5 VARIANTES DE PRODUCTO

El conjunto de Variantes de Producto está representado por el portafolio de ítems que comercializa la empresa.

El estudio contempla la demanda individual de cada ítem consolidada por ciudad. Para efectos de simplificación del modelo, las diferentes variantes de producto han sido agrupadas en familias. Esta clasificación ha sido realizada considerando factores de homogeneidad como son gramaje y volumen, categorización por marcas, etc. Estos datos fueron suministrados por el área de planificación del departamento logístico de la empresa.

Tabla 3.5 Demanda Mensual Año 2013 por Categoría en Toneladas

Categoría	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Categoría 1	383	400	418	400	418	437	418	415	400	442	461	480
Categoría 2	462	480	497	480	497	517	496	491	501	520	541	562
Categoría 3	449	469	488	469	488	509	488	482	492	513	534	554
Categoría 4	417	436	454	436	454	474	454	450	458	477	497	517
Categoría 5	475	495	515	495	515	536	514	508	518	539	561	583
Categoría 6	470	491	512	491	512	532	510	505	516	537	559	581
Categoría 7	486	508	530	508	530	552	529	524	535	557	580	603
Categoría 8	406	422	439	421	438	455	438	433	442	460	477	495
Categoría 9	406	424	441	424	441	459	441	437	446	463	481	499
Categoría10	420	440	460	440	460	481	460	457	466	487	508	529
Categoría11	350	364	378	364	378	393	378	375	383	397	411	426
Categoría12	419	436	452	436	452	470	452	448	458	475	494	513
Categoría13	503	524	545	523	543	565	543	536	549	571	593	615
Categoría14	534	557	580	556	579	603	579	571	583	607	633	659
Categoría15	525	548	571	548	571	595	569	561	574	598	625	651
Total	**6,703**	**6,992**	**7,280**	**6,988**	**7,277**	**7,578**	**7,270**	**7,191**	**7,319**	**7,644**	**7,954**	**8,267**

Elaborado por: Edward Vera

3.4.1.6 PERÍODOS DE TIEMPO

El período de tiempo determina los valores que toman los diversos parámetros intervinientes en el modelo como son capacidades máximas de planta, centro de distribución y regionales, así como también los niveles de los flujos de demanda que se originan desde y hacia cada nodo de la red. Los períodos de tiempo para este estudio están dados en meses.

3.4.2 PARÁMETROS DEL MODELO

Entre los parámetros considerados para planteamiento del modelo matemático se tienen las capacidades de producción de la planta, la demanda establecida para cada punto de entrega final (ciudades), los costos de transportes asociados al traslado de mercaderías entre cada uno de los niveles de la red, los costos fijos de operación de cada nodo y los costos de implementación de distribución controlada para las zonas en las que se determine este modelo de operación.

Tabla 3.6 Parámetros del Modelo

Código	Descripción
Cap_prod_planta (m,t)	Capacidad máxima de producción de la planta de la variante de producto (m) en el tiempo (t).
Demanda(l,m,t)	Tabla de demanda de la ciudad (l) por producto (m) en el período de tiempo (t).
Cost_trans_tons1(i,j)	Costo de transporte por tonelada desde la Planta (i) hasta el Centro de Distribución (j).
Cost_trans_tons2(j,k)	Costo de transporte por tonelada desde el Centro de Distribución (j) hasta la Regional (k).
Cost_trans_tons3(k,l)	Costo de transporte por tonelada desde la Regional (k) hasta la ciudad destino (l).
Costo_Fijo_CD(j)	Costo fijo de operación anual del Centro de Distribución (j).
Costo_Fijo_Regional_Distrib.Controlada(k)	Costo fijo de operación anual de la Regional (k) y/o costo de implementación de distribución controlada en la zona atendida por la regional (k)

Elaborado por: Edward Vera

3.4.2.1 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE PLANTA

La capacidad de producción anual de la planta Guayaquil para cada variante de producto terminado, se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3.7 Capacidad de Producción de la Planta en Toneladas

Categoría	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Categoría 1	404	422	441	422	441	461	441	438	474	466	486	506
Categoría 2	428	445	463	444	462	480	462	457	466	485	503	522
Categoría 3	428	447	465	447	465	484	465	461	470	488	507	526
Categoría 4	443	464	485	464	485	507	485	482	491	513	536	558
Categoría 5	369	384	399	384	399	414	399	395	404	419	433	449
Categoría 6	442	460	477	460	477	496	477	472	483	501	521	541
Categoría 7	530	552	575	551	572	596	572	565	579	602	625	648
Categoría 8	563	587	611	586	610	636	610	602	615	640	667	695
Categoría 9	554	578	602	578	602	627	600	591	605	630	659	686
Categoría10	487	506	524	506	524	545	523	518	528	548	570	593
Categoría11	473	494	514	494	514	537	514	508	519	541	563	584
Categoría12	440	460	479	460	479	500	479	474	483	503	524	545
Categoría13	501	522	543	522	543	565	542	536	546	568	591	615
Categoría14	496	518	540	518	540	561	538	532	544	566	589	613
Categoría15	512	536	559	536	559	582	558	552	564	587	611	636
Total	**7,069**	**7,374**	**7,675**	**7,371**	**7,671**	**7,989**	**7,664**	**7,584**	**7,771**	**8,058**	**8,387**	**8,716**

Elaborado por: Edward Vera

3.4.2.2 DEMANDA

La tabla de demanda consolidada mostrada por ciudad se muestra a continuación.

Tabla 3.8 Demanda Mensual Año 2013 por Ciudad en Toneladas

Categoría	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Alóag	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
Ambato	245	259	272	259	272	285	272	271	279	293	306	319
Azogues	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Babahoyo	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Baeza	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Bahía de Caráquez	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Baños	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Cuenca	409	433	458	433	458	482	457	448	461	485	510	536
Esmeraldas	95	96	97	96	97	98	97	97	97	98	99	100
Guaranda	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
Guayaquil	1,971	2,074	2,176	2,070	2,173	2,285	2,168	2,126	2,166	2,301	2,418	2,537
Huaquillas	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Ibarra	134	141	147	141	147	154	147	147	147	154	161	167
Latacunga	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Loja	110	116	121	116	121	127	121	121	121	127	132	138
Macará	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Macas	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Machala	235	250	264	250	264	278	264	264	272	286	300	315
Manta	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Muisne	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Nueva Loja	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Orellana	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Otavalo	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Pedernales	95	96	97	96	97	98	97	97	97	98	99	100
Portoviejo	312	331	350	331	350	370	350	345	356	376	396	416
Puerto Morona	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Putumayo	119	122	125	122	125	129	125	125	125	129	132	135
Puyo	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Quevedo	272	288	305	288	305	321	305	304	316	332	349	365
Quinindé	135	140	144	140	144	149	144	144	145	150	154	158
Quito	947	998	1,048	998	1,048	1,101	1,047	1,026	1,057	1,110	1,166	1,222
Riobamba	142	154	166	154	166	178	166	166	166	178	190	202
Rumichaca	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Salinas	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
San Lorenzo	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
San Miguel	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Santo Domingo	198	208	218	208	218	228	218	217	221	231	241	251
Tena	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Tulcán	96	100	105	100	105	109	105	105	105	109	113	118
Zamora	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Total	**6,703**	**6,992**	**7,280**	**6,988**	**7,277**	**7,578**	**7,270**	**7,191**	**7,319**	**7,644**	**7,954**	**8,267**

Elaborado por: Edward Vera

3.4.2.3 COSTOS DE TRANSPORTE

Los costos de transporte para cada uno de los niveles de la red se detallan a continuación. Los mismos están expresados en Dólares por Tonelada.

Tabla 3.9 Costo de Transporte: Planta - Centro de Distribución

Origen	Destino	Valor
Guayaquil	Guayaquil	$ 4

Elaborado por: Edward Vera

Tabla 3.10 Costo de Transporte: Centro de Distribución - Regionales & Zonas de Distribución Controlada

Origen	Destino	Valor
Guayaquil	Cuenca	$ 29
Guayaquil	Machala	$ 27
Guayaquil	Portoviejo	$ 27
Guayaquil	Quito	$ 48
Guayaquil	Distribución Controlada Cuenca	$ 29
Guayaquil	Distribución Controlada Machala	$ 27
Guayaquil	Distribución Controlada Portoviejo	$ 27
Guayaquil	Distribución Controlada Quito	$ 48

Elaborado por: Edward Vera

Tabla 3.11 Costo de Transporte: Regionales - Ciudades Destino (Parte I)

	Destinos				
Orígenes	**Alóag**	**Ambato**	**Azogues**	**Babahoyo**	**Baeza**
Regional Guayaquil	$ 72	$ 76	$ 59	$ 26	$ 74
Regional Quito	$ 10	$ 21	$ 49	$ 42	$ 20
Regional Cuenca	$ 52	$ 42	$ 13	$ 37	$ 64
Regional Portoviejo	$ 44	$ 48	$ 52	$ 32	$ 57
Regional Machala	$ 62	$ 52	$ 29	$ 30	$ 74
	Bahía	**Baños**	**Cuenca**	**Esmeraldas**	**Guaranda**
Regional Guayaquil	$ 57	$ 82	$ 46	$ 99	$ 77
Regional Quito	$ 40	$ 25	$ 54	$ 29	$ 23
Regional Cuenca	$ 57	$ 45	$ 4	$ 76	$ 53
Regional Portoviejo	$ 18	$ 57	$ 49	$ 52	$ 45
Regional Machala	$ 56	$ 48	$ 26	$ 69	$ 45
	Guayaquil	**Huaquillas**	**Ibarra**	**Latacunga**	**Loja**
Regional Guayaquil	$ 4	$ 52	$ 95	$ 72	$ 84
Regional Quito	$ 48	$ 69	$ 21	$ 16	$ 74
Regional Cuenca	$ 29	$ 31	$ 68	$ 46	$ 36
Regional Portoviejo	$ 27	$ 53	$ 60	$ 44	$ 70
Regional Machala	$ 27	$ 16	$ 78	$ 56	$ 46
	Macará	**Macas**	**Machala**	**Manta**	**Muisne**
Regional Guayaquil	$ 75	$ 79	$ 36	$ 34	$ 77
Regional Quito	$ 24	$ 44	$ 63	$ 46	$ 45
Regional Cuenca	$ 48	$ 36	$ 26	$ 49	$ 82
Regional Portoviejo	$ 69	$ 67	$ 47	$ 4	$ 44
Regional Machala	$ 52	$ 53	$ 4	$ 47	$ 75

Elaborado por: Edward Vera

Tabla 3.12 Costo de Transporte: Regionales - Ciudades Destino (Parte II)

	Destinos				
Orígenes	**Nueva Loja**	**Orellana**	**Otavalo**	**Pedernales**	**Portoviejo**
Regional Guayaquil	$ 108	$ 93	$ 90	$ 67	$ 43
Regional Quito	$ 36	$ 39	$ 26	$ 33	$ 42
Regional Cuenca	$ 81	$ 74	$ 66	$ 70	$ 48
Regional Portoviejo	$ 74	$ 77	$ 56	$ 36	$ 11
Regional Machala	$ 98	$ 91	$ 75	$ 63	$ 47
	Puerto Morona	**Putumayo**	**Puyo**	**Quevedo**	**Quinindé**
Regional Guayaquil	$ 84	$ 107	$ 83	$ 30	$ 77
Regional Quito	$ 66	$ 55	$ 27	$ 32	$ 30
Regional Cuenca	$ 43	$ 100	$ 48	$ 47	$ 67
Regional Portoviejo	$ 89	$ 90	$ 59	$ 27	$ 45
Regional Machala	$ 60	$ 116	$ 65	$ 40	$ 60
	Quito	**Riobamba**	**Rumichaca**	**Salinas**	**San Lorenzo**
Regional Guayaquil	$ 75	$ 72	$ 84	$ 16	$ 90
Regional Quito	$ 4	$ 21	$ 34	$ 67	$ 38
Regional Cuenca	$ 54	$ 41	$ 81	$ 45	$ 85
Regional Portoviejo	$ 46	$ 50	$ 71	$ 33	$ 66
Regional Machala	$ 63	$ 53	$ 92	$ 44	$ 83
	San Miguel	**Santo Domingo**	**Tena**	**Tulcán**	**Zamora**
Regional Guayaquil	$ 93	$ 61	$ 84	$ 98	$ 84
Regional Quito	$ 39	$ 21	$ 28	$ 33	$ 80
Regional Cuenca	$ 84	$ 58	$ 56	$ 81	$ 41
Regional Portoviejo	$ 74	$ 36	$ 66	$ 74	$ 76
Regional Machala	$ 101	$ 50	$ 72	$ 91	$ 40

Elaborado por: Edward Vera

3.4.2.4 COSTOS FIJOS

Los costos fijos asociados a la operación de Centro de Distribución y Regionales, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.13 Costos Fijos Anuales de Centro de Distribución y Regionales

Detalle	Centro Distribución Guayaquil	Regional Quito	Regional Cuenca	Regional Portoviejo	Regional Machala
Alquiler de Equipos e Instalaciones	$ 200,000	$ 150,620	$ 120,496	$ 84,347	$ 88,866
Beneficios Empleados	$ 9,282	$ 3,898	$ 3,249	$ 3,703	$ 2,970
Beneficios Sociales	$ 95,234	$ 39,998	$ 33,332	$ 37,998	$ 30,475
Depreciaciones	$ 56,789	$ 23,851	$ 19,876	$ 22,659	$ 18,172
Equipos y Redes de Cómputo	$ 2,224	$ 934	$ 778	$ 887	$ 712
Gastos de Limpieza	$ 40,211	$ 16,889	$ 14,074	$ 16,044	$ 12,868
Gastos Financieros	$ 10,671	$ 4,482	$ 3,735	$ 4,258	$ 3,415
Gastos Misceláneos Contratistas	$ 9,624	$ 4,042	$ 3,368	$ 3,840	$ 3,080
Impuestos	$ 1,841	$ 773	$ 644	$ 735	$ 589
Mantenimiento y Reparaciones	$ 75,000	$ 31,500	$ 26,250	$ 29,925	$ 24,000
Nómina	$ 120,456	$ 50,592	$ 42,160	$ 48,062	$ 38,546
Otros Costos Operativos	$ 9,412	$ 3,953	$ 3,294	$ 3,756	$ 3,012
Otros Gastos de Personal	$ 18,801	$ 7,896	$ 6,580	$ 7,502	$ 6,016
Pallets	$ 94,963	$ 39,884	$ 33,237	$ 37,890	$ 30,388
Servicios Generales	$ 45,034	$ 18,914	$ 15,762	$ 17,969	$ 14,411
Visitas y Reuniones	$ 4,588	$ 1,927	$ 1,606	$ 1,831	$ 1,468
Total	**$ 794,130**	**$ 400,154**	**$ 328,441**	**$ 321,405**	**$ 278,987**

Elaborado por: Edward Vera

3.4.2.5 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DISTRIBUCIÓN CONTROLADA

Los costos de implementación de Distribución Controlada están basados en un conjunto de condiciones comerciales y de incentivos aplicables en la relación de negocios que existe entre la compañía y el distribuidor que vaya a tomar la distribución de una zona específica.

Normalmente estas condiciones e incentivos son aplicables durante un año y serán parte integrante del acuerdo comercial que rija la relación contractual con cada distribuidor.

Entre los factores y condiciones a considerar para determinar los costos de implementación de distribución controlada podemos citar:

- Descuento en facturas sobre la lista de precios aplicable a la facturación mensual del distribuidor.

- Incentivo por suministro y manejo de información de ventas del canal de distribución del distribuidor.

- Programa de incentivos por cumplimiento de metas comerciales e indicadores de gestión que van a evaluar la ejecución del distribuidor.

Los porcentajes aplicables para cada uno de los conceptos citados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.14 Porcentajes Aplicables para Cálculo de Costos de Distribución Controlada

Factor	% Aplicable	Base de Cálculo
Descuento en Facturación	8.50%	Facturación Mensual Distribuidor
Incentivo por Manejo de Información	1.00%	Facturación Mensual Distribuidor
Incentivo por Metas Comerciales e Indicadores de Gestión	2.50%	Facturación Mensual Distribuidor

Elaborado por: Edward Vera

Dentro del plan de incentivos por cumplimiento de metas comerciales se incluyen una serie de factores que son evaluados para medir la gestión del distribuidor.

Este porcentaje asignado es prorrateado de la siguiente manera, y se asigna a cada distribuidor según el cumplimiento de las metas comerciales pactadas.

Tabla 3.15 Porcentajes Aplicables para Plan de Incentivos por Metas Comerciales e Indicadores de Gestión

Factor	% Aplicable	Base de Cálculo
Cumplimiento de Meta de Compra Directa	1.00%	Facturación Mensual
Cumplimiento de Meta de Compra Canal de Ventas del Distribuidor	0.50%	Facturación Mensual
Tiempo de Entregas Pedido Clientes	0.50%	Facturación Mensual
Meta de puntos de Venta Activos	0.50%	Facturación Mensual
	2.50%	

Elaborado por: Edward Vera

Para el cálculo de estos costos se consideró el total de facturación en dólares asignado para cada regional y se procedió a aplicar los valores porcentuales detallados en las tablas precedentes. Esta información se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 3.16 Costos Asociados a la Implementación de Distribución Controlada

Regional	Facturación Anual	%	Costo Distribución Controlada
Regional Cuenca	$ 5,299,800.00	12%	$ 635,976.00
Regional Machala	$ 2,309,340.00	12%	$ 277,120.80
Regional Portoviejo	$ 5,497,140.00	12%	$ 659,656.80
Regional Quito	$ 19,180,920.00	12%	$ 2,301,710.40

Elaborado por: Edward Vera

3.4.3 VARIABLES DEL MODELO

Este estudio contempla las siguientes variables para poder representar mediante un modelo matemático la problemática que se pretende evaluar.

Tabla 3.17 Variables del Modelo

Código	Descripción
x(i,j,m,t)	Toneladas Transportadas de la Planta (i) al Centro de Distribución (j) de la variante (m) en el periodo (t).
y(j,k,m,t)	Toneladas Transportadas del Centro de Distribución (j) a la regional (k) de la variante (m) en el periodo (t).
s(k,l,m,t)	Toneladas Transportadas de la regional (k) a la ciudad (l) de la variante (m) en el periodo (t).
n(i)	1 si se mantiene operativa la planta (i); 0 si no.
p(j)	1 si se mantiene operativo el Centro de Distribución (j)l; 0 si no.
u(k)	1 si se mantiene operativa la regional (k) o se implementa distribución controlada para la zona atendida por dicha regional; 0 si no.
w(k,l)	1 si la ciudad (l) es atendida desde la regional (k); 0 si no.

Elaborado por: Edward Vera

3.4.4 FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Se contemplan las siguientes ecuaciones:

Función Objetivo:

$$Min_Z = \sum_i \sum_j \sum_m \sum_t (x(i,j,m,t) * Cost_trans_tons1(i,j))$$

$$+ \sum_j \sum_k \sum_m \sum_t (y(j,k,m,t) * Cost_trans_tons2(j,k))$$

$$+ \sum_k \sum_l \sum_m \sum_t (s(k,l,m,t) * Cost_trans_tons3(k,l))$$

$$+ \sum_j Costo_Fijo_CD(j) * p(j)$$

$$+ \sum_k Costo_Fijo_Regional_Distrib.Controlada(k) * u(k)$$

Restricciones:

1) Garantizar la apertura de al menos una planta

$$\sum_i n(i) \geq 1$$

2) Capacidad máxima de la planta. Se realizan despachos de la planta (i) al centro de distribución (j) si y sólo si se abre dicha planta.

$$\sum_j x(i, j, m, t) \leq Cap_prod_planta\ (m,t) * n(i) \qquad \forall\ i,m,t$$

3) Conservación de Flujo Nivel 1. Flujo entrante y saliente del centro de distribución.

$$\sum_i x(i, j, m, t) = \sum_k y(j, k, m, t) \qquad \forall\ j,m,t$$

4) Conservación de Flujo Nivel 2. Flujo entrante y saliente de la regional o zona de distribución controlada.

$$\sum_j y(j, k, m, t) = \sum_l s(k, l, m, t) \qquad \forall\ k,m,t$$

5) Conservación de Flujo Nivel 3. Demanda de ciudades debe ser satisfecha.

$$\sum_k s(k, l, m, t) = Demanda(l,m,t) \qquad \forall\ l,m,t$$

6) Se realizan despachos de la planta(i) a centros de distribución(j) si y sólo si la planta(i) está operativa

$$\sum_j x(i, j, m, t) \leq M * n(i) \qquad \forall\ i,m,t$$

7) Se realizan despachos del centro de distribución (j) a la regional (k) si y sólo si el centro de distribución (j) está operativo.

$$\sum_k y(j,k,m,t) \leq M * p(j) \qquad \forall \text{ j,m,t}$$

8) Se realizan despachos de la regional o zona de distribución controlada (k) a ciudades destino (l) si y sólo si la regional o zona de distribución controlada (k) está operativa.

$$\sum_l s(k,l,m,t) \leq M * u(k) \qquad \forall \text{ k,m,t}$$

9) Se realizan despachos desde la regional o zona de distribución controlada (k) hacia la ciudad (l) sólo si la ciudad destino debe ser atendida por esa regional o zona de distribución controlada.

$$\sum_m s(k,l,m,t) \leq M * w(k,l) \qquad \forall \text{ k,l,t}$$

10) Garantizar la apertura de al menos un centro de distribución.

$$\sum_j p(j) \geq 1$$

11) Apertura de al menos una regional o zona de distribución controlada.

$$\sum_k u(k) \geq 1$$

12) Una ciudad solo puede ser atendida por una sola regional.

$$\sum_k w(k,l) = 1 \qquad \forall \text{ l}$$

x, y, s variables enteras positivas; n, p, u, w, variables binarias.

Nota: El parámetro **"M"** se asigna a las restricciones 6, 7, 8 y 9 para garantizar el flujo saliente de mercaderías desde el nodo origen hacia el nodo destino. En el modelo **"M"** toma el valor de 10,000.

3.5 ESCENARIOS PROPUESTOS

Dentro de los escenarios a evaluarse como alcance del proyecto se propone:

- Rediseño y localización de la red actual considerando la solución óptima encontrada por el modelo matemático.
- Implementación de Distribución Controlada en Quito manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.
- Implementación de Distribución Controlada en Cuenca manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.
- Implementación de Distribución Controlada en Machala manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.
- Implementación de Distribución Controlada en Portoviejo manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.
- Implementación de Distribución Controlada en Machala y Portoviejo manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.
- Implementación de Distribución controlada para toda la red.

3.5.1 ESCENARIO 1: REDISEÑO DE LA RED ACTUAL

Como resultado de la ejecución del modelo matemático en GAMS, se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a la asignación de ciudades que deben ser atendidas desde cada regional.

Tabla 3.18 Escenario 1 - Reestructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional

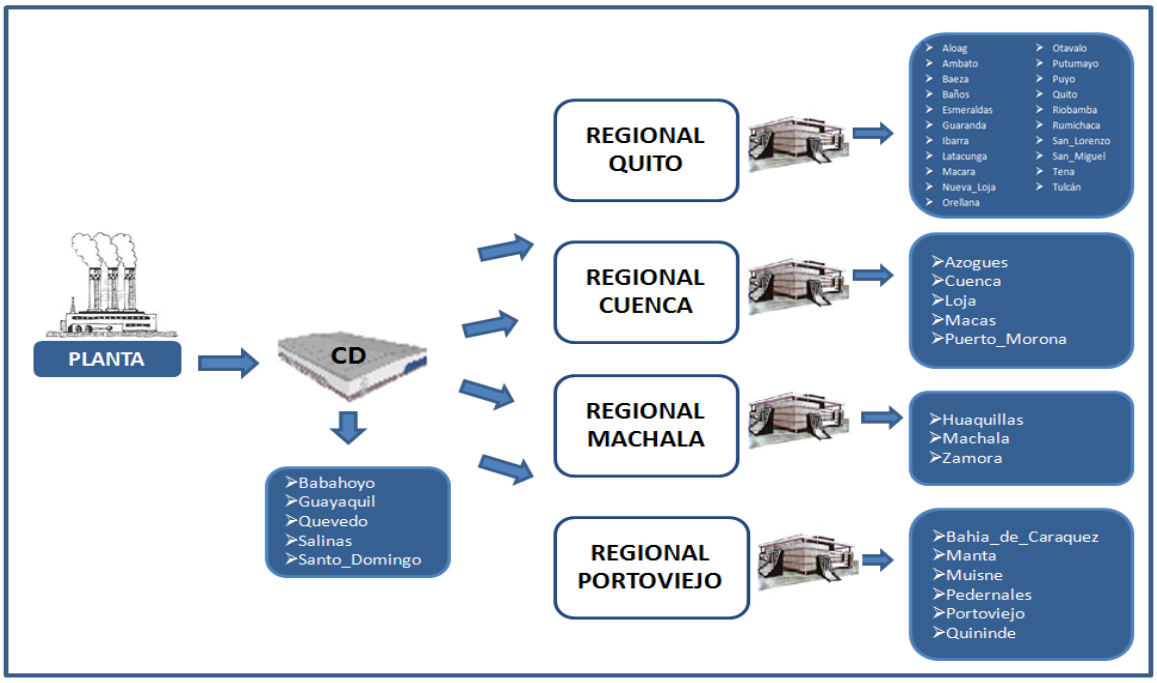
Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Cuenca	Azogues
Regional Cuenca	Cuenca
Regional Cuenca	Loja
Regional Cuenca	Macas
Regional Cuenca	Puerto Morona
Regional Guayaquil	Babahoyo
Regional Guayaquil	Guayaquil
Regional Guayaquil	Quevedo
Regional Guayaquil	Salinas
Regional Guayaquil	Santo Domingo
Regional Machala	Huaquillas
Regional Machala	Machala
Regional Machala	Zamora
Regional Portoviejo	Bahía de Caráquez
Regional Portoviejo	Manta
Regional Portoviejo	Muisne
Regional Portoviejo	Pedernales
Regional Portoviejo	Portoviejo
Regional Portoviejo	Quinindé

Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Quito	Alóag
Regional Quito	Ambato
Regional Quito	Baeza
Regional Quito	Baños
Regional Quito	Esmeraldas
Regional Quito	Guaranda
Regional Quito	Ibarra
Regional Quito	Latacunga
Regional Quito	Macará
Regional Quito	Nueva Loja
Regional Quito	Orellana
Regional Quito	Otavalo
Regional Quito	Putumayo
Regional Quito	Puyo
Regional Quito	Quito
Regional Quito	Riobamba
Regional Quito	Rumichaca
Regional Quito	San Lorenzo
Regional Quito	San Miguel
Regional Quito	Tena
Regional Quito	Tulcán

Elaborado por: Edward Vera

La reasignación de ciudades determinada en la tabla 3.18, se ilustra a continuación.

Gráfico 3.2 Flujo de la Red - Asignación Óptima de Ciudades



Elaborado por: Edward Vera

Los costos totales de la red bajo el esquema planteado en el Gráfico 3.2, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.19 Escenario 1 - Costos Asociados a la Red de Distribución

Concepto	Descripción
Costo Fijo Centro de Distribución Guayaquil	$ 794,130.06
Costo Fijo Regional Quito	$ 400,154.15
Costo Fijo Regional Portoviejo	$ 321,404.83
Costo Fijo Regional Machala	$ 278,987.14
Costo Fijo Regional Cuenca	$ 328,441.14
Costo de Transporte Planta - Centro de Distribución	$ 353,848.00
Costo de Transporte Centro de Distribución - Regionales	$ 2,136,136.73
Costo de Transporte Regionales - Ciudades Destino	$ 1,361,651.86
	$ 5,974,753.91

Elaborado por: Edward Vera

3.5.2 ESCENARIO 2: IMPLEMENTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN CONTROLADA EN QUITO MANTENIENDO LAS REGIONALES EXISTENTES EN LAS DEMÁS CIUDADES.

En este escenario se propone la evaluación de los costos de distribución de la red, considerando la eliminación de la regional Quito y en su lugar implementando distribución controlada para dicha plaza. La asignación óptima de ciudades obtenida en el escenario 1 se utiliza en este escenario.

Tabla 3.20 Escenario 2 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional

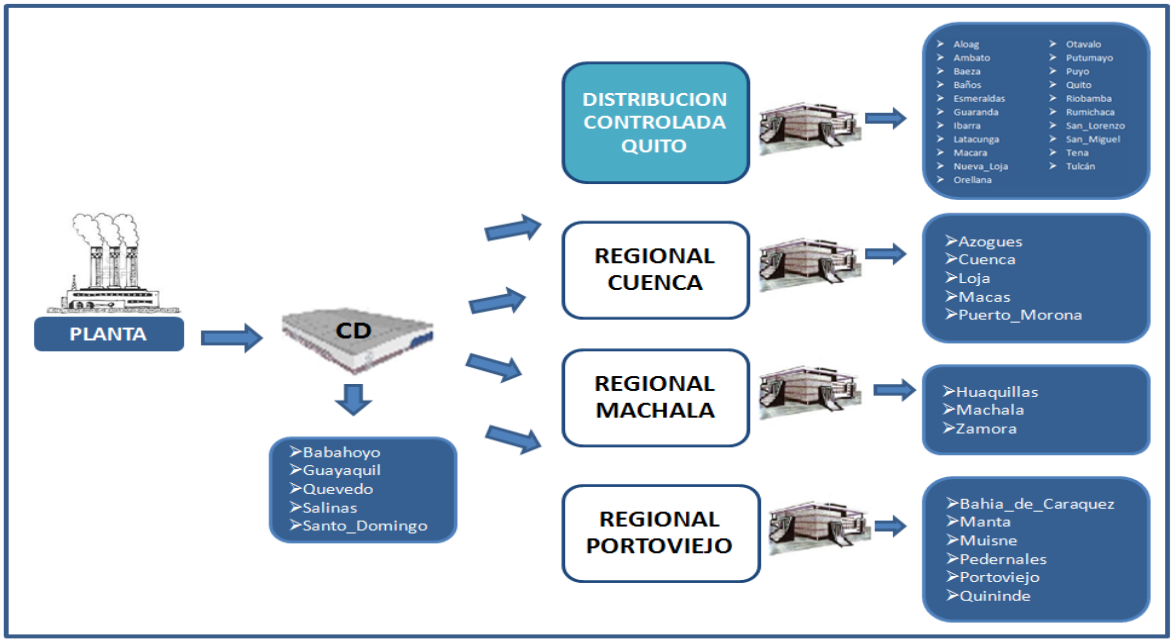
Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Cuenca	Azogues
Regional Cuenca	Cuenca
Regional Cuenca	Loja
Regional Cuenca	Macas
Regional Cuenca	Puerto Morona
Regional Guayaquil	Babahoyo
Regional Guayaquil	Guayaquil
Regional Guayaquil	Quevedo
Regional Guayaquil	Salinas
Regional Guayaquil	Santo Domingo
Regional Machala	Huaquillas
Regional Machala	Machala
Regional Machala	Zamora
Regional Portoviejo	Bahía de Caráquez
Regional Portoviejo	Manta
Regional Portoviejo	Muisne
Regional Portoviejo	Pedernales
Regional Portoviejo	Portoviejo
Regional Portoviejo	Quinindé

Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Distribución Controlada Quito	Alóag
Distribución Controlada Quito	Ambato
Distribución Controlada Quito	Baeza
Distribución Controlada Quito	Baños
Distribución Controlada Quito	Esmeraldas
Distribución Controlada Quito	Guaranda
Distribución Controlada Quito	Ibarra
Distribución Controlada Quito	Latacunga
Distribución Controlada Quito	Macará
Distribución Controlada Quito	Nueva Loja
Distribución Controlada Quito	Orellana
Distribución Controlada Quito	Otavalo
Distribución Controlada Quito	Putumayo
Distribución Controlada Quito	Puyo
Distribución Controlada Quito	Quito
Distribución Controlada Quito	Riobamba
Distribución Controlada Quito	Rumichaca
Distribución Controlada Quito	San Lorenzo
Distribución Controlada Quito	San Miguel
Distribución Controlada Quito	Tena
Distribución Controlada Quito	Tulcán

Elaborado por: Edward Vera

La asignación de ciudades determinada en la tabla 3.20, se ilustra a continuación.

Gráfico 3.3 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada en Quito



Elaborado por: Edward Vera

Los costos totales de la red de distribución considerando el escenario 2, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.21 Escenario 2 - Costos Asociados a la Red de Distribución

Concepto	Descripción
Costo Fijo Centro de Distribución Guayaquil	$ 794,130.06
Costo Fijo Regional Quito	$ -
Costo Fijo Regional Portoviejo	$ 321,404.83
Costo Fijo Regional Machala	$ 278,987.14
Costo Fijo Regional Cuenca	$ 328,441.14
Costo Implementación Distribución Controlada QUITO	$ 2,301,710.40
Costo de Transporte Planta - Centro de Distribución	$ 353,848.00
Costo de Transporte Centro de Distribución - Regionales	$ 2,136,136.73
Costo de Transporte Regionales - Ciudades Destino	$ 786,376.78
	$ 7,301,035.08

Elaborado por: Edward Vera

3.5.3 ESCENARIO 3: IMPLEMENTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN CONTROLADA EN CUENCA MANTENIENDO LAS REGIONALES EXISTENTES EN LAS DEMÁS CIUDADES.

En este escenario se propone la eliminación de la regional Cuenca y en su lugar implementar distribución controlada para dicha plaza. La asignación óptima de ciudades obtenida en el escenario 1 se utiliza en este escenario.

Tabla 3.22 Escenario 3 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional

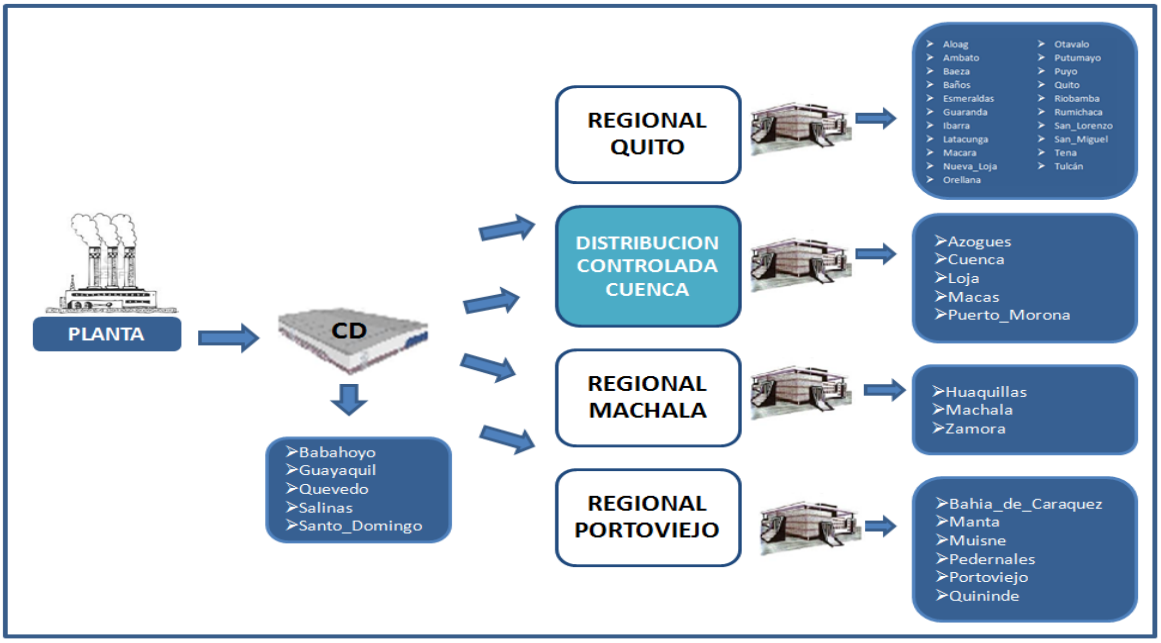
Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Distribución Controlada Cuenca	Azogues
Distribución Controlada Cuenca	Cuenca
Distribución Controlada Cuenca	Loja
Distribución Controlada Cuenca	Macas
Distribución Controlada Cuenca	Puerto Morona
Regional Guayaquil	Babahoyo
Regional Guayaquil	Guayaquil
Regional Guayaquil	Quevedo
Regional Guayaquil	Salinas
Regional Guayaquil	Santo Domingo
Regional Machala	Huaquillas
Regional Machala	Machala
Regional Machala	Zamora
Regional Portoviejo	Bahía de Caráquez
Regional Portoviejo	Manta
Regional Portoviejo	Muisne
Regional Portoviejo	Pedernales
Regional Portoviejo	Portoviejo
Regional Portoviejo	Quinindé

Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Quito	Alóag
Regional Quito	Ambato
Regional Quito	Baeza
Regional Quito	Baños
Regional Quito	Esmeraldas
Regional Quito	Guaranda
Regional Quito	Ibarra
Regional Quito	Latacunga
Regional Quito	Macará
Regional Quito	Nueva Loja
Regional Quito	Orellana
Regional Quito	Otavalo
Regional Quito	Putumayo
Regional Quito	Puyo
Regional Quito	Quito
Regional Quito	Riobamba
Regional Quito	Rumichaca
Regional Quito	San Lorenzo
Regional Quito	San Miguel
Regional Quito	Tena
Regional Quito	Tulcán

Elaborado por: Edward Vera

La asignación de ciudades determinada en la tabla 3.22, se ilustra a continuación.

Gráfico 3.4 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada en Cuenca



Elaborado por: Edward Vera

Los costos totales de la red de distribución considerando el escenario 3, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.23 Escenario 3 - Costos Asociados a la Red de Distribución

Concepto	Descripción
Costo Fijo Centro de Distribución Guayaquil	$ 794,130.06
Costo Fijo Regional Quito	$ 400,154.15
Costo Fijo Regional Portoviejo	$ 321,404.83
Costo Fijo Regional Machala	$ 278,987.14
Costo Fijo Regional Cuenca	$ -
Costo Implementación Distribución Controlada CUENCA	$ 635,976.00
Costo de Transporte Planta - Centro de Distribución	$ 353,848.00
Costo de Transporte Centro de Distribución - Regionales	$ 2,136,136.73
Costo de Transporte Regionales - Ciudades Destino	$ 1,233,463.11
	$ 6,154,100.02

Elaborado por: Edward Vera

3.5.4 ESCENARIO 4: IMPLEMENTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN CONTROLADA EN MACHALA MANTENIENDO LAS REGIONALES EXISTENTES EN LAS DEMÁS CIUDADES.

En este escenario se propone la eliminación de la regional Machala y en su lugar implementar distribución controlada para dicha plaza. La asignación óptima de ciudades obtenida en el escenario 1 se utiliza en este escenario.

Tabla 3.24 Escenario 4 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional

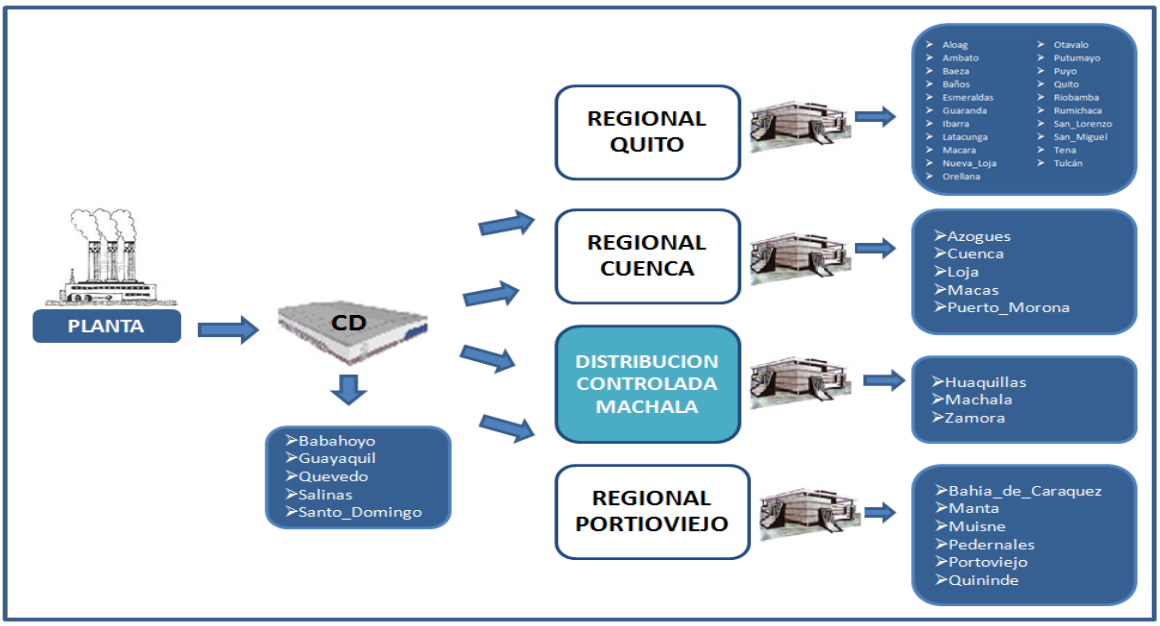
Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Cuenca	Azogues
Regional Cuenca	Cuenca
Regional Cuenca	Loja
Regional Cuenca	Macas
Regional Cuenca	Puerto Morona
Regional Guayaquil	Babahoyo
Regional Guayaquil	Guayaquil
Regional Guayaquil	Quevedo
Regional Guayaquil	Salinas
Regional Guayaquil	Santo Domingo
Distribución Controlada Machala	Huaquillas
Distribución Controlada Machala	Machala
Distribución Controlada Machala	Zamora
Regional Portoviejo	Bahía de Caráquez
Regional Portoviejo	Manta
Regional Portoviejo	Muisne
Regional Portoviejo	Pedernales
Regional Portoviejo	Portoviejo
Regional Portoviejo	Quinindé

Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Quito	Alóag
Regional Quito	Ambato
Regional Quito	Baeza
Regional Quito	Baños
Regional Quito	Esmeraldas
Regional Quito	Guaranda
Regional Quito	Ibarra
Regional Quito	Latacunga
Regional Quito	Macará
Regional Quito	Nueva Loja
Regional Quito	Orellana
Regional Quito	Otavalo
Regional Quito	Putumayo
Regional Quito	Puyo
Regional Quito	Quito
Regional Quito	Riobamba
Regional Quito	Rumichaca
Regional Quito	San Lorenzo
Regional Quito	San Miguel
Regional Quito	Tena
Regional Quito	Tulcán

Elaborado por: Edward Vera

La asignación de ciudades determinada en la tabla 3.24, se ilustra a continuación.

Gráfico 3.5 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada en Machala



Elaborado por: Edward Vera

Los costos totales de la red de distribución considerando el escenario 4, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.25 Escenario 4 - Costos Asociados a la Red de Distribución

Concepto	Descripción
Costo Fijo Centro de Distribución Guayaquil	$ 794,130.06
Costo Fijo Regional Quito	$ 400,154.15
Costo Fijo Regional Portoviejo	$ 321,404.83
Costo Fijo Regional Machala	$ -
Costo Fijo Regional Cuenca	$ 328,441.14
Costo Implementación Distribución Controlada MACHALA	$ 277,120.80
Costo de Transporte Planta - Centro de Distribución	$ 353,848.00
Costo de Transporte Centro de Distribución - Regionales	$ 2,136,136.73
Costo de Transporte Regionales - Ciudades Destino	$ 1,331,722.54
	$ 5,942,958.24

Elaborado por: Edward Vera

3.5.5 ESCENARIO 5: IMPLEMENTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN CONTROLADA EN PORTOVIEJO MANTENIENDO LAS REGIONALES EXISTENTES EN LAS DEMÁS CIUDADES.

En este escenario se propone la eliminación de la regional Portoviejo y en su lugar implementar distribución controlada para dicha plaza. La asignación óptima de ciudades obtenida en el escenario 1 se utiliza en este escenario.

Tabla 3.26 Escenario 5 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional

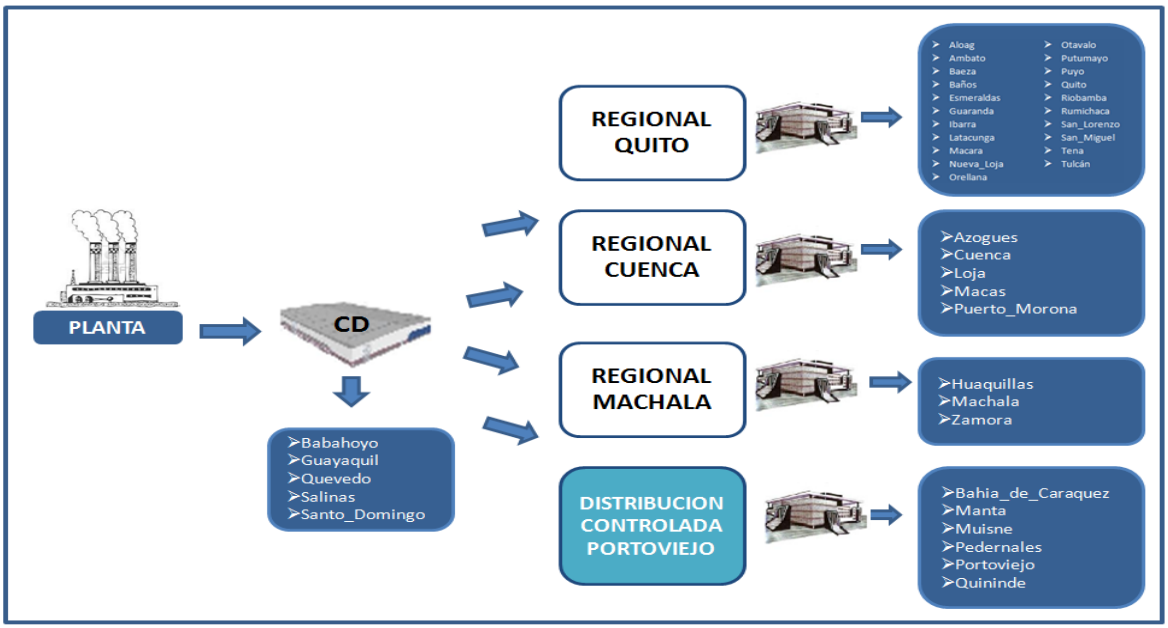
Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Cuenca	Azogues
Regional Cuenca	Cuenca
Regional Cuenca	Loja
Regional Cuenca	Macas
Regional Cuenca	Puerto Morona
Regional Guayaquil	Babahoyo
Regional Guayaquil	Guayaquil
Regional Guayaquil	Quevedo
Regional Guayaquil	Salinas
Regional Guayaquil	Santo Domingo
Regional Machala	Huaquillas
Regional Machala	Machala
Regional Machala	Zamora
Distribución Controlada Portoviejo	Bahía de Caráquez
Distribución Controlada Portoviejo	Manta
Distribución Controlada Portoviejo	Muisne
Distribución Controlada Portoviejo	Pedernales
Distribución Controlada Portoviejo	Portoviejo
Distribución Controlada Portoviejo	Quinindé

Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Quito	Alóag
Regional Quito	Ambato
Regional Quito	Baeza
Regional Quito	Baños
Regional Quito	Esmeraldas
Regional Quito	Guaranda
Regional Quito	Ibarra
Regional Quito	Latacunga
Regional Quito	Macará
Regional Quito	Nueva Loja
Regional Quito	Orellana
Regional Quito	Otavalo
Regional Quito	Putumayo
Regional Quito	Puyo
Regional Quito	Quito
Regional Quito	Riobamba
Regional Quito	Rumichaca
Regional Quito	San Lorenzo
Regional Quito	San Miguel
Regional Quito	Tena
Regional Quito	Tulcán

Elaborado por: Edward Vera

La asignación de ciudades determinada en la tabla 3.26, se ilustra a continuación.

Gráfico 3.6 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada en Portoviejo



Elaborado por: Edward Vera

Los costos totales de la red de distribución considerando el escenario 5, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.27 Escenario 5 - Costos Asociados a la Red de Distribución

Concepto	Descripción
Costo Fijo Centro de Distribución Guayaquil	$ 794,130.06
Costo Fijo Regional Quito	$ 400,154.15
Costo Fijo Regional Portoviejo	$ -
Costo Fijo Regional Machala	$ 278,987.14
Costo Fijo Regional Cuenca	$ 328,441.14
Costo Implementación Distribución Controlada PORTOVIEJO	$ 659,656.80
Costo de Transporte Planta - Centro de Distribución	$ 353,848.00
Costo de Transporte Centro de Distribución - Regionales	$ 2,136,136.73
Costo de Transporte Regionales - Ciudades Destino	$ 1,151,866.72
	$ 6,103,220.74

Elaborado por: Edward Vera

3.5.6 ESCENARIO 6: IMPLEMENTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN CONTROLADA PARA TODA LA RED.

En este escenario se propone la implementación de distribución controlada en todas las plazas donde existen regionales. La asignación óptima de ciudades obtenida en el escenario 1 se utiliza en este escenario.

Tabla 3.28 Escenario 6 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional

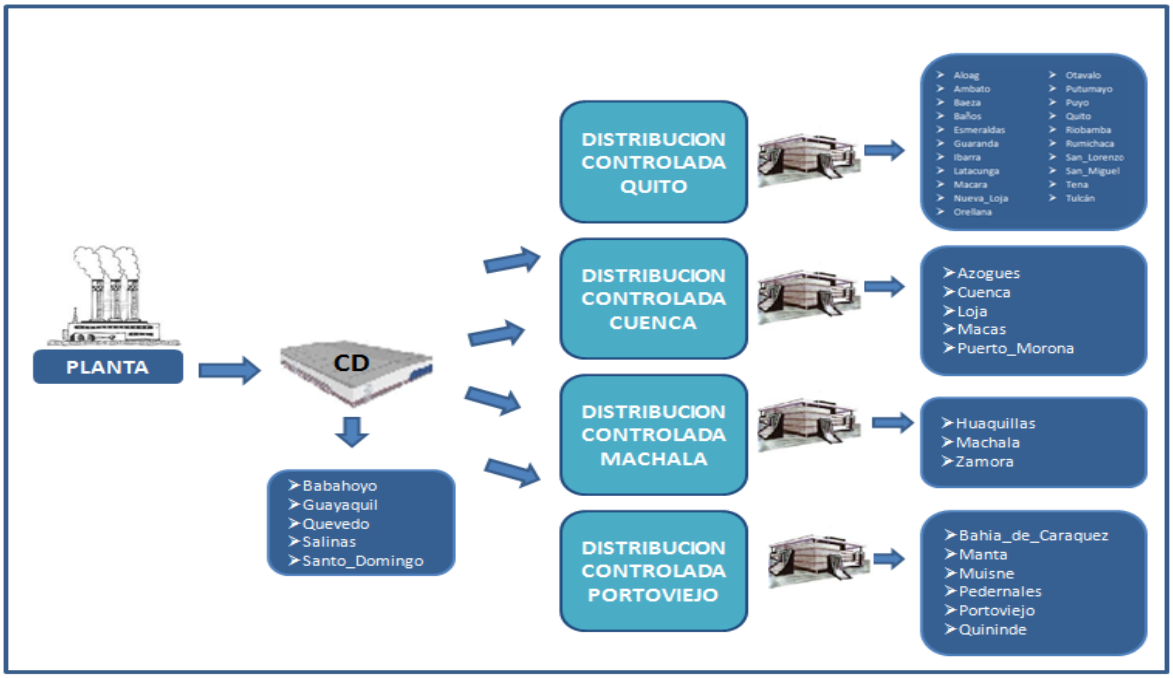
Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Distribución Controlada Cuenca	Azogues
Distribución Controlada Cuenca	Cuenca
Distribución Controlada Cuenca	Loja
Distribución Controlada Cuenca	Macas
Distribución Controlada Cuenca	Puerto Morona
Regional Guayaquil	Babahoyo
Regional Guayaquil	Guayaquil
Regional Guayaquil	Quevedo
Regional Guayaquil	Salinas
Regional Guayaquil	Santo Domingo
Distribución Controlada Machala	Huaquillas
Distribución Controlada Machala	Machala
Distribución Controlada Machala	Zamora
Distribución Controlada Portoviejo	Bahía de Caráquez
Distribución Controlada Portoviejo	Manta
Distribución Controlada Portoviejo	Muisne
Distribución Controlada Portoviejo	Pedernales
Distribución Controlada Portoviejo	Portoviejo
Distribución Controlada Portoviejo	Quinindé

Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Distribución Controlada Quito	Alóag
Distribución Controlada Quito	Ambato
Distribución Controlada Quito	Baeza
Distribución Controlada Quito	Baños
Distribución Controlada Quito	Esmeraldas
Distribución Controlada Quito	Guaranda
Distribución Controlada Quito	Ibarra
Distribución Controlada Quito	Latacunga
Distribución Controlada Quito	Macará
Distribución Controlada Quito	Nueva Loja
Distribución Controlada Quito	Orellana
Distribución Controlada Quito	Otavalo
Distribución Controlada Quito	Putumayo
Distribución Controlada Quito	Puyo
Distribución Controlada Quito	Quito
Distribución Controlada Quito	Riobamba
Distribución Controlada Quito	Rumichaca
Distribución Controlada Quito	San Lorenzo
Distribución Controlada Quito	San Miguel
Distribución Controlada Quito	Tena
Distribución Controlada Quito	Tulcán

Elaborado por: Edward Vera

La asignación de ciudades determinada en la tabla 3.28, se ilustra a continuación.

Gráfico 3.7 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada en toda la red



Elaborado por: Edward Vera

Los costos totales de la red de distribución considerando el escenario 6, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.29 Escenario 6 - Costos Asociados a la Red de Distribución

Concepto	Descripción
Costo Fijo Centro de Distribución Guayaquil	$ 794,130.06
Costo Implementación Distribución Controlada QUITO	$ 2,301,710.40
Costo Implementación Distribución Controlada CUENCA	$ 635,976.00
Costo Implementación Distribución Controlada MACHALA	$ 277,120.80
Costo Implementación Distribución Controlada PORTOVIEJO	$ 659,656.80
Costo de Transporte Planta - Centro de Distribución	$ 353,848.00
Costo de Transporte Centro de Distribución - Regionales	$ 2,136,136.73
Costo de Transporte Regionales - Ciudades Destino	$ 418,473.55
	$ 7,577,052.34

Elaborado por: Edward Vera

3.5.7 ESCENARIO 7: IMPLEMENTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN CONTROLADA EN MACHALA Y PORTOVIEJO MANTENIENDO LAS REGIONALES EXISTENTES EN LAS DEMÁS CIUDADES.

En este escenario se propone la implementación de distribución controlada en conjunto solo para Machala y Portoviejo. La asignación óptima de ciudades obtenida en el escenario 1 se utiliza en este escenario.

Tabla 3.30 Escenario 7 - Estructura de Zonas de Atención Asignada a cada Regional

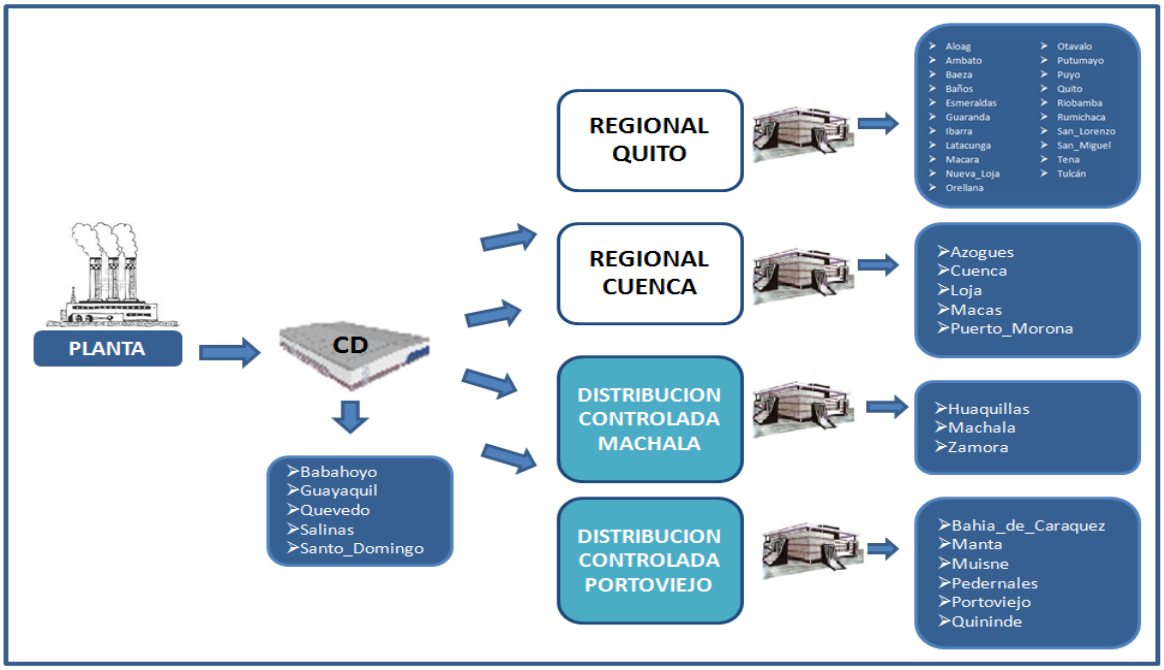
Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Cuenca	Azogues
Regional Cuenca	Cuenca
Regional Cuenca	Loja
Regional Cuenca	Macas
Regional Cuenca	Puerto Morona
Regional Guayaquil	Babahoyo
Regional Guayaquil	Guayaquil
Regional Guayaquil	Quevedo
Regional Guayaquil	Salinas
Regional Guayaquil	Santo Domingo
Distribución Controlada Machala	Huaquillas
Distribución Controlada Machala	Machala
Distribución Controlada Machala	Zamora
Distribución Controlada Portoviejo	Bahía de Caráquez
Distribución Controlada Portoviejo	Manta
Distribución Controlada Portoviejo	Muisne
Distribución Controlada Portoviejo	Pedernales
Distribución Controlada Portoviejo	Portoviejo
Distribución Controlada Portoviejo	Quinindé

Punto de Origen de Atención	Ciudad Destino
Regional Quito	Alóag
Regional Quito	Ambato
Regional Quito	Baeza
Regional Quito	Baños
Regional Quito	Esmeraldas
Regional Quito	Guaranda
Regional Quito	Ibarra
Regional Quito	Latacunga
Regional Quito	Macará
Regional Quito	Nueva Loja
Regional Quito	Orellana
Regional Quito	Otavalo
Regional Quito	Putumayo
Regional Quito	Puyo
Regional Quito	Quito
Regional Quito	Riobamba
Regional Quito	Rumichaca
Regional Quito	San Lorenzo
Regional Quito	San Miguel
Regional Quito	Tena
Regional Quito	Tulcán

Elaborado por: Edward Vera

La asignación de ciudades determinada en la tabla 3.30, se ilustra a continuación.

Gráfico 3.8 Flujo de la Red - Implementación de Distribución Controlada Machala y Portoviejo



Elaborado por: Edward Vera

Los costos totales de la red de distribución considerando el escenario 7, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.31 Escenario 7 - Costos Asociados a la Red de Distribución

Concepto	Descripción
Costo Fijo Centro de Distribución Guayaquil	$ 794,130.06
Costo Fijo Regional Quito	$ 400,154.15
Costo Fijo Regional Cuenca	$ 328,441.14
Costo Implementación Distribución Controlada MACHALA	$ 277,120.80
Costo Implementación Distribución Controlada PORTOVIEJO	$ 659,656.80
Costo de Transporte Planta - Centro de Distribución	$ 353,848.00
Costo de Transporte Centro de Distribución - Regionales	$ 2,136,136.73
Costo de Transporte Regionales - Ciudades Destino	$ 1,121,937.39
	$ 6,071,425.07

Elaborado por: Edward Vera

3.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN CADA ESCENARIO

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios evaluados en el presente trabajo de estudio.

Tabla 3.32 Resultados de cada Escenario

Escenarios	Costo Transporte	Costos Fijos	Distribución Controlada	Total
Situación Actual	$ 3,969,625	$ 2,123,117	$ -	**$ 6,092,742**
Escenario 1-Rediseño de la Red Actual	$ 3,851,637	$ 2,123,117	$ -	**$ 5,974,754**
Escenario 2-Distribución Controlada Quito	$ 3,276,362	$ 1,722,963	$ 2,301,710	**$ 7,301,035**
Escenario 3-Distribución Controlada Cuenca	$ 3,723,448	$ 1,794,676	$ 635,976	**$ 6,154,100**
Escenario 4-Distribución Controlada Machala	$ 3,821,707	$ 1,844,130	$ 277,121	**$ 5,942,958**
Escenario 5-Distribución Controlada Portoviejo	$ 3,641,851	$ 1,801,712	$ 659,657	**$ 6,103,221**
Escenario 6-Distribución Controlada Toda la Red	$ 2,908,458	$ 794,130	$ 3,874,464	**$ 7,577,052**
Escenario 7-Distribución Controlada Portoviejo y Machala	$ 3,611,922	$ 1,522,725	$ 936,778	**$ 6,071,425**

Elaborado por: Edward Vera

Tabla 3.33 Ahorros Obtenidos y Porcentajes de Costos de Distribución

Escenarios	Variación (-)Decremento (+)Incremento	Variación (-)Decremento (+)Incremento	% Distribución Vs. Ventas
Situación Actual	$ -	0.00%	11.48%
Escenario 1-Rediseño de la Red Actual	**$ (117,988.58)**	**(0.22%)**	**11.26%**
Escenario 2-Distribución Controlada Quito	$ 1,208,292.59	2.28%	13.76%
Escenario 3-Distribución Controlada Cuenca	$ 61,357.53	0.12%	11.59%
Escenario 4-Distribución Controlada Machala	**$ (149,784.24)**	**(0.28%)**	**11.20%**
Escenario 5-Distribución Controlada Portoviejo	$ 10,478.25	0.02%	11.50%
Escenario 6-Distribución Controlada Toda la Red	$ 1,484,309.85	2.80%	14.28%
Escenario7-Distribución Controlada Portoviejo-Machala	**$ (21,317.42)**	**(0.04%)**	**11.44%**

Elaborado por: Edward Vera

Tabla 3.34 Propuesta de Mejora - Reasignación de Ciudades para Zonas de Atención de cada Regional

Ciudad Destino	Punto Inicial de Origen de Atención	Nuevo Punto de Origen de Atención
Alóag	Regional Quito	
Ambato	Regional Guayaquil	Regional Quito
Azogues	Regional Cuenca	
Babahoyo	Regional Guayaquil	
Baeza	Regional Quito	
Bahía Caráquez	Regional Portoviejo	
Baños	Regional Quito	
Cuenca	Regional Cuenca	
Esmeraldas	Regional Guayaquil	Regional Quito
Guaranda	Regional Guayaquil	Regional Quito
Guayaquil	Regional Guayaquil	
Huaquillas	Regional Machala	
Ibarra	Regional Quito	
Latacunga	Regional Guayaquil	Regional Quito
Loja	Regional Guayaquil	Regional Cuenca
Macará	Regional Quito	
Macas	Regional Quito	Regional Cuenca
Machala	Regional Machala	
Manta	Regional Portoviejo	

Ciudad Destino	Punto Inicial de Origen de Atención	Nuevo Punto de Origen de Atención
Muisne	Regional Portoviejo	
Nueva Loja	Regional Quito	
Orellana	Regional Quito	
Otavalo	Regional Quito	
Pedernales	Regional Portoviejo	
Portoviejo	Regional Portoviejo	
Puerto Morona	Regional Cuenca	
Putumayo	Regional Quito	
Puyo	Regional Quito	
Quevedo	Regional Guayaquil	
Quinindé	Regional Guayaquil	Regional Portoviejo
Quito	Regional Quito	
Riobamba	Regional Guayaquil	Regional Quito
Rumichaca	Regional Quito	
Salinas	Regional Guayaquil	
San Lorenzo	Regional Guayaquil	Regional Quito
San Miguel	Regional Quito	
Santo Domingo	Regional Guayaquil	
Tena	Regional Quito	
Tulcán	Regional Quito	
Zamora	Regional Cuenca	Regional Machala

Elaborado por: Edward Vera

3.7 ANEXOS MODELIZACIÓN EN GAMS

Los modelos desarrollados en GAMS para cada uno de los escenarios evaluados, se adjuntan como anexos al final del presente trabajo.

Tabla 3.35 Anexos - Modelos Desarrollados en GAMS

Anexo 1	Escenario 1: Rediseño y Localización de la Red Actual
Anexo 2	Escenario 2: Implementación de Distribución Controlada en Quito manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.
Anexo 3	Escenario 3: Implementación de Distribución Controlada en Cuenca manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.
Anexo 4	Escenario 4: Implementación de Distribución Controlada en Portoviejo manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.
Anexo 5	Escenario 5: Implementación de Distribución Controlada en Machala manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.
Anexo 6	Escenario 6: Implementación de Distribución controlada para toda la red.
Anexo 7	Escenario 7: Implementación de Distribución Controlada en Machala y Portoviejo manteniendo las regionales existentes en las demás ciudades.

Elaborado por: Edward Vera

El escenario en el cual se obtuvo el mejor resultado fue el número cuatro. En base a este escenario se estructuran parte de las conclusiones y recomendaciones del capítulo siguiente.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se exponen las conclusiones resultantes de la evaluación de los siete escenarios que fueron propuestos en el capítulo anterior.

También se proponen algunas recomendaciones alineadas con los objetivos del presente proyecto de estudio, que buscan plantear mejoras y rediseñar el modelo de distribución actual con el que opera la empresa.

4.2 CONCLUSIONES

Los resultados de la aplicación del modelo matemático utilizado en el presente proyecto, se exponen a continuación:

1. El primer escenario propuesto tuvo como área de análisis la asignación actual de ciudades destino a cada una de las zonas de atención correspondientes a cada regional. Este análisis dio como resultado un potencial de ahorro de $117,989.00, producto de la reasignación de ciudades que deben ser atendidas desde cada nodo de la red. Esto generaría una disminución en el porcentaje de los costos de distribución sobre las ventas, tomando como referencia el indicador actual de un 11,48% vs. un 11,26% generado por las optimizaciones identificadas en este escenario.

2. Los escenarios del 2 al 7, están enfocados en evaluar el impacto, en términos de costos, generado por la implementación de distribución controlada para cada nodo de la red. Los resultados obtenidos en estos escenarios muestran que los costos de implementar distribución controlada para las ciudades de Quito, Cuenca, y Portoviejo considerando cada ciudad citada como un escenario independiente son mayores a los costos actuales.

   De igual forma esto sucede con el escenario que contempla la implementación de distribución controlada en simultáneo para las cuatro plazas donde están ubicadas actualmente las regionales.

   El incremento en costos que se genera para los escenarios descritos en el párrafo precedente se calcula tomando en consideración el impacto en los costos de distribución, causado por la variación que se obtiene al considerar los costos por la implementación de distribución controlada y deducir los costos fijos por la eliminación de las regionales que operan en dichas ciudades.

3. La disminución en costos por la implementación de distribución controlada se da para los escenarios en los cuales se considera como opción independiente a la ciudad de Machala; y como opción conjunta a las ciudades de Machala y Portoviejo. (Escenarios 4 y 7 respectivamente).

   Estos escenarios consideran la reasignación de ciudades a ser atendidas desde cada regional, la misma que fue evaluada en el escenario 1 y que se aplica para el resto de escenarios.

La opción de implementar distribución controlada en la ciudad de Machala se muestra mucho más atractiva debido a que la misma genera un potencial de ahorro de $ 149,784.00 con lo cual se estima una proyección porcentual de los costos de distribución vs. las ventas de 11,20%. Estos valores se han calculado comparando los resultados de este escenario (# 4) vs. la situación actual de la empresa.

4. Lo expuesto anteriormente evidencia que para mejorar la eficiencia de la red de distribución actual, tanto en términos de costos como en tiempos de respuesta hacia clientes, es necesario la utilización de técnicas matemáticas aplicadas actualmente en el campo de la logística. El modelo de distribución actual ha sido diseñado bajo una base empírica, la misma que si bien permite que el proceso de distribución del negocio funcione, se debe estar consciente que dicho proceso puede ser ejecutado con mayores niveles de eficiencia como lo muestran los resultados del escenario 4.

4.3 RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos, se plantean las siguientes recomendaciones para que sean implementadas por el departamento logístico de la empresa:

1. La red de distribución no debería operar con más de 2 niveles intermedios entre el proceso productivo y el cliente final; es decir que con el diseño actual en el que existe un Centro de Distribución principal desde el cual se realizan transferencias a regionales y éstas a su vez se encargan de realizar entregas directas punto a punto a clientes; garantizamos mayor control en la ejecución del canal de distribución y cumplimiento de los tiempos de entrega para evitar desabastecimientos.

2. En base a los resultados del modelo matemático se pone a consideración de la alta gerencia la alternativa de implementar distribución controlada para Machala considerando la reasignación de ciudades planteadas en el escenario 1. Los beneficios en términos de costos de esta propuesta están detallados en el capítulo 3 y fueron destacados en la sección de conclusiones del presente trabajo.

3. La implementación de distribución controlada debería ser ejecutada definiendo indicadores de gestión que garanticen que el distribuidor responsable de una zona específica tenga una excelente ejecución en el punto de venta. Si esto no se garantiza, es muy probable que en el mediano plazo se estén sacrificando proyecciones de crecimiento en el mercado al no contar con una base sólida que permita ganar en el punto de venta a nuestros competidores.

4. Factores claves como medición de coberturas, puntos de ventas activos, cumplimiento de meta de venta del detallista y colocación de material publicitario deben formar parte de estos indicadores sobre los cuales se va a evaluar la gestión del distribuidor.

5. Otro punto importante a considerar es que si bien como juicio inicial se puede llegar a concluir que con la implementación de distribución controlada se pueden obtener ahorros interesantes en términos de costos logísticos; no se debe obviar las condiciones comerciales ligadas a este proceso, debido a que las mismas están calculadas en función de los volúmenes y niveles de facturación, y sin un análisis profundo del caso se pueden obtener impactos desfavorables al igual como sucedió en algunos de los escenarios evaluados en el presente trabajo de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Cepeda, Carlos - “Diseño de una red logística de abastecimiento de alimentos para Guayaquil mediante la aplicación de un modelo matemático”. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Tesis de grado 2007.

[2]. Lawrence John A. & Barry A. Pasternack - “Applied management science: a computer-integrated approach for decision making ". John Wiley, Pensilvania 1998.

[3]. Eppen G.D. – “Investigación de operaciones en la Ciencia Administrativa”. Prentice-hall, México 2000.

[4]. Briseño Martínez Héctor Gildardo – “Modelo de Programación Lineal aplicado a la red logística de una empresa del sector plástico”. Centro Regional Soacha, Colombia 2011.

[5]. Hamdy A. Taha. – “Investigación de operaciones 7ma edición”. Prentice-hall, México 2004.

[6]. Ballou Ronald H. – “Administración de la cadena de suministro 5ta edición”. Pearson Education , México 2004

[7]. Aguirre Otalvaro Oscar Fernando/Patiño Giraldo Oscar Iván - “Propuesta para reducir el costo logístico del transporte primario desde la cervecería del valle a los diferentes centros de distribución mediante un modelo matemático”. Cali 2012.

[8]. Gamboa Cesar Augusto/Bandala Marcos - “Análisis de la red de distribución de amoniaco en el norte y noroeste de México” – Puebla 2009.

[9]. Kalenatic Dusko/López Bello Cesar Amilcar/González Rodríguez Leonardo José/ Rueda Velasco, Feizar Javier - “Localización de una plataforma de cross docking en el contexto de logística focalizada utilizando distancias euclidianas”. Bogotá 2008.

[10]. Zhuan Wang/Ginghua Zhang – “Distribution logistics network 0-1 programming model and application”. Journal Computers & industrial engineering Volume 55. Pergamon Press, Inc. Tarrytown, NY, USA 2008.