

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 ESTRATEGIA DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA DE
PRODUCTOS PERECEDEROS DE CONSUMO MASIVO EN LA CIUDAD DE
GUAYAQUIL_**

AUTOR:

ERIK GABRIEL WOLF BLASCHKE

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO

2015

DEDICATORIA

A mis padres, por el apoyo incondicional en esta larga carrera.

Erik Wolf

AGRADECIMIENTO

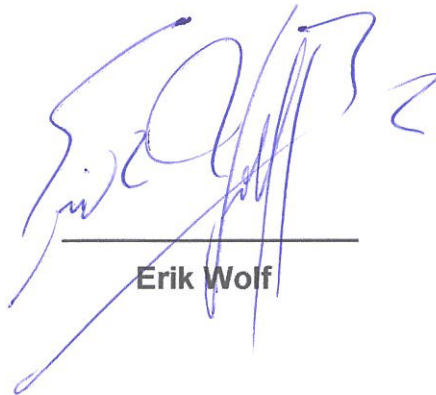
A Dios por ser guía en mi camino.

A todos aquellos que aportaron al desarrollo de este trabajo.

Erik Wolf

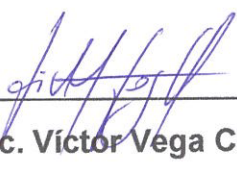
DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; 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.



Erik Wolf

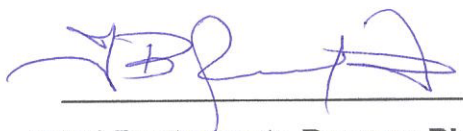
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



M.Sc. Víctor Vega Chica
DIRECTOR

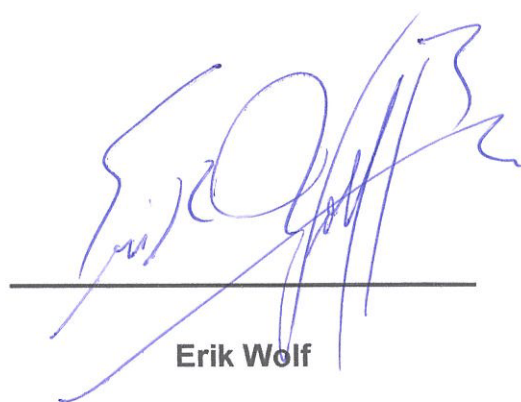


M.Sc. Carlos Martín Barreiro
VOCAL



Johni Bustamante Romero Ph.D.
PRESIDENTE

AUTOR



Erik Wolf

Tabla de Contenido

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
FIRMAS DEL TRIBUNAL	V
FIRMA DE AUTOR	VI
TABLA DE CONTENIDO	VII
TABLA DE FIGURAS	X
OBJETIVOS GENERALES	XII
OBJETIVOS PARTICULARES	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO 1	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Justificación del Problema	2
1.4 Metodología	3
1.5 Estructura del proyecto de Graduación	5
1.6 Descripción de situación actual	5
1.6.1 Pedidos y despacho.	5
1.6.2 Distribución y venta	6
1.7 Análisis de los principales indicadores	7
CAPÍTULO 2	9
2. METODOS DE PRONÓSTICO	9
2.1 Promedio Móvil	9
2.2 Suavización Exponencial Simple	10
2.3 Suavización Exponencial Doble (Holt)	11

2.4 Suavización exponencial de Winters	12
2.5 Modelo Autoregresivos integrados con promedios Moviles (ARIMA)	12
CAPÍTULO 3	16
3. INVESTIGACION DE OPERACIONES Y PROGRAMACION MATEMATICA	16
3.1 PROBLEMA DE TRANSPORTE: PRINCIPALES CONCEPTOS	16
3.1.1 El problema de ruteo	17
3.1.2 Problema de ruteo de vehículos	17
3.1.3 Problema del agente viajero	17
3.1.4 Problema de empaquetamiento en compartimientos	20
3.2 METODOS DE RESOLUCION	21
3.2.1 SIMPLEX	21
3.2.2 CPLEX	22
CAPÍTULO 4	24
4. CASO DE ESTUDIO	24
4.1 Análisis y Pronóstico de la Demanda	24
4.1.1 Segmentación geográfica de la ciudad	27
4.1.2 Modelo de Pronóstico	28
4.2 Modelo Matemático de Ruteo	32
4.2.1 Levantamiento de Información	33
4.2.2 Tipo de Ruteo	34
4.2 Definición de la situación actual del caso de estudio	37
CAPÍTULO 5	47
5.1 Conclusiones y Análisis de la Metodología	47
5.2 Recomendaciones	48
FUENTES BIOGRAFICAS	50
ANEXOS	52

Tabla de Figuras

Figura 1.1 Metodología del Proyecto.

Figura 2.1 Gráficos de auto correlaciones parciales.

Figura 2.2 Gráficos de auto correlaciones parciales.

Figura 3.1 Grafo de Nodos problema TSP.

Figura 4.1 Gráfico de Ventas y Devoluciones en USD 2010-2014.

Figura 4.2 Tabla de la variación mensual del índice de precios al consumidor de la harina de trigo 2007-2012.

Figura 4.3 Gráfico de Ventas y Devoluciones en Tons. 2010-2014.

Figura 4.4 Tabla de Comparativo de Ventas Vs. Devoluciones 2010 - 2014.

Figura 4.5 Histórico de consumo de Producto Terminado en Tons.

Figura 4.6 Gráfico de Consumo de Productos en Kgs. Zona Sur (2010-2014).

Figura 4.7 Mapa de Zona `El Astillero`.

Figura 4.8 Consumo de Producto terminado por Categoría Zona `El Astillero` (2010-2014).

Figura 4.9 Gráfico de Auto correlaciones del modelo implementado de la categoría `Molde`.

Figura 4.10 Gráfico de serie de tiempo + pronóstico del modelo implementado de la categoría Molde.

Figura 4.11 Mapa de `El Astillero` señalado por nodos a recorrer.

Figura 4.12 Resumen de Ventas y Devoluciones mensual 2010-2014

Figura 4.13 Resumen de Ventas y Devoluciones mensual 2010-2014.

Figura 4.14 Pronóstico 2015 aplicado para la zona `El Astillero\_ de la categoría `Molde_.

Figura 4.15 Asertividad del pronóstico 2014 aplicado a zona `El Astillero\_ de la categoría `Molde_.

*Figura 4.16 Tabla comparativa entre situación actual y Políticas de restricción aplicables a la distribución

Figura 4.17 Ruta definida con parametrización de Distancias Euclidianas.

Figura 4.18 Ruta definida con parametrización de Distancias Manhattan.

OBJETIVOS GENERALES

Plantear un modelo matemático para:

- Determinar la ruta óptima para minimizar distancias recorridas.
- Determinar cuánto de cada producto cargar en la unidad de transporte dependiendo el recorrido y el factor de devolución.

Plantear un modelo de pronóstico para:

- Minimizar el nivel de devoluciones por producto.

OBJETIVOS PARTICULARES

Los objetivos específicos que persigue el proyecto de graduación son:

- Establecer políticas de tolerancia para las cantidades a distribuir de cada producto en cada punto de venta.
- Incrementar el nivel de cumplimiento con los diversos puntos de venta.
- Obtener una programación óptima para el recorrido de los despachadores.
- Minimizar la dependencia del criterio de los despachadores.

INTRODUCCIÓN

‘Nada es permanenteŧ excepto el cambio’ -*Heráclito*-, frase dicha milenios atrás, describe súbitamente un denominador común en los parámetros del comportamiento humano (si es que lo vemos desde ese punto de vista). Desde los inicios de la historia, la necesidad de coexistir en sociedad nos impulsa a sobrellevar un cierto estado de orden, el cual el ser humano tiende a conjugarlo con su necesidad de pertenecía y seguridad. Sin embargo, la capacidad de adaptación de los seres humanos hace que demos saltos inesperados cada cierto tiempo.

La propia conducta del ser humano es reflejada de diversas maneras en el mundo empresarial, donde día a día se cierran puertas para aquellos que no disponen dentro de su estrategia, la posibilidad de enfrentar un escenario dinámico. De la misma manera, todo un mundo de oportunidades es abierto para aquellos que no se oponen al cambio, sino que caminan de mano en mano junto a él.

Podrían citarse varios ejemplos sobre la necesidad de adaptarse cada vez más a los diversos escenarios presentados en la actualidad (Jim Collins, 2011). Enfocándose aún más en el entorno empresarial, se plantea el incremento de la rentabilidad como objetivo lógico y coherente, para lo que es necesario maximizar los ingresos y minimizar los costos.

La logística en general tiene como objetivo incrementar el nivel de servicio y reducir los costos inherentes a las actividades contempladas dentro de la misma. Esta función básica puede tornarse tan compleja dependiendo la naturaleza del escenario en sí, para lo que existen diversas herramientas que pueden proporcionar soluciones cercanas al óptimo planteado.

Los altos niveles de producción y alta participación en el mercado demandan aún más la necesidad de plantear una mejora continua en los sistemas de abastecimiento y distribución.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Se ha elegido como sujeto de análisis para este proyecto de graduación, a una compañía líder en el mercado nacional con más de 60 años de trayectoria en la industria y con oficina matriz en la ciudad de Guayaquil.

Dentro del portafolio de productos comercializados por la empresa, se cuenta con una diversidad de productos, dentro de los cuales podemos resaltar las categorías de Bollería, Laminado, Molde, Integral, Multicereal.

Esta diversidad de productos se ha generado a través de las décadas con la finalidad de abarcar las necesidades de un mercado exigente el cual ha sido modelado en el paso del tiempo.

Dentro del escenario planteado se suman factores muy importantes a considerar tales como: el alto nivel de perecedero del producto dado por la naturaleza de su composición, el incremento de costos de la materia prima que incurren en una variación en el precio del producto, el nivel de servicio traducido en disponibilidad de stock para la venta, el nivel socio económico de los distintos sectores en los que se define el alcance del proyecto, y los diferentes niveles dados en el sistema de abastecimiento y distribución.

1.2 Planteamiento del problema

Para los sistemas de distribución aplicados a la industria panificadora, Un factor importante a tomar en cuenta, es el alto factor perecedero de la diversa gama de

productos que ofrece. El no poder manejar de manera correcta este factor incurre en pérdidas sustanciales para el negocio.

Un buen pronóstico de la demanda aplicando modelos univariados como análisis inicial, es fundamental para determinar el comportamiento del mercado en función a las variaciones dadas a lo largo de la serie de tiempo.

Un método exacto de investigación de operaciones aplicado a distribución, como lo es un modelo de ruteo VRP (Vehicle Routing Problem) con diversos productos (i) y múltiples puntos a recorrer (j), brinda soluciones bastante satisfactorias para reducir distancias en el recorrido hacia varios puntos de venta en una zona geográfica delimitada. Dependiendo del número de posibles valores de i (número de puntos de venta) y j (número de productos a ser repartidos) el programa utilizado para resolver el modelo matemático (GAMS. General Algebraic Modelling System / www.gams.com), proporcionara o no una solución razonable, dado que la magnitud de estos 2 índices guarda una relación directamente proporcional en función al tiempo computacional requerido. Por lo que se buscaría `relajar` en la medida de lo `factible` el número de parámetros implicados en la abstracción del escenario.

1.3 Justificación del Problema

Es indispensable establecer cotas para las cantidades de los productos a distribuir en cada punto de venta en relación a un pronóstico acertado, esto reduce de manera notoria los excedentes, y a su vez las posibles devoluciones de material caducado.

Un supuesto bastante acertado dentro de la programación matemática es reducir la necesidad del experto de manera substancial para minimizar la probabilidad de errores de criterio durante la planificación.

En la situación del caso estudiado, el despachador deja a su criterio la cantidad de productos a distribuir en una jornada, como también la secuencia en el recorrido de la distribución. Sin lugar a duda esto repercute de manera directa en el nivel de servicio proporcionado al punto de venta, influyendo no solo en un posible devolución por exceso de material, sino en una posible venta perdida en caso de lucro cesante, al no disponer de un producto durante dicho recorrido.

Citando lo establecido previamente, el factor perecedero de los productos incurre en pérdidas para el negocio sino es manejado de manera correcta. Se plantea encontrar una solución `simple\_, `confiable_ y `fácil de aplicar_ ante un problema latente, como lo es la distribución en este tipo de industria, en donde dicha distribución en ciertos casos, es más costosa que la elaboración del producto.

1.4 Metodología

La metodología del sistema de distribución a proponer consiste en 2 etapas. En primera instancia se procede a analizar la estacionalidad de las categorías de productos por zonas en la ciudad de Guayaquil, con una serie de tiempo no menor a 5 años. Se procede a realizar la selección aleatoria y elaborar un modelo de pronóstico univariado por categoría de producto en un área predeterminada por un recorrido habitual de un despachador. El pronóstico nos permitirá determinar la política de tolerancia en las cantidades de los productos a repartir en cada punto de venta dentro de esta área predeterminada. En segunda instancia se procede a implementar el modelo matemático de Ruteo donde no solo se procede a determinar la secuencia de puntos a recorrer en cada viaje, sino cuales son las

cantidades óptimas por producto a cargar por viaje dependiendo de los puntos de venta a recorrer.

En la figura 1 se ilustra el diagrama de flujo de la metodología del proyecto.

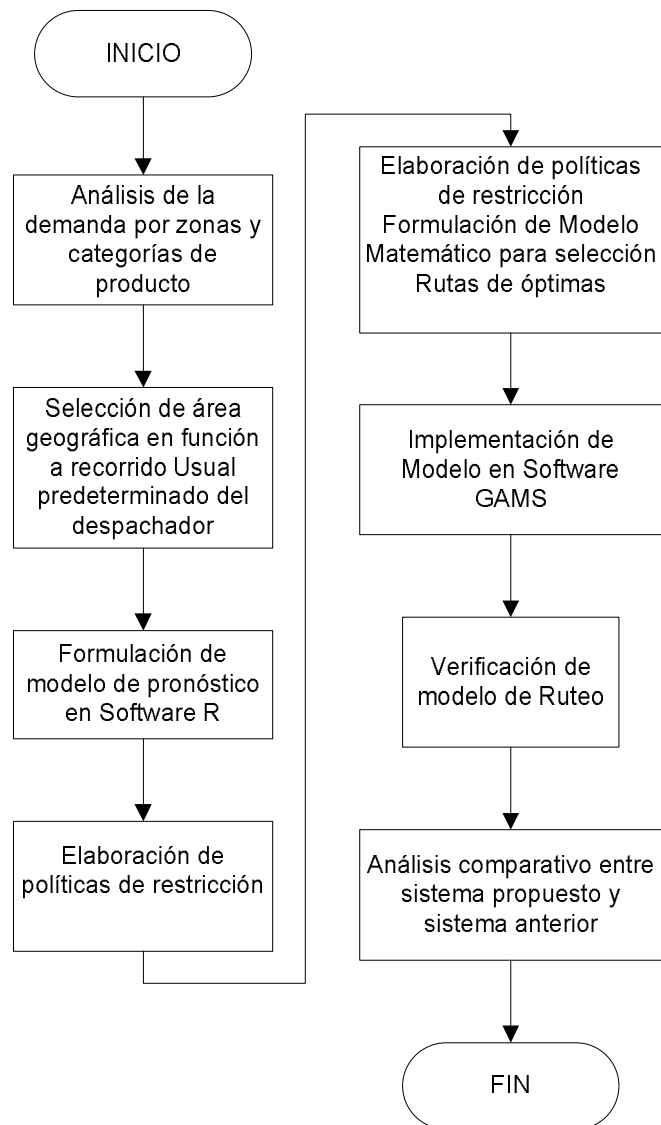


Figura 1.1 Metodología del Proyecto

1.5 Estructura del proyecto de Graduación

A continuación se define las etapas del proyecto.

Fase 1: Análisis y pronóstico de la Demanda

Se procede a recopilar los datos históricos de las ventas y devoluciones de la demanda que se presentan en el transcurso de los últimos 5 años, en función al análisis se procede a elaborar el modelo de pronóstico de la muestra seleccionada en el software `R`.

Se puede comprobar la efectividad del modelo de pronóstico mediante la comparación de la proyección del quinto año versus los datos reales de la serie de tiempo del quinto año.

Fase 2: Modelo Matemático de Ruteo

Después de determinar las políticas de tolerancia de las cantidades optimas a repartir en el área seleccionada, se procede a implementar el modelo matemático propuesto en el software GAMS. Los datos recopilados de este sistema, serán comparados con el sistema anterior empleado por la empresa.

Se tomaran en consideración el nivel de devolución de los productos y los niveles de cumplimiento en relación a las ventas perdidas.

1.6 Descripción de situación actual

A continuación se detalla el proceso de distribución desde el despacho del producto, pasando por el proceso de venta hasta el retorno del inventario no vendido en el día de trabajo.

1.6.1 Pedidos y despacho.

Los distribuidores realizan el pedido de los ítems una vez terminada la jornada de trabajo. A través de un módulo informático el distribuidor realiza el pedido de cada

uno de los ítems que estima vender, con 7 días de anticipación, esto es, por ejemplo, al término de la jornada del día lunes, se realiza el pedido para el próximo lunes. Es obligación del distribuidor realizar el pedido día a día. Si por cualquier motivo éste no lo pudo elaborar, sólo con la autorización de su supervisor podrá realizarlo. Una vez realizado el pedido éste queda bloqueado para ser modificado solo por el supervisor o el supervisor de ventas. Dichas modificaciones pueden hacerse hasta 48 horas antes del día programado para su despacho.

A primera hora de la mañana, el distribuidor recibe la carga solicitada previamente. Es responsabilidad del distribuidor comparar el inventario físico con la guía de remisión de la carga. Una vez cumplida esta actividad el distribuidor está listo para realizar su trabajo.

1.6.2 Distribución y venta

Es importante indicar que el método utilizado para la distribución es por medio de autoventa, donde el distribuidor autorizado realiza el recorrido de su territorio sin un pedido previo, estimando la cantidad a vender en cada punto de venta. Para la visita de sus clientes el distribuidor se vale de su conocimiento y criterio del sector o ruta recorrida. La ruta es elaborada de manera manual y debe ser actualizada constantemente, ya que como es de suponer, durante el transcurso del tiempo pueden aumentar o disminuir el número de puntos de venta en un territorio. Vale indicar que por cada territorio existen clientes tipos Autoservicios los cuales tienen un tratamiento especial, especialmente en los tiempos de atención a los mismos.

Durante el proceso de ventas el distribuidor debe determinar la cantidad de ítems que debe ubicar en los puntos de ventas, tomando en cuenta la rotación de los mismos. Se debe considerar el hecho que existe un inventario que no ha sido vendido por parte del cliente a los consumidores, es así que el producto va acortando su tiempo de vida, lo que luego se convierte en devolución. Por política de la organización el distribuidor tiene la obligación de hacer el cambio de los

productos que no han rotado a los clientes. Dado este escenario se hace una tarea complicada realizar una estimación adecuada de la demanda de los productos, tratando de mantener el nivel de devoluciones bajo.

1.7 Análisis de los principales indicadores

Los principales objetivos en el proceso de distribución y venta es el control de los niveles de devolución y retornos, manteniendo o aumentando el nivel de ventas, a través de una adecuada colocación de los productos y una estimación muy cercana a la demanda real de los puntos de venta.

La tolerancia definida para el nivel de devoluciones es entre 5 y 7 por ciento, tomando en cuenta éste se define como la razón de los dólares devueltos sobre el total de dólares vendidos. Debajo del 5% se puede creer que existe un desabastecimiento del producto (stock out), mientras que un nivel de devolución del 7% afecta a la disminución de la rentabilidad de la compañía. Ambas situaciones afectan negativamente comercial y financieramente.

El retorno, definido como el inventario en piso, es otra variable a controlar, dado los costos en el que se incurren por tener producto sin vender. Un retorno muy alto puede contribuir a que el tiempo de vida de los productos disminuya lo que probablemente se traduce en devolución. Puede influir en la perdida de oportunidad de dejar de vender un producto ya que por capacidad el distribuidor no puede cargar todos los ítems que necesite ya que el espacio necesitado es ocupado por un producto que no lo está vendiendo.

CAPÍTULO 2

METODOS DE PRONÓSTICO

Conceptualmente podemos tomar un pronóstico como la estimación de un hecho o varios hechos basados en datos del pasado. Dicho de otra manera, una proyección sistemática de una serie de datos alineados cronológicamente en el tiempo.

Diferentes factores pueden influenciar en un pronóstico, factores como el número de elementos, homogeneidad de los datos, factores exógenos, periodicidad, etc. Dependiendo de la naturaleza del escenario, se procede a determinar el nivel de relevancia de dichos factores influyentes en la serie de tiempo a ser analizada (métodos cuantitativos), puesto que existen diversos patrones que pueden o no corroborar con un buen análisis de datos (estacionario, tendencial, estacional, cíclico).

2.1 Promedio Móvil

Este método combina una cantidad determinada de datos en la serie de tiempo, y progresivamente elimina los valores más antiguos. Hay que remarcar el cambio de la media conforme los periodos de tiempo continúan (eliminación de fluctuaciones aleatorias). Es un método bastante básico eficientemente aplicado en casos de no existir una tendencia pronunciada o a su vez no existir una estacionalidad muy demarcada.

$$F_t = \frac{X_{t-k} + X_{t-(k-1)} + \dots + X_{k-1}}{k}$$

Hay consideraciones que deben ser tomadas en cuenta para la utilización de esta técnica de pronóstico y es que la serie debe ser estable, es decir que la variabilidad entre un dato y otro no tenga niveles importantes, esto es que si bien es cierto durante un periodo de tiempo la serie muestre altos y bajas en sus valores, ésta a la larga debe mostrar una tendencia constante.

Para determinar el valor de k , se suele usar como criterio de selección medidas de error global como MSE, MAE, entre otras (Hanke y Wichern, 2005) k puede ser pequeño, caso contrario k debe ser grande.

2.2 Suavización Exponencial Simple

Este método se basa en la ponderación a favor de los valores más recientes dentro de los datos observados (se da menos importancia a los valores más antiguos).

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)F_t$$

La ponderación consiste en darle un valor a la constante α , que puede estar en el intervalo de entre 0 y 1.

Suponer una tendencia constante en la serie de tiempo, es una consideración a tomar en cuenta en este método al igual que en la técnica de media móvil. La técnica de suavización exponencial perfecciona la de promedio móvil, donde en esta última cada uno de los datos recientes tiene la misma ponderación y los datos antiguos no se utilizan. Por otro lado la técnica de suavización exponencial, le da

más peso a las observaciones recientes, al considerar que estas tienen más valor que las antiguas.

Para la elección de la constante α hay que tener presente el hecho de que gran parte del error en un pronóstico se debe a la variabilidad aleatoria. Por tanto en una serie temporal con un nivel de variabilidad alto se debe escoger una constante alfa pequeña, y en caso contrario con un nivel de variabilidad baja escoger una constante α grande permite ajustar los pronósticos y que éste reaccione rápidamente a condiciones cambiantes.

Este método resulta bastante útil en caso de tener una tendencia lineal leve. Un método bastante utilizado en la suavización exponencial es el método de Holt. (Holt et al., 1960)

2.3 Suavización Exponencial Doble (Holt)

Este método es empleado en series de tiempo donde la tendencia es variable. Para lo cual se requiere del desarrollo de 2 suavizaciones (del promedio de una serie y de la tendencia del promedio):

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + B_{t-1})$$

$$B_t = \beta (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) B_{t-1}$$

$$F_{t+k} = S_t + kB_t$$

Se puede considerar que este modelo no responde adecuadamente a variaciones aleatorias. (Hanke y Wichern, 2005)

2.4 Suavización exponencial de Winters

El método multiplicativo de suavización exponencial de winters posee la facultad de tomar en cuenta factores como la tendencia (crecimiento), la estacionalidad y la aleatoriedad de la serie de tiempo:

Las siguientes ecuaciones se combinan:

$$S_t = \alpha \left(\frac{X_t}{C_{t-L}} \right) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + B_{t-1})$$

$$B_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)B_{t-1}$$
$$C_t = \gamma \left(\frac{X_t}{S_t} \right) + (1 - \gamma)C_{t-L}$$

$$F_{t+k} = (C_t + kB_t)C_{t+k-L}$$

(Hanke y Wichern, 2005)

2.5 Modelo Autoregresivos integrados con promedios Moviles (ARIMA)

La metodología de Pronóstico planteada por Box-Jenkins (1976), representa una familia bastante amplia de pronóstico, lo cual es algo diferente de los demás métodos de pronóstico descritos con anterioridad. Este método utiliza una aproximación a diferentes posibles modelos generales que se acoplen a la naturaleza de la serie de tiempo.

Para hacer una selección correcta del modelo ARIMA que más se ajuste, primero es necesario realizar un minucioso análisis de los gráficos correspondientes a las auto-correlaciones teóricas y las auto-correlaciones parciales.

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_k \rho_{t-k} + \varepsilon_t$$

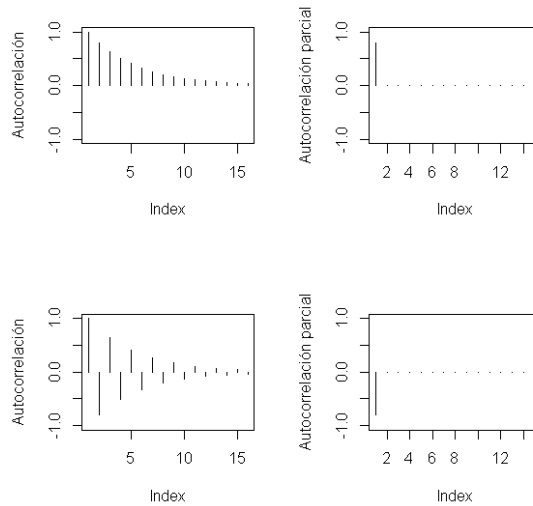


Figura 2.1 Gráficos de auto correlaciones parciales

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} + \omega_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \omega_q \varepsilon_{t-q}$$

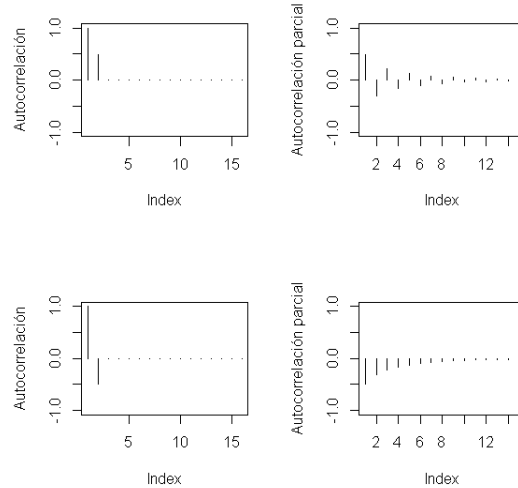


Figura 2.2 Gráficos de auto correlaciones parciales

Un estimador bastante fácil de utilizar para determinar el orden del modelo, es basado en las ecuaciones de Yule-Walker.

$$\rho_1 = \phi_1 + \phi_2 \rho_1 + \dots + \phi_k \rho_{k-1}$$

Adicionalmente se remarca la preferencia de la sencillez del modelo frente a los modelos complejos (criterio de parsimonia), puesto que los modelos sencillos tienden a desarrollar mejores predicciones, no obstante esto no es razón para sobrevalorar dicho criterio.

Es adaptable utilizar restricciones de estacionaridad siendo estas débiles si varianzas o covarianzas son constantes a lo largo del tiempo o fuertes dependiendo si es invariante la distribución de probabilidad de la secuencia de variables a lo largo del tiempo.

Una forma de comprobar la eficiencia de un modelo, es através del índice AIC (Akaike, 1998) el cual nos permitirá analizar de manera tangible el desempeño del modelo ARIMA frente a la serie de tiempo estudiada, siendo mejor modelo el que tenga menor AIC (Hanke y Wichern, 2005).

CAPÍTULO 3

INVESTIGACION DE OPERACIONES Y PROGRAMACION MATEMATICA

El impacto que ha tenido la investigación de operaciones en numerosas organizaciones, es bastante reconocido a lo largo de las décadas. Dentro de esta rama de las matemáticas, encontramos términos como modelización y optimización en los cuales nos acogemos a una nueva tendencia en el pensamiento de administración de recursos.

Podemos entender un modelo matemático de investigación de operaciones, como una abstracción de un escenario específico, en el que buscamos describir dicho escenario en un sistema de ecuaciones con el desarrollo de una `Función Objetivo` sujeta a diversas restricciones.

La optimización se basa en asignar un valor a una variable dentro de un sistema de ecuaciones el cual nos permite maximizar o minimizar un valor determinado en la función objetivo de dicho sistema.

La selección del modelo adecuado para reproducir la realidad es una etapa crucial para obtener una solución satisfactoria a un problema real. Las estructuras matemáticas asociadas no son arbitrarias, sino una consecuencia de la misma realidad (Castillo et al., 2002).

3.1 PROBLEMA DE TRANSPORTE: PRINCIPALES CONCEPTOS

3.1.1 El problema de ruteo

El problema de enrutamiento o ruteo de vehículos, data del año 1959 y fue dado a conocer por Dantzig y Ramser (K.Aardal et al. 2005), quienes mostraron una aplicación del problema de cómo distribuir combustible a un conjunto de estaciones de servicio y para solucionarlo propusieron una formulación matemática. Luego se propuso un algoritmo efectivo para resolverlo (Clarke y Wright, 1963).

Esta problemática se puede entender como la combinación de dos problemas, el primero el del `agente viajero` y el segundo el de `empaquetamiento en compartimientos` (Daza, et al.,2009)

3.1.2 Problema de ruteo de vehículos

A grandes rasgos un problema de ruteo de vehículos consiste en dado un conjunto de clientes y depósitos dispersos geográficamente y una flota de vehículos, determinar un conjunto de rutas de costo mínimo que comiencen y terminen en los depósitos, para que los vehículos visiten a los clientes máximo una vez. Dentro de esta definición, el problema se ubica en un amplio conjunto de variantes.

3.1.3 Problema del agente viajero

Este problema constituye la situación general y de partida para formular otros problemas combinatorios más complejos, aunque más prácticos, como el ruteo de vehículos y la programación de tareas dependientes del tiempo de aislamiento. En este problema se dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo mínimo. No suele haber un depósito, no hay demanda asociadas a clientes y tampoco hay restricciones en cuanto a horarios de atención.

El problema puede formularse matemáticamente mediante programación lineal entera, a continuación:

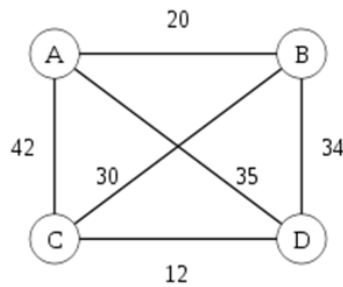


Figura 3.1 Grafo de Nodos problema TSP

Rutas posibles tomando en consideración el nodo A como inicio:

- Ruta 1. A-B-D-C-A: 108
- Ruta 2. A-B-C-D-A: 97
- Ruta 3. A-C-D-B-A: 108
- Ruta 4. A-C-B-D-A: 141
- Ruta 5. A-D-C-B-A: 97
- Ruta 6. A-D-B-C-A: 141

Función Objetivo:

1.-
$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

2.-
$$\sum_{j \in \Delta^{(+)}(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V$$

3.-
$$\sum_{i \in \Delta^{(-)}(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V$$

$$4.- \sum_{i \in S, j \in \Delta^{(+)}(i) / S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V$$

$$5.- x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E$$

Siendo:

6.- i : nodos de salida.

7.- j : nodos de llegada.

8.- $C(i,j)$: Parámetro de costo representado por distancias entre el nodo i y el nodo j

9.- $X(i,j)$: Variable binaria que asignara el valor de 1 en caso de que seleccionemos el nodo correspondiente.

10.- $\Delta_+(i)$ y $\Delta_5(i)$: conjunto de nodos adyacentes o incidentes al nodo i .

La mayor parte de los problemas de ruteo de vehículos son generalizaciones del problema de agente viajero. En ese sentido, se lo puede considerar el problema más simple. El tiempo de cálculo necesario para resolverlo incrementa con rapidez a medida que aumenta el número de clientes n . En un caso general el número de rutas factibles que debe considerarse es $(n-1)/2$ puesto que hay $(n-1)$ posibilidades para la primera ciudad después de la ciudad residencia del agente, $(n-2)$ posibilidades para la siguiente ciudad y así sucesivamente. El denominador 2 surge porque cada ruta presenta una ruta inversa equivalente con la misma distancia. Así, mientras el problema del agente viajero con 10 ciudades tiene no menos de 200000 soluciones factibles que deber ser consideradas, un problema con 20 ciudades tiene alrededor de 10^{16} soluciones factibles, mientras que un problema con 50 ciudades tiene alrededor de 10^{62} . Las soluciones óptimas a este problema para pequeñas instancias pueden ser encontradas en tiempo razonable

(polinomial) mediante programación lineal entera. Sin embargo, el ser considerado NP-duro ocasiona que no se obtengan para grandes instancias algoritmos exactos que encuentren soluciones óptimas en tiempo polinomial determinístico.

3.1.4 Problema de empaquetamiento en compartimientos

El problema consiste en embalar un conjunto de objetos en varias cajas o contenedores tal que el peso o el volumen total no exceda un valor máximo de las cajas. De una manera precisa, definimos un problema de empaquetamiento en compartimientos como sigue. Tenemos un conjunto finito de artículos i cada uno de los cuales tienen un beneficio v una restricción de precedencia entre estos, incurriendo en un costo w (tal vez finito). Posteriormente definimos un grupo ordenado para ser un subconjunto de artículos de modo que el peso total del grupo pedido no exceda la capacidad C de la caja y ningún costo entre los artículos adyacentes en el grupo sea infinito.

La meta primaria es crear una solución factible, maximizando el beneficio del conjunto de artículos i seleccionados, considerando la restricción de capacidad C .

El problema puede formularse matemáticamente mediante programación lineal entera, a continuación:

Función objetivo:

1.-
$$\text{Max } \sum_{(i) \in E} v_i x_i$$

Sujeto a:

2.-
$$\sum_{(i) \in E} w_i x_i \leq C \quad \forall i \in V$$

3.-
$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall (i) \in E$$

Siendo:

- 4.- i : el ítem u objeto a ser seleccionado.
- 5.- $V(i)$: Beneficio que representa cada objeto i .
- 6.- $W(i)$: Costo que representa cada objeto i .
- 7.- C : Parámetro de capacidad de almacenamiento de la caja o contenedor.
- 8.- $X(1,0)$: Variable binaria que asignara el valor de 1 en caso de que seleccionemos el ítem u objeto i .

3.2 METODOS DE RESOLUCION

Existen bastantes formas para poder resolver los diferentes tipos de sistemas de ecuaciones planteadas. Dependiendo del tipo de problema, podemos entender de la existencia de los niveles de dificultad implícitos en la programación matemática.

Hay que caer en cuenta que existen problemas fáciles de plantear pero difíciles de resolver y problemas difíciles de plantear pero fáciles de resolver. Esto dependerá de la cantidad de datos y restricciones tomadas en cuenta en el modelo estudiado.

3.2.1 SIMPLEX

El algoritmo Simplex es un método bastante utilizado en la programación lineal, puesto que el poliedro convexo que se forma por el conjunto de fronteras de soluciones óptimas tiende a ser finito.

El algoritmo simplex no recorre todos los vértices del conjunto, sino que en cada iteración comprueba si existe un cambio de vértice que mejore la solución. El proceso se detiene cuando no se encuentra una mejor solución, ya que se entiende que el poliedro ha terminado de formarse y el óptimo fue encontrado.

(Rudin, 1976)

3.2.2 CPLEX

Una extensión del algoritmo SIMPLEX es el algoritmo CPLEX que es bien utilizado para problemas más complejos en base a modelización, Por lo general cuando se incluyen variables binarias siendo esta categoría, modelos de programación entera mixta. Inicialmente el algoritmo subdivide el problema en dos etapas, siendo la primera la relajación de las variables integrales, utilizando el SIMPLEX para crear subregiones menores (branching), luego de obtener subregiones se procede a resolver los sub-problemas comparando las mejores soluciones optimas parciales (bounding) (Rosenthal,1988).

Una desventaja de este algoritmo, es la tendencia a acorralarse en óptimos locales dada la misma condición de la primera etapa del algoritmo (branching), por lo que es recomendable utilizarlo en problemas no tan grandes.

Existen diversos métodos de resolución profundizándose más en temas de meta-heurística, mientras el escenario sea más complejo (mayor cantidad de datos y mayor cantidad de restricciones) se recomienda metodologías como: Algoritmos Genéticos, Búsqueda Dispersa, entre otros. Para la implementación de este tipo de meta-heurística es necesario tener conocimiento en lenguajes de programación.

CAPÍTULO 4

4. CASO DE ESTUDIO

Acorde con lo planteado, en el siguiente capítulo procedemos a desarrollar el modelo de distribución del caso de estudio puesto en mención.

En el desarrollo del caso se presentaran datos reales de la zona seleccionada para el análisis de la propuesta de mejora.

4.1 Análisis y Pronóstico de la Demanda

Para efectos de pronóstico se recopiló información de las Ventas del año 2010-2014 (5 años) y a subdividir los productos en categorías para una visión global de la evolución del mercado.

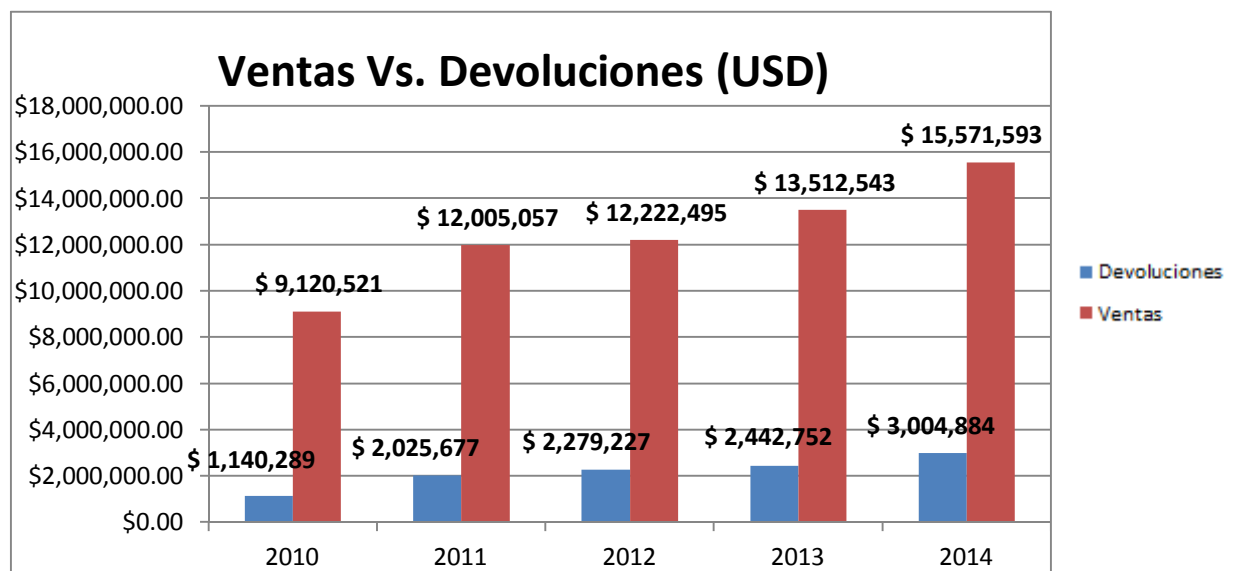


Figura 4.1 Gráfico de Ventas y Devoluciones en USD 2010-2014

El histórico de Ventas demuestra un crecimiento substancial en los ingresos de la compañía siendo el total en el 2010 \$9,120,521 y en el 2014 \$15,571,593.

Podemos considerar un incremento de los Ingresos de más del 70% en relación al 2010.

Pero estos Ingresos no consideran el incremento en los costos operativos, variaciones en el costo de la materia prima (harina, levadura, etc.) e incluso la inflación.

Variación Mensual Índice de Precios al Consumidor Harina de Trigo

AÑO/MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2007	-0,63	1,05	0,05	0,02	-0,76	0,26	0,43	2,67	1,24	6,36	26,62	10,21
2008	2,83	2,97	0,36	0,23	0,38	-0,34	1,12	0,04	0,53	-1,21	-0,41	0,16
2009	0,17	0,85	0,04	0,41	0,08	-0,63	0,26	-2,87	0,35	-0,40	0,60	0,06
2010	-1,21	0,97	-0,45	0,75	-1,75	0,68	-0,32	0,00	-0,28	-0,03	0,93	0,35
2011	0,59	-0,84	-0,56	-0,13	1,97	2,18	2,43	3,24	0,46	0,64	0,37	0,36

**Dato recopilado por el INEC*

Figura 4.2 Tabla de la variación mensual del índice de precios al consumidor de la harina de trigo

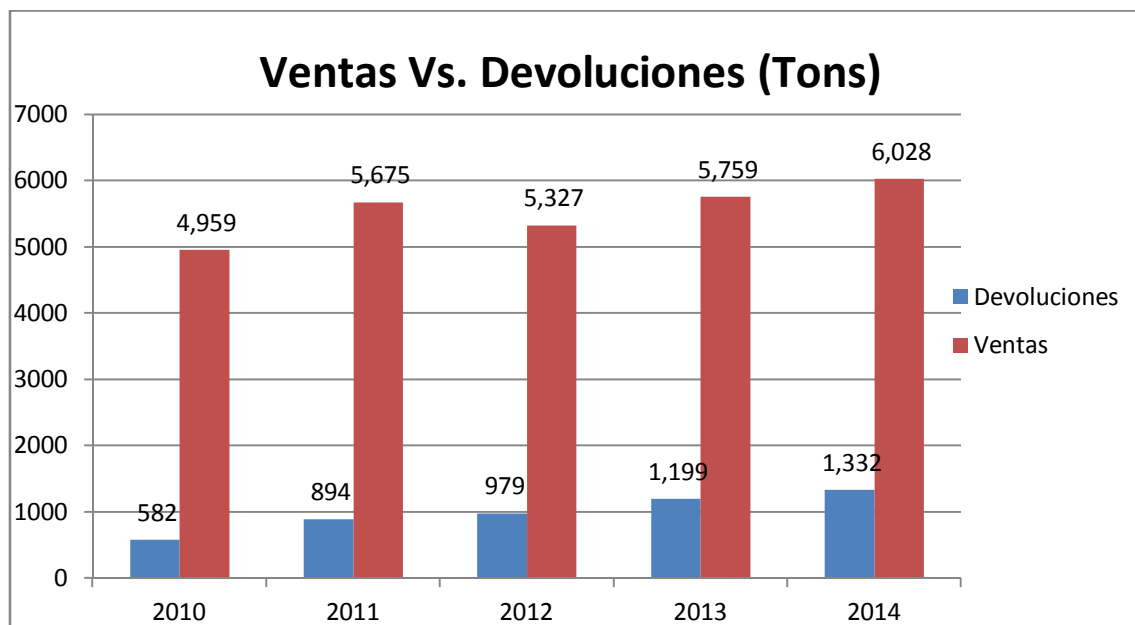


Figura 4.3 Gráfico de Ventas y Devoluciones en Tons. 2010-2014

Si visualizamos las ventas y devoluciones en toneladas podemos considerar que el incremento de las ventas desde el 2010 apenas ha sido de un 21.5 % hasta el 2014. Sin embargo las devoluciones se han incrementado en el 2010 de un 11.72% a un 22.09% en el 2014 (Porcentaje en relación a las ventas).

Esta sencilla comparación entre el incremento en Dólares y el incremento en toneladas nos da una ligera idea de la posición de la empresa al incrementar los precios. Sin embargo las devoluciones (producto terminado devuelto por caducidad en el punto de venta) han aumentado en casi al doble en relación a las ventas del 2010 al 2014.

Es necesario considerar la posibilidad que el esfuerzo adicional en aumentar el total de toneladas vendidas no justifica el aumento de toneladas en devolución a casi el doble en proporción.

Comparativo de Ventas vs. Devoluciones

Año	Total Ventas Tons	Total Devoluciones Tons	Ventas Vs. Devoluciones	Total Ventas USD	Total Devoluciones USD	Ventas Vs. Devoluciones
2010	4,959	582	12%	\$ 9,120,521.39	\$ 1,140,288.57	13%
2011	5,675	894	16%	\$ 12,005,057.11	\$ 2,025,676.89	17%
2012	5,327	979	18%	\$ 12,222,495.08	\$ 2,279,226.98	19%
2013	5,759	1,199	21%	\$ 13,512,543.39	\$ 2,442,751.52	18%
2014	6,028	1,332	22%	\$ 15,571,592.76	\$ 3,004,884.16	19%

*Figura 4.4 Tabla de Comparativo de Ventas Vs. Devoluciones 2010 - 2014

4.1.1 Segmentación geográfica de la ciudad

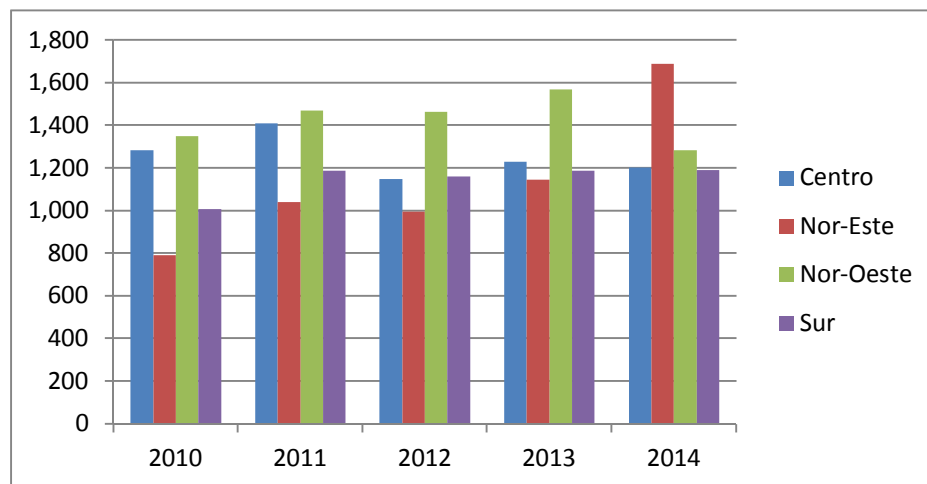
La diversificación geográfica de la ciudad fue realizada en función a la base de datos proporcionada por la empresa que facilitó la información de ventas del 2010-2014.

Siendo 4 zonas generales la manera en cómo se procede a segmentar la ciudad de Guayaquil.

- Nor-Oeste
- Nor-Este
- Centro
- Sur



Consumo en Tons. De Producto Terminado por Zonas



*Figura 4.5 Histórico de consumo de Producto Terminado en Tons.

Para este proyecto se selecciona la zona Sur en base a la estabilidad que proporciona la serie de tiempo, esto se genera en base al mix de productos repartidos en dicha área geográfica en función a las condiciones socio-económicas de dicha zona.

Consumo de productos en Kgs. Zona Sur (2010-2014)

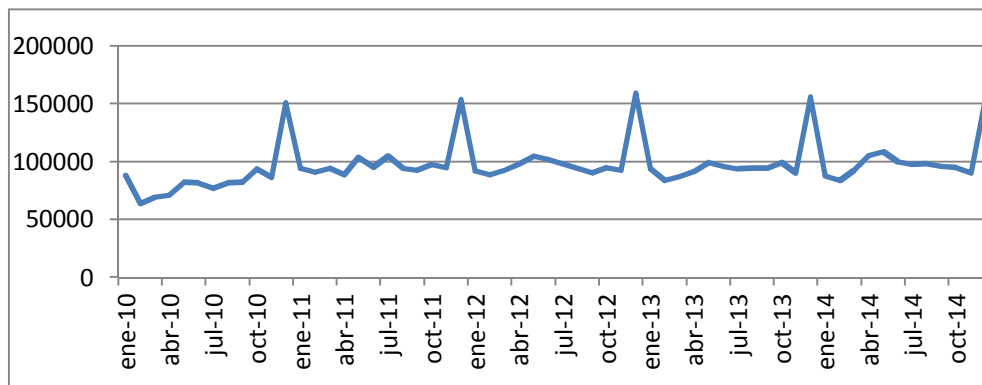
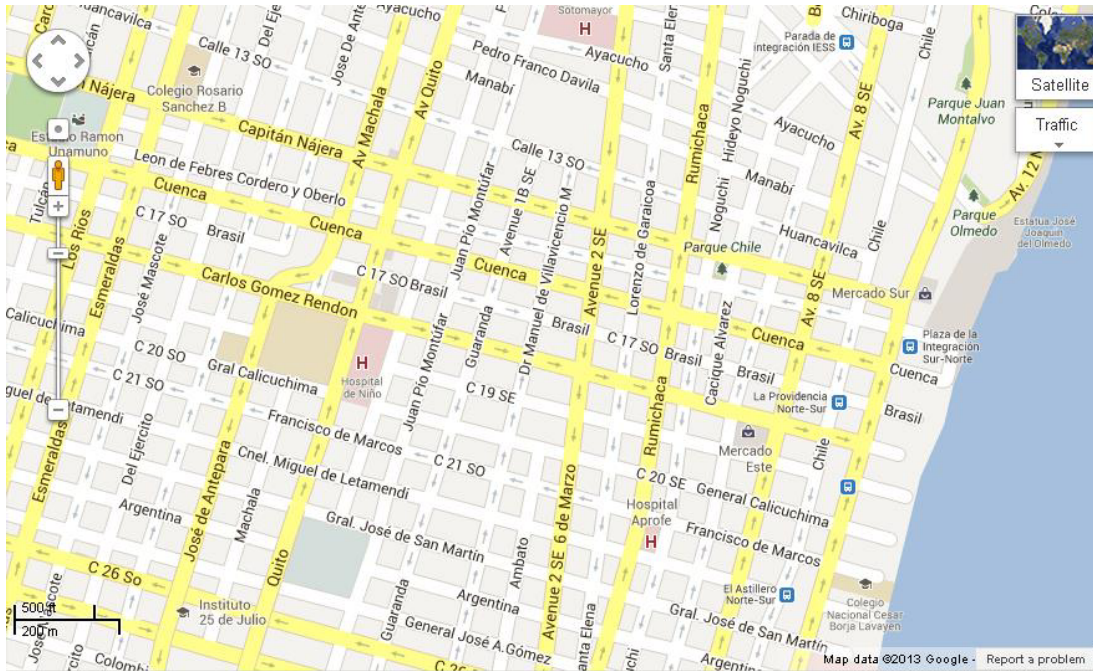


Figura 4.6 Gráfico de Consumo de Productos en Kgs. Zona Sur (2010-2014).

4.1.2 Modelo de Pronóstico

Los diferentes modelos de pronóstico han sido aplicados a la base de datos correspondientes a las ventas y devoluciones del área ubicada entre las calles Ayacucho, Gomez Valverde, Eloy Alfaro y Avenida Quito de la ciudad de Guayaquil.

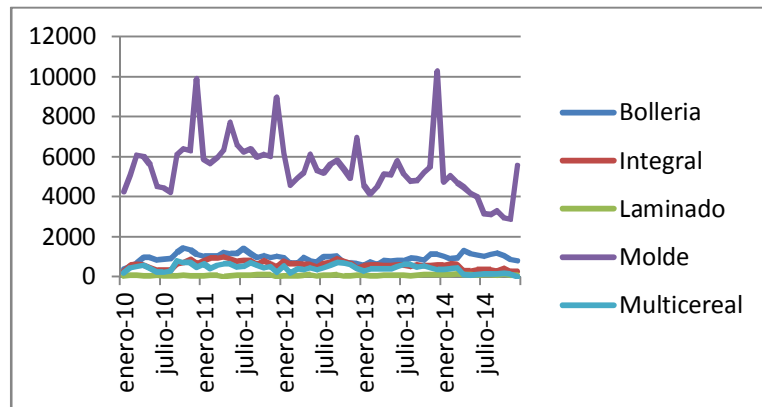


*google map data

Figura 4.7 Mapa de Zona 'El Astillero'.

La utilización del software 'R' (open-source) ha facilitado el desarrollo de los siguientes modelos, los cuales serán la base de referencia para la política de abastecimiento en función a las cantidades de productos a repartir en dicha área.

Consumo de Producto Terminado por categoría (El Astillero)



*Figura 4.8 Consumo de Producto terminado por Categoría Zona “El Astillero” (2010-2014).

La base de datos de consumo en Kilos de producto segmentados por categoría (Bollería, Integral, Laminado, Molde y Multicereal; ver cuadro anexo).

Siendo la categoría `Molde` la categoría con más venta efectiva, se opta por tener como prioridad el pronóstico de esta categoría. Sea Z_t las ventas de moldes correspondientes al mes t . El modelo de pronóstico estimado quedaría:

$$1.- \quad Y_t = Z_t - Z_{t-1}$$

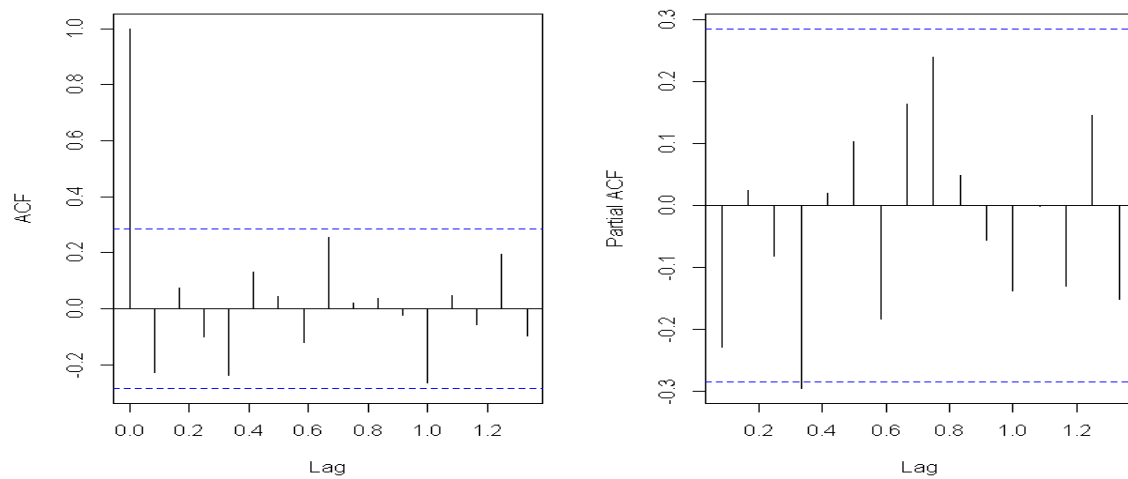
$$2.- \quad V_t = Y_t - Y_{t-12}$$

$$3.- \quad V_t = -0.0687 - 0.0687(V_{t-12}) - 0.9993\varepsilon_{t-12} + \varepsilon_t$$

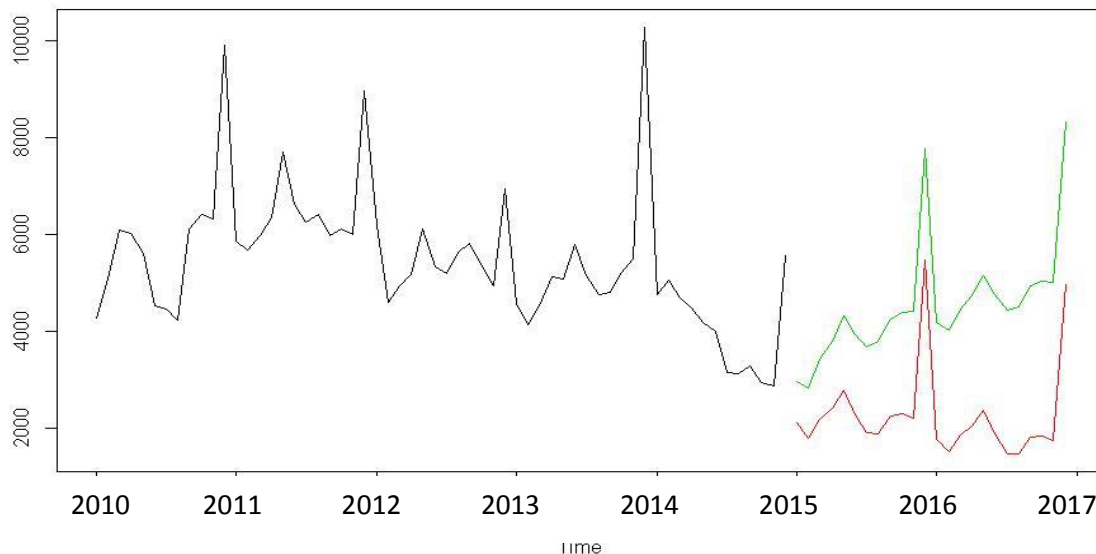
$$4.- \quad \varepsilon_t = -0.2903\varepsilon_{t-1} + \alpha_t$$

Donde α_t es un proceso de ruido blanco, con media 0 y desviación estándar de 668.679

(Revisar Anexo para modelización en software R, ANEXO 4.2.2)



*Figura 4.9 Gráfico de Auto correlaciones del modelo implementado de la categoría 'Molde_.



*Figura 4.10 Gráfico de serie de tiempo + pronóstico del modelo implementado de la categoría Molde

Es bastante factible utilizar un método univariado de pronóstico puesto que los resultados son lo suficientemente satisfactorios para el fin que es requerido. En este caso se amplía hasta un margen del 10% por encima del pronóstico como límite superior el cual se tomara en cuenta como máximo de tolerancia en función a las devoluciones de material caducado.

4.2 Modelo Matemático de Ruteo

De la misma manera una parte igual de fundamental para el desarrollo de este proyecto, además de la minimización de costos en función de la pérdida de producto terminado por caducidad, es la maximización del nivel de servicio mediante la atención oportuna hacia los diferentes puntos de venta representados.

La utilización de un modelo de rutas es necesaria debido a la carencia de herramientas de este nivel por parte de los distribuidores contratados a los que se les asignan las diferentes zonas.

En este caso de estudio, como es señalado en capítulos anteriores, el criterio del conductor del vehículo automotor destinado a realizar el recorrido, es considerado como único factor para la consideración de puntos a visitar.

No existe respaldo por parte de los distribuidores ni registros que indiquen la ruta óptima de distribución. Partiendo de esta premisa, se considera fundamental la necesidad de incurrir en un modelo de optimización basado en programación matemática, para el cual el software GAMS puede ser bastante útil para optimizar dicha secuencia.

4.2.1 Levantamiento de Información

Una de las etapas más relevantes en un proyecto corresponde al levantamiento de la información a analizar. Mientras más reales son los datos empleados, las respuestas tienden a ser más satisfactorias a la hora de poner en marcha la modelización dada.

Para efectos de este proyecto se utilizó unidades de medida a escala, basadas en el levantamiento de un mapa de la zona. Se podría haber empleado un dispositivo GPS para determinar la ubicación exacta de cada punto a visitar, Sin embargo por falta de recursos no se utilizó esta forma de levantamiento.

Otros de los parámetros suavizados, y podría decirse el más importante de todos, es el sentido de las calles en conjunto con la densidad del tráfico vehicular.

Tomar los tiempos de recorrido en la calles podría realizarse con una serie de muestras en las cuales se pueda observar la variabilidad del tráfico a través de las horas pico. Este trabajo se puede realizar cronometrando un vehículo a diferentes

horas tanto a la velocidad permitida por el tráfico y a la velocidad permitida por el límite de velocidad.

Como observación general, se remarca que La zona de estudio elegida tiene una cobertura mínima de señalización electrónica (semáforos).

Actualmente la CTE cuenta con un sistema de control de tráfico mediante la ubicación de cámaras en ciertas calles de alta densidad vehicular, sin embargo se desconoce si estos datos están aptos como consulta por el usuario interesado en obtener información con fines académicos.

Otro dato importante es el tiempo de atención brindado por el repartidor en cada punto de venta, es recomendable levantar esta información para efectos de medición mediante un indicador de desempeño. Esta información corrobora incluso en el desarrollo de un modelo de rutas con ventanas de tiempo, lo cual no ha sido considerado en este caso de estudio.

4.2.2 Tipo de Ruteo

El modelo empleado entra en la categoría VRP_ con capacidad limitada. Dado que existen diferentes características en los materiales (volumen principalmente) y una capacidad limitada de carga en el vehículo a utilizar.

La modelización entera mixta puede ser expresada de la siguiente manera:

Función Objetivo:

1.-

$$\min \sum_{(i,j,u) \in U} C_{(i,j)} X_{(i,j,u)}$$

Sujeto a:

$$2.- \sum_{(i,j) \in U} X_{(i,j)} = 1; \forall (i,j) \in U$$

$$3.- \sum_{(i,j) \in U} X_{(i,j)} = \sum_{(j,i) \in U} X_{(i,j)}; \forall (i,j) \in U$$

$$4.- \sum_{(u,i) \in U} X_{(u,i,u)} \leq 1; \forall (i,u) \in U$$

$$5.- \sum_{(u,i) \in U} L_{(i,k)} Vol \leq Cap; \forall (i) \in U$$

$$6.- \sum_{(i,u) \in U} X_{(u,i,u)} + \sum_{(i,u) \in U} X_{(i,u,u)} \leq 0; \forall (i,u) \in U$$

$$7.- X_{(i,j,u)} (L_{(i,u,k)} + d_{(j,k)} - L_{(j,u,k)}) = 0; \forall (i,j,k,u) \in U$$

$$8.- X_{(i,j,u)} (L_{(i,u,k)} - d_{(j,k)}) = 0; \forall (i,j,k,u) \in U$$

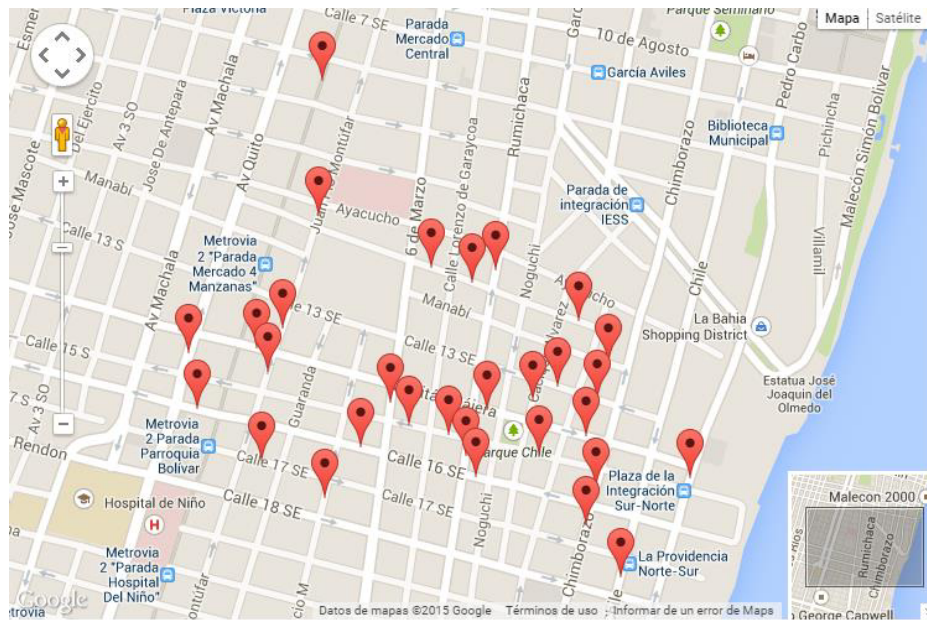
$$9.- X_{(i,j,u)} \in \{0,1\}; \forall (i,j,u) \in U$$

$$10.- L_{(i,k)} \geq 0; \forall (i) \in U$$

La restricción de Capacidad fue dada en cm², dado que solo se almacena un piso de producto por bandeja, de tal manera que el parámetro de volumen de cada producto, fue dado en función a la superficie que ocupa en la bandeja de almacenamiento.

La capacidad del vehículo es de 160 bandejas, teniendo cada bandeja la posibilidad de llevar hasta un área de 3000 cm², el volumen de los diversos productos fueron medidos de igual manera por el área de la superficie que ocupan en cm².

Para que el GAMS pueda realizar el cálculo de la ruta óptima a través del modelo planteado, es necesario elaborar una matriz de costo donde se medirá las distancias entre cada punto del área seleccionada. Esta medición se puede hacer a través de las coordenadas reales levantadas por un dispositivo GPS o a través de un plano a escala.



*google map data

*Figura 4.11 Mapa de `El Astillero` señalado por nodos a recorrer

Estos movimientos recomendados de un punto a otro vendrían a conformar la ruta recomendada en el área sujeta a estudio. Para revisar la escritura de la programación matemática y la tabla de conteo acumulado de los materiales repartidos punto por punto, ver tabla anexa.

4.3 Definición de situación actual del caso de estudio

El primer factor a considerar es el nivel de devoluciones histórico de la zona de estudio 'El Astillero'. Las devoluciones de la venta se consideran el factor más importante dentro del árbol de pérdidas que impactan al capital de trabajo de la empresa.

mes	Peso total Kgs	Ventas total USD	Peso Total Kgs	Devolucio nes USD	Ventas cantidad	Devolu ción cantida d	Ingreso (USD) / Kgs	Devolució n (USD)/Kgs	% de Devolu ción
ene-10	6,408	\$ 11,149	793	\$ 1,656	15,181	2,452	\$ 1.74	\$ 2.09	16%
feb-10	8,033	\$ 15,074	751	\$ 1,529	19,509	2,142	\$ 1.88	\$ 2.04	11%
mar-10	9,669	\$ 18,269	998	\$ 1,937	23,528	2,288	\$ 1.89	\$ 1.94	10%
abr-10	9,876	\$ 18,241	1,037	\$ 1,990	23,829	2,508	\$ 1.85	\$ 1.92	11%
may-10	9,693	\$ 17,511	1,512	\$ 2,875	23,280	3,492	\$ 1.81	\$ 1.90	15%
jun-10	7,500	\$ 12,461	1,034	\$ 1,933	17,159	2,434	\$ 1.66	\$ 1.87	14%
jul-10	7,598	\$ 12,655	1,043	\$ 1,954	17,487	2,332	\$ 1.67	\$ 1.87	13%
ago-10	7,776	\$ 13,036	1,036	\$ 1,964	17,406	2,354	\$ 1.68	\$ 1.90	14%
sep-10	11,881	\$ 22,221	1,738	\$ 3,402	27,643	3,556	\$ 1.87	\$ 1.96	13%
oct-10	12,759	\$ 24,326	1,765	\$ 3,587	29,560	3,816	\$ 1.91	\$ 2.03	13%
nov-10	12,657	\$ 24,965	1,453	\$ 2,980	28,366	3,063	\$ 1.97	\$ 2.05	11%
dic-10	17,774	\$ 40,504	1,739	\$ 3,661	38,338	3,758	\$ 2.28	\$ 2.11	10%
ene-11	11,096	\$ 21,612	2,113	\$ 4,551	26,269	4,536	\$ 1.95	\$ 2.15	17%
feb-11	11,432	\$ 21,022	1,411	\$ 2,940	25,278	3,048	\$ 1.84	\$ 2.08	12%
mar-11	11,130	\$ 21,925	1,519	\$ 3,117	27,427	3,174	\$ 1.97	\$ 2.05	12%
abr-11	13,041	\$ 27,480	1,507	\$ 3,353	29,031	3,036	\$ 2.11	\$ 2.23	10%
may-11	12,862	\$ 29,416	1,261	\$ 2,867	30,814	2,456	\$ 2.29	\$ 2.27	8%
jun-11	17,969	\$ 31,154	1,436	\$ 3,407	29,152	2,994	\$ 1.73	\$ 2.37	10%
jul-11	17,147	\$ 32,026	2,159	\$ 5,217	31,193	4,640	\$ 1.87	\$ 2.42	15%
ago-11	17,016	\$ 32,607	1,668	\$ 3,976	30,591	3,507	\$ 1.92	\$ 2.38	11%
sep-11	11,304	\$ 26,594	2,101	\$ 5,110	28,663	4,342	\$ 2.35	\$ 2.43	15%
oct-11	12,545	\$ 29,580	2,481	\$ 5,871	31,050	5,140	\$ 2.36	\$ 2.37	17%
nov-11	11,810	\$ 28,685	1,902	\$ 4,601	28,889	4,100	\$ 2.43	\$ 2.42	14%
dic-11	17,471	\$ 47,689	3,635	\$ 9,319	39,766	7,728	\$ 2.73	\$ 2.56	19%
ene-12	9,078	\$ 22,056	2,174	\$ 4,810	23,871	5,104	\$ 2.43	\$ 2.21	21%

feb-12	8,892	\$ 21,656	2,176	\$ 5,091	23,584	5,375	\$ 2.44	\$ 2.34	23%
mar-12	10,073	\$ 24,324	2,935	\$ 6,815	26,751	6,438	\$ 2.41	\$ 2.32	24%
abr-12	10,481	\$ 25,760	2,262	\$ 4,968	30,878	4,854	\$ 2.46	\$ 2.20	16%
may-12	10,589	\$ 25,809	2,639	\$ 5,833	29,599	5,690	\$ 2.44	\$ 2.21	19%
jun-12	10,636	\$ 25,491	1,841	\$ 3,916	28,016	4,348	\$ 2.40	\$ 2.13	16%
jul-12	10,503	\$ 25,347	2,109	\$ 4,477	28,260	4,681	\$ 2.41	\$ 2.12	17%
ago-12	10,445	\$ 24,976	2,452	\$ 5,136	27,816	5,386	\$ 2.39	\$ 2.09	19%
sep-12	10,119	\$ 24,569	2,162	\$ 4,644	26,683	4,743	\$ 2.43	\$ 2.15	18%
oct-12	11,048	\$ 28,368	2,479	\$ 5,291	29,044	5,350	\$ 2.57	\$ 2.13	18%
nov-12	11,886	\$ 30,890	2,677	\$ 5,877	30,457	5,796	\$ 2.60	\$ 2.20	19%
dic-12	19,479	\$ 55,251	3,400	\$ 7,658	45,571	7,281	\$ 2.84	\$ 2.25	16%
ene-13	11,406	\$ 26,639	1,957	\$ 4,935	27,625	4,476	\$ 2.34	\$ 2.52	16%
feb-13	9,637	\$ 22,945	2,746	\$ 6,858	24,496	5,942	\$ 2.38	\$ 2.50	24%
mar-13	10,568	\$ 24,789	3,054	\$ 7,314	26,390	6,380	\$ 2.35	\$ 2.40	24%
abr-13	10,232	\$ 24,455	2,146	\$ 5,138	26,208	4,608	\$ 2.39	\$ 2.39	18%
may-13	11,618	\$ 26,948	2,631	\$ 6,113	28,605	5,322	\$ 2.32	\$ 2.32	19%
jun-13	9,856	\$ 23,303	2,023	\$ 4,693	25,185	4,092	\$ 2.36	\$ 2.32	16%
jul-13	10,249	\$ 24,481	1,826	\$ 4,317	26,801	3,926	\$ 2.39	\$ 2.36	15%
ago-13	10,683	\$ 25,400	1,571	\$ 3,672	27,848	3,328	\$ 2.38	\$ 2.34	12%
sep-13	11,057	\$ 26,444	1,429	\$ 3,473	28,661	3,080	\$ 2.39	\$ 2.43	11%
oct-13	10,384	\$ 25,701	1,661	\$ 3,995	28,336	3,554	\$ 2.48	\$ 2.41	13%
nov-13	9,836	\$ 24,829	1,631	\$ 4,060	25,370	3,384	\$ 2.52	\$ 2.49	13%
dic-13	13,523	\$ 38,261	2,301	\$ 5,579	32,531	4,702	\$ 2.83	\$ 2.42	14%
ene-14	10,774	\$ 26,526	2,904	\$ 6,541	27,621	6,993	\$ 2.46	\$ 2.25	25%
feb-14	10,342	\$ 25,684	2,313	\$ 5,368	26,418	5,581	\$ 2.48	\$ 2.32	21%
mar-14	10,797	\$ 27,414	2,992	\$ 6,846	28,025	6,740	\$ 2.54	\$ 2.29	24%
abr-14	9,508	\$ 22,846	2,400	\$ 5,480	23,783	5,431	\$ 2.40	\$ 2.28	23%
may-14	9,260	\$ 22,167	2,594	\$ 5,859	23,338	5,695	\$ 2.39	\$ 2.26	24%
jun-14	9,232	\$ 22,061	2,790	\$ 6,166	23,158	6,300	\$ 2.39	\$ 2.21	27%
jul-14	8,883	\$ 21,661	3,177	\$ 6,951	23,297	6,726	\$ 2.44	\$ 2.19	29%
ago-14	9,274	\$ 22,597	3,541	\$ 7,778	24,322	7,743	\$ 2.44	\$ 2.20	32%
sep-14	8,977	\$ 21,930	3,002	\$ 6,554	23,841	6,406	\$ 2.44	\$ 2.18	27%
oct-14	8,185	\$ 20,575	2,421	\$ 5,267	22,464	5,361	\$ 2.51	\$ 2.18	24%
nov-14	7,747	\$ 20,248	2,352	\$ 5,274	20,762	5,176	\$ 2.61	\$ 2.24	25%
dic-14	10,696	\$ 29,513	2,031	\$ 4,521	26,511	4,284	\$ 2.76	\$ 2.23	16%

*Figura 4.12 Resumen de Ventas y Devoluciones mensual 2010-2014

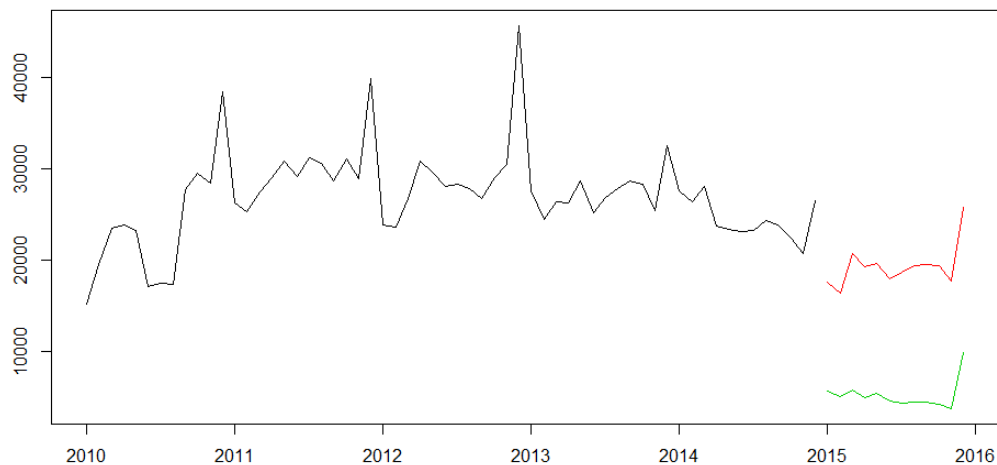
En la siguiente tabla podemos encontrar las cifras resumidas por año:

Año	Peso total Kgs	Ventas total USD	Peso Total Kgs	Devolución USD	Ventas cantidad	Devolución cantidad	Ingreso (USD) / Kgs	Devolución (USD)/Kgs	% de Devolución
2010	121,624	\$ 230,413	14,897	\$ 29,467	281,286	34,195	\$ 1.89	\$ 1.98	12%
2011	164,823	\$ 349,790	23,194	\$ 54,328	358,123	48,701	\$ 2.12	\$ 2.34	14%
2013	133,228	\$ 334,496	29,306	\$ 64,517	350,530	65,046	\$ 2.51	\$ 2.20	19%
2012	129,049	\$ 314,196	24,977	\$ 60,146	328,056	52,794	\$ 2.43	\$ 2.41	16%
2014	113,675	\$ 283,224	32,518	\$ 72,605	293,540	72,436	\$ 2.49	\$ 2.23	25%

*Figura 4.13 Resumen de Ventas y Devoluciones anual 2010-2014

En la tabla descrita, claramente se aprecia un incremento porcentual de las devoluciones en proporción a las ventas realizadas a través del tiempo.

Basándonos en la política del 10 % de tolerancia previamente definida por el modelo univariado aplicado a la región de estudio, La política de cobertura de sobre disponibilidad de producto entregado, indica el siguiente forecast:

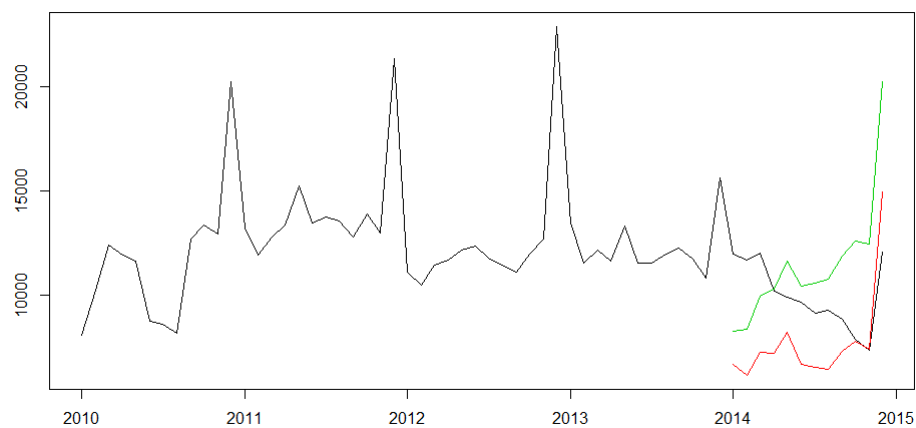


*Figura 4.14 Pronóstico 2015 aplicado para la zona `El Astillero\_ de la categoría `Molde_.

De esta manera podemos anticipar un volumen de 232,261 unidades para el 2015, siendo 293,540 unidades las ventas en el 2014.

Podemos verificar la efectividad del modelo de pronóstico, llevando 1 año hacia atrás el modelo y comparándolo con el histórico de ventas. Esto quiere decir pronosticar el año 2014 basándose en la serie 2010-2013 para luego verificar la asertividad del forecast del modelo de pronóstico con la venta real.

Para efectos de este análisis se considera la categoría Molde, ya que es el volumen más representativo para la venta (verificar tabla adjunta 4.3.1)



*Figura 4.15 Asertividad del modelo de pronóstico 2014 aplicado a zona `El Astillero\_ de la categoría `Molde_.

El volumen total vendido de la categoría Molde en el 2014 fue de 120,009 unidades mientras que el volumen acorde al modelo de pronóstico indica 136,151 unidades, concluyendo un acierto del 88.14%.

Total Devoluciones 2014 de la categoría `Molde_	Propuesta de minimización de Devoluciones de la categorías `Molde_
1,553,256 unidades	931,953 unidades
791,981 KGS	475,188 KGS
\$1,211,539 USD	\$726,923 USD

*Figura 4.16 Tabla comparativa entre situación actual y Políticas de restricción aplicables a la distribución.

Con esta herramienta, sería posible minimizar el nivel de devoluciones en un 40.01% teniendo un impacto favorable de hasta \$484,000 USD al año para la categoría de Molde tomando en consideración un total de 1,553,256 unidades en devoluciones para la ciudad de Guayaquil a un costo unitario de \$0.78USD.

El segundo factor a mejorar en este caso de estudio corresponde al nivel de servicio para lo que se procede a cuantificar el nivel de servicio en porcentaje de cumplimiento de los pedidos solicitados (In Full).

Se elige este tipo de indicador debido a que en una situación como la definida (utilización de flota "tercerizada") el principal incentivo que mueve la operación es la maximización de cumplimiento del presupuesto de ventas en capital monetario, de esta manera las ventas se enfocan para los pedidos de mayor volumen únicamente en ciertos periodos del mes. Este efecto se genera durante el final de la segunda quincena del mes debido al flujo de liquidez de cada cliente en particular, muy comúnmente situado al final de cada ejercicio mensual (phase-in).

El principal motivo de la implementación de un modelo de ruteo basado en programación entera mixta no es eliminar a los distribuidores subcontratados que la empresa utiliza en la actualidad, sino añadir una fase en el proceso que garantice el cumplimiento del recorrido de la zona estudiada.

La recopilación de datos es fundamental en esta etapa del proceso, ya que es necesario contar con la infraestructura adecuada para atender los pedidos requeridos por cada zona. Existe una gestión de contact center utilizada en la fuerza de venta en toda industria de bebidas y alimentos que se encarga de

receptar los pedidos acorde con los canales de comunicación desarrollados por cada empresa en particular.

La propuesta de trabajo aplica a la orientación de un comportamiento proactivo antes que reactivo. Dado que se cuenta con el historial de pedidos, el comportamiento de la demanda debe de ser cada vez más predecible, para que a su vez se planifique los días de stock necesarios para cumplir con el sistema a proponer.

Tomar en cuenta que el indicador de gestión mencionado:

$$INFULL = \frac{Volumen.de.pedidos.entregados}{Volumen.de.depedidos.solicitados}$$

A través de este indicador en términos de porcentaje el nivel de cumplimiento de las entregas planificadas.

El modelo de programación entera mixta debe de ser apto para ser gestionado día a día en función de la recepción de cada pedido, para lo que se debe establecer políticas de entrega de hasta 48 horas luego de la elaboración del requerimiento.

Se debe de categorizar los tipos de clientes en base a su nivel de facturación mensual con la finalidad de balancear la delimitación de zonas en base al peso de los clientes asignados.

Las distancias Euclidiana y Manhattan han sido empleadas entre los puntos a visitar, para hacer una comparación en la calidad de las respuestas dado que la selección de ruta que genera la empresa actualmente es bastante similar a la parametrización de la distancia Manhattan.

Siendo el CPLEX la heurística utilizada para resolver un problema de programación entera mixta (MIP) en el software GAMS. La secuencia entre los 30 puntos a visitar es la siguiente:

Distancia Euclidiana:

{1,2,24,25,23,21,22,29,30,27,26,28,16,18,17,13,7,8,15,19,20,11,14,12,9,6,5,4,10,3,1}



*Figura 4.17 Ruta definida con parametrización de Distancias Euclidianas.

Distancia Manhattan:

{1,2,21,22,23,25,24,29,30,27,26,28,17,16,18,19,7,8,15,12,14,19,20,11,9,6,5,10,3,4,1}



*Figura 4.18 Ruta definida con parametrización de Distancias Manhattan.

Comparando las 2 rutas, caemos en cuenta que la secuencia euclidiana sigue dando mejor calidad de respuesta tomando un grafo bidireccional en el que no se considera el sentido de las calles, y que la distancia recorrida entre un Punto A hacia el B, es el mismo recorrido desde B hasta A.

La utilización de la distancia Manhattan frente a la distancia Euclidiana, no otorga valor agregado alguno ante la calidad de respuesta en este caso de estudio, ambas medidas pueden ser utilizadas, puesto que lo necesario es que el modelo arroje una secuencia coherente.

En ambos casos el *INFULL* corresponden a un cumplimiento del 100% ya que en los 2 casos se realizan todas las entregas son realizadas dentro de la jornada laboral.

Es bastante curioso de a pesar de encontrar similitudes con la distancia Manhattan, se generen faltantes de cumplimientos durante la gestión del autoservicio, claramente se evidencia falta de supervisión al cumplimiento de la ruta. Por lo que se sugiere utilizar un indicador de adherencia a la secuencia propuesta durante la fase de implementación.

Más allá de encontrar una ligera mejora en la calidad de respuesta (menor costo operativo), es beneficioso para este caso de estudio, no considerar los parámetros de capacidad del vehículo si en un caso se quisiera obtener la solución del GAMS en menos de 15 minutos, por consiguiente se puede relajar el problema sin alterar los resultados de la ruta.

CAPÍTULO 5

5.1 Conclusiones y Análisis de la Metodología

En este proyecto se ha implementado 2 herramientas de manera versátil para hallar una posible solución a un caso complejo de estudio.

El pronóstico en la demanda del área seleccionada ha sido implementado con la finalidad de obtener una política de restricción respecto a las cantidades a repartir. De esta manera, logramos restringir significativamente el número de devoluciones de producto terminado por posible caducidad basado en el consumo del área seleccionada para análisis.

Una metodología de forecast aplicable en empresas de manufactura, es el *S&OP_ Sales and Operations Integration* (George E. Palmatier, Collen Crum Enterprise Sales and Operations Planning. 2004). Esta metodología de trabajo busca sincronizar el análisis técnico con el análisis fundamental de los diferentes factores que impactan la utilidad del negocio.

Un concepto fundamental de esta metodología es la validación del pronóstico proyectado en base a los históricos vs. El criterio de Ventas en función a proyectos o variables no cuantificables.

El objetivo de esta metodología es alinear los diferentes departamentos de la empresa en un solo número u objetivo en común, de esta manera se limita las posibilidades de genera sobre stock o stock faltante para la venta, ambos casos impactando o en el costo de capital de trabajo o en el nivel de servicio.

La otra herramienta implementada busca no desatender los puntos de ventas correspondientes a la ruta a recorrer. Guardando un orden en la secuencia real del recorrido y limitando la posibilidad de errores dados por el factor humano.

En este modelo de programación matemática se ha `relajado_ el problema, con ciertos parámetros que no afectan de manera relevante a la solución propuesta. Existen un óptimo global en este tipo de problemas, pero a su vez es teóricamente desconocido. Considerando este criterio, no se ha tomado en cuenta la dirección y densidad del tránsito vehicular y peatonal, es posible añadir este tipo de parámetros a la programación (revisar recomendaciones Capítulo 4). Es necesario recalcar la necesidad de desarrollar un indicador de desempeño en el que se buscará verificar el cumplimiento de entrega de las cantidades asignadas a cada punto de venta.

5.2 Recomendaciones

Si se considera tomar en cuenta el siguiente caso de estudio para diversos análisis en los que se pretenda mejorar los resultados expuestos.

Se sugiere considerar los siguientes puntos para la fase 1 correspondiente a la etapa de pronóstico:

- Para un mejor análisis del área seleccionada, se sugiere tomar en consideración el número de habitantes por zona, de tal manera que sea posible obtener la densidad poblacional y estimar un índice de consumo.
- Se sugiere considerar la condición socio-económica del sector, ya que podría estimarse un mix de productos idóneos diversificando las categorías de productos.
- Se podría incurrir en el desarrollo de modelos de pronóstico multi-variados para un mejor análisis de las series de tiempo.

Se sugiere considerar los siguientes puntos para la fase 2 correspondiente al ruteo:

- Para considerar el sentido de las calles es necesario elaborar un mapa de nodos basado en una matriz de costo donde se no sean calculadas las distancias en función a su longitud euclidiana o Manhattan, sino en función al recorrido del vehículo ida y vuelta desde un punto a otro. Esto quiere decir que la medición de la arista desde un nodo A hasta un nodo B, no son la misma desde el mismo nodo B hasta el nodo A, debido al recorrido adicional necesario involucrado al sentido de la calle.
- Se puede considerar un escenario adicional con ventanas de tiempo, el cual requiere de un mayor esfuerzo en la etapa de levantamiento de información. Para este supuesto se debería considerar la velocidad media entre nodos influenciada por la densidad vehicular de la zona y el tiempo en atención requerido en cada punto de venta.
- Es necesario elaborar indicadores de gestión para la medición de factibilidad de las rutas propuestas por GAMS o el software implementado, de esta manera se puede considerar de manera más concreta la inclusión o exclusión de los factores y parámetros.
- Es posible elaborar una aplicación en la que se cuente con algoritmos genéticos u otra metaheurística para el desarrollo de una posible mejor respuesta, en este caso se utilizó el GAMS debido a que las respuestas brindadas son lo suficientemente satisfactorias.

FUENTES BIOGRAFICAS:

INTRODUCCIÓN

Jim Collins. Empresas que Caen y Por Que Otras Sobreviven. 2011

Capítulo 2

Holt, C C. F. Modigliani, J. F. Muth AndH. A. Simon. Planning Production Inventories and Work Force. 1960.

John E. Hanke, Dean W. Wichern. Business Forecasting. Eight Edition. 2005 - Chapter Four-Chapter Eight-.

Oliver Duncan Anderson, Time series analysis and forecasting The Box-Jenkins approach, 1976

Capítulo 3

Enrique Castillo, Antonio J. Conejo, Pablo Pedregal, Ricardo García y Natalia Alguacil. Formulación y Resolución de Modelos Matemáticos en Ingeniería y Ciencia. 2002.

K.Aardal, G.L. Nemhauser, R.Weismantel, Discrete Optimization, 2005

Julio Mario Daza, Jairo R. Montoya, Francesco Narducci. Resolución del Problema de Enrutamiento de Vehículos con Limitaciones de Capacidad Utilizando un

Procedimiento Metaheuristico de dos Fases. Revista EIA, ISSN 1794-1237
Número 12, p. 23-38. Diciembre 2009 Escuela de Ingeniería de Antioquia.

Walter Rudin, *Principles of Mathematical Analysis (Third Edition)*, (1976) McGraw-Hill

Rosenthal (1988). "Chapter 2: A GAMS Tutorial". GAMS: A User's Guide. The Scientific Press, Redwood City, California.

Capítulo 5

Sales and Operations Integration (George E. Palmatier, Collen Crum Enterprise Sales and Operations Planning. 2004)

ANEXOS:

4.1.2 Volumen de consumo en Kilos por categoría de productos (Astillero)

Mes	Bolleria	Integral	Laminado	Molde	Multicereal	Total
ene-10	403	302	54	4275	212	5247
feb-10	523	587	63	5084	469	6726
mar-10	674	602	57	6089	507	7928
abr-10	961	577	35	6030	584	8186
may-10	953	447	51	5615	430	7495
jun-10	837	332	65	4526	227	5986
jul-10	870	328	29	4455	227	5909
ago-10	892	333	24	4224	285	5757
sep-10	1210	636	50	6115	808	8819
oct-10	1440	710	59	6406	701	9316
nov-10	1349	863	39	6322	708	9280
dic-10	1119	640	27	9912	499	12197
ene-11	1036	815	27	5867	647	8392
feb-11	1033	922	57	5680	426	8118
mar-11	1031	940	77	5971	574	8595
abr-11	1212	991	15	6347	638	9188
may-11	1151	911	44	7713	659	10478
jun-11	1164	782	77	6614	482	9118
jul-11	1407	809	70	6260	519	9066
ago-11	1155	809	56	6413	710	9143
sep-11	964	601	97	5991	568	8223
oct-11	1057	817	108	6114	455	8551
nov-11	960	640	99	6013	508	8221
dic-11	1018	476	22	8978	242	10737
ene-12	962	777	50	6196	548	8534
feb-12	692	638	42	4595	188	6155
mar-12	666	632	32	4945	390	6666
abr-12	972	617	84	5181	355	7208
may-12	813	630	90	6114	441	8086
jun-12	746	498	50	5334	369	6996
jul-12	1011	670	79	5194	470	7427
ago-12	991	736	76	5635	576	8013
sep-12	1023	903	89	5828	724	8567
oct-12	709	785	48	5386	683	7613
nov-12	681	676	45	4949	604	6956
dic-12	644	419	62	6945	421	8493
ene-13	577	554	73	4576	287	6069
feb-13	727	567	34	4137	391	5856
mar-13	618	572	39	4528	381	6138

abr-13	799	566	78	5126	395	6963
may-13	769	542	73	5088	383	6855
jun-13	801	595	76	5807	510	7788
jul-13	806	572	86	5158	626	7248
ago-13	923	517	27	4768	614	6848
sep-13	915	627	85	4799	496	6922
oct-13	844	536	93	5223	537	7232
nov-13	1130	554	106	5504	440	7734
dic-13	1123	579	89	10289	367	12448
ene-14	1017	571	115	4753	354	6809
feb-14	907	636	113	5059	386	7102
mar-14	934	599	146	4700	451	6829
abr-14	1325	290	96	4489	92	6293
may-14	1169	305	115	4182	71	5841
jun-14	1092	358	64	4010	106	5631
jul-14	1045	374	95	3149	139	4801
ago-14	1126	351	93	3120	129	4818
sep-14	1196	304	80	3301	131	5013
oct-14	1067	410	128	2957	164	4725
nov-14	868	256	72	2878	132	4205
dic-14	822	271	76	5565	14	6747

4.3.1 Volumen total Ventas y Devoluciones (Astillero)

Mes	Ventas total USD	Peso Total Kgs	Devoluciones USD	Peso Total Kgs	Ventas cantidad	Devolución cantidad	Ingreso (USD) / Kgs	Devolución (USD)/Kgs	% de Devolución
ene-10	\$ 11,149	6,408	\$ 1,656	793	15,181	2,452	\$ 0.57	\$ 0.48	16%
feb-10	\$ 15,074	8,033	\$ 1,529	751	19,509	2,142	\$ 0.53	\$ 0.49	11%
mar-10	\$ 18,269	9,669	\$ 1,937	998	23,528	2,288	\$ 0.53	\$ 0.52	10%
abr-10	\$ 18,241	9,876	\$ 1,990	1,037	23,829	2,508	\$ 0.54	\$ 0.52	11%
may-10	\$ 17,511	9,693	\$ 2,875	1,512	23,280	3,492	\$ 0.55	\$ 0.53	15%
jun-10	\$ 12,461	7,500	\$ 1,933	1,034	17,159	2,434	\$ 0.60	\$ 0.53	14%
jul-10	\$ 12,655	7,598	\$ 1,954	1,043	17,487	2,332	\$ 0.60	\$ 0.53	13%
ago-10	\$ 13,036	7,776	\$ 1,964	1,036	17,406	2,354	\$ 0.60	\$ 0.53	14%
sep-10	\$ 22,221	11,881	\$ 3,402	1,738	27,643	3,556	\$ 0.53	\$ 0.51	13%
oct-10	\$ 24,326	12,759	\$ 3,587	1,765	29,560	3,816	\$ 0.52	\$ 0.49	13%
nov-10	\$ 24,965	12,657	\$ 2,980	1,453	28,366	3,063	\$ 0.51	\$ 0.49	11%
dic-10	\$ 40,504	17,774	\$ 3,661	1,739	38,338	3,758	\$ 0.44	\$ 0.47	10%
ene-11	\$ 21,612	11,096	\$ 4,551	2,113	26,269	4,536	\$ 0.51	\$ 0.46	17%
feb-11	\$ 21,022	11,432	\$ 2,940	1,411	25,278	3,048	\$ 0.54	\$ 0.48	12%
mar-11	\$ 21,925	11,130	\$ 3,117	1,519	27,427	3,174	\$ 0.51	\$ 0.49	12%
abr-11	\$ 27,480	13,041	\$ 3,353	1,507	29,031	3,036	\$ 0.47	\$ 0.45	10%
may-11	\$ 29,416	12,862	\$ 2,867	1,261	30,814	2,456	\$ 0.44	\$ 0.44	8%

**REDISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE DISTRIBUCIÓN
DE UNA EMPRESA DE PRODUCTOS
PERECEDEROS DE CONSUMO MASIVO EN LA
CIUDAD DE GUAYAQUIL**

**MAGISTER EN CONTROL DE
OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA**

jun-11	\$ 31,154	17,969	\$ 3,407	1,436	29,152	2,994	\$ 0.58	\$ 0.42	10%
jul-11	\$ 32,026	17,147	\$ 5,217	2,159	31,193	4,640	\$ 0.54	\$ 0.41	15%
ago-11	\$ 32,607	17,016	\$ 3,976	1,668	30,591	3,507	\$ 0.52	\$ 0.42	11%
sep-11	\$ 26,594	11,304	\$ 5,110	2,101	28,663	4,342	\$ 0.43	\$ 0.41	15%
oct-11	\$ 29,580	12,545	\$ 5,871	2,481	31,050	5,140	\$ 0.42	\$ 0.42	17%
nov-11	\$ 28,685	11,810	\$ 4,601	1,902	28,889	4,100	\$ 0.41	\$ 0.41	14%
dic-11	\$ 47,689	17,471	\$ 9,319	3,635	39,766	7,728	\$ 0.37	\$ 0.39	19%
ene-12	\$ 22,056	9,078	\$ 4,810	2,174	23,871	5,104	\$ 0.41	\$ 0.45	21%
feb-12	\$ 21,656	8,892	\$ 5,091	2,176	23,584	5,375	\$ 0.41	\$ 0.43	23%
mar-12	\$ 24,324	10,073	\$ 6,815	2,935	26,751	6,438	\$ 0.41	\$ 0.43	24%
abr-12	\$ 25,760	10,481	\$ 4,968	2,262	30,878	4,854	\$ 0.41	\$ 0.46	16%
may-12	\$ 25,809	10,589	\$ 5,833	2,639	29,599	5,690	\$ 0.41	\$ 0.45	19%
jun-12	\$ 25,491	10,636	\$ 3,916	1,841	28,016	4,348	\$ 0.42	\$ 0.47	16%
jul-12	\$ 25,347	10,503	\$ 4,477	2,109	28,260	4,681	\$ 0.41	\$ 0.47	17%
ago-12	\$ 24,976	10,445	\$ 5,136	2,452	27,816	5,386	\$ 0.42	\$ 0.48	19%
sep-12	\$ 24,569	10,119	\$ 4,644	2,162	26,683	4,743	\$ 0.41	\$ 0.47	18%
oct-12	\$ 28,368	11,048	\$ 5,291	2,479	29,044	5,350	\$ 0.39	\$ 0.47	18%
nov-12	\$ 30,890	11,886	\$ 5,877	2,677	30,457	5,796	\$ 0.38	\$ 0.46	19%
dic-12	\$ 55,251	19,479	\$ 7,658	3,400	45,571	7,281	\$ 0.35	\$ 0.44	16%
ene-13	\$ 26,639	11,406	\$ 4,935	1,957	27,625	4,476	\$ 0.43	\$ 0.40	16%
feb-13	\$ 22,945	9,637	\$ 6,858	2,746	24,496	5,942	\$ 0.42	\$ 0.40	24%
mar-13	\$ 24,789	10,568	\$ 7,314	3,054	26,390	6,380	\$ 0.43	\$ 0.42	24%
abr-13	\$ 24,455	10,232	\$ 5,138	2,146	26,208	4,608	\$ 0.42	\$ 0.42	18%
may-13	\$ 26,948	11,618	\$ 6,113	2,631	28,605	5,322	\$ 0.43	\$ 0.43	19%
jun-13	\$ 23,303	9,856	\$ 4,693	2,023	25,185	4,092	\$ 0.42	\$ 0.43	16%
jul-13	\$ 24,481	10,249	\$ 4,317	1,826	26,801	3,926	\$ 0.42	\$ 0.42	15%
ago-13	\$ 25,400	10,683	\$ 3,672	1,571	27,848	3,328	\$ 0.42	\$ 0.43	12%
sep-13	\$ 26,444	11,057	\$ 3,473	1,429	28,661	3,080	\$ 0.42	\$ 0.41	11%
oct-13	\$ 25,701	10,384	\$ 3,995	1,661	28,336	3,554	\$ 0.40	\$ 0.42	13%
nov-13	\$ 24,829	9,836	\$ 4,060	1,631	25,370	3,384	\$ 0.40	\$ 0.40	13%
dic-13	\$ 38,261	13,523	\$ 5,579	2,301	32,531	4,702	\$ 0.35	\$ 0.41	14%
ene-14	\$ 26,526	10,774	\$ 6,541	2,904	27,621	6,993	\$ 0.41	\$ 0.44	25%
feb-14	\$ 25,684	10,342	\$ 5,368	2,313	26,418	5,581	\$ 0.40	\$ 0.43	21%
mar-14	\$ 27,414	10,797	\$ 6,846	2,992	28,025	6,740	\$ 0.39	\$ 0.44	24%
abr-14	\$ 22,846	9,508	\$ 5,480	2,400	23,783	5,431	\$ 0.42	\$ 0.44	23%
may-14	\$ 22,167	9,260	\$ 5,859	2,594	23,338	5,695	\$ 0.42	\$ 0.44	24%
jun-14	\$ 22,061	9,232	\$ 6,166	2,790	23,158	6,300	\$ 0.42	\$ 0.45	27%
jul-14	\$ 21,661	8,883	\$ 6,951	3,177	23,297	6,726	\$ 0.41	\$ 0.46	29%
ago-14	\$ 22,597	9,274	\$ 7,778	3,541	24,322	7,743	\$ 0.41	\$ 0.46	32%
sep-14	\$ 21,930	8,977	\$ 6,554	3,002	23,841	6,406	\$ 0.41	\$ 0.46	27%
oct-14	\$ 20,575	8,185	\$ 5,267	2,421	22,464	5,361	\$ 0.40	\$ 0.46	24%
nov-14	\$ 20,248	7,747	\$ 5,274	2,352	20,762	5,176	\$ 0.38	\$ 0.45	25%
dic-14	\$ 29,513	10,696	\$ 4,521	2,031	26,511	4,284	\$ 0.36	\$ 0.45	16%

4.2.1 Modelización en software opensource `R`

```
> Molde<-ts(todo$Molde,frequency=12,start=c(2007,1))
> plot(ts(Molde))
>
> mm<-arima(Molde,c(1,1,0),c(1,1,1))
> mm
Series: Molde
ARIMA(1,1,0)(1,1,1)[12]

Coefficients:
          ar1          sar1          sma1
      -0.2903   -0.0687   -0.9993
s.e.    0.1438    0.2059    0.4444

sigma^2 estimated as 474279:  log likelihood=-384.06
AIC=776.12   AICc=777.08   BIC=783.53
> e<-residuals(mm)
> par(mfcol=c(1,2))
> acf(e)
> pacf(e)
> par(mfcol=c(1,1))
>
> p<-predict(mm,24)
> p
$pred
      Jan      Feb      Mar      Apr      May      Jun      Jul      Aug
2012 2125.676 1801.388 2197.711 2418.552 2788.504 2286.693 1903.820 1897.303
2013 1766.379 1521.560 1855.502 2049.732 2372.304 1893.402 1477.616 1469.576
      Sep      Oct      Nov      Dec
2012 2266.332 2303.668 2213.924 5474.337
2013 1825.684 1836.831 1747.824 4968.854

$se
      Jan      Feb      Mar      Apr      May      Jun      Jul
2012  770.9815  939.2622 1114.5620 1257.1847 1387.4548 1505.8970 1615.8447
2013 2193.5407 2282.8583 2370.6140 2454.7280 2536.1961 2615.0869 2691.6794
      Aug      Sep      Oct      Nov      Dec
2012 1718.7238 1815.8117 1907.9092 1995.9346 2079.6490
```

4.2.2 Modelización de Modelo de programación entera Mixta en software GAMS

```
variables
z

positive variables
L(i,u,k)

binary variables
x(i,j,u)
;

equation
chupapi
res1    que el nodo sea visitado una sola vez
res2    ecuacion de flujo del nodo
res3    Capacidad
res4    para definir el numero de rutas
res6    carga repartida camion despues primera visita
res7    Carga repartida por el camion despues de cada visita
res9
;

chupapi.. z=e=sum((i,j,u),x(i,j,u)*costos(i,j));
res1(i)$(ord(i)>2).. sum((j,u)$costos(i,j),x(i,j,u))=e=1;
res2(i,u)$(ord(i)>2).. sum(j$costos(j,i),x(j,i,u))=e=sum(j$costos(i,j),x(i,j,u));
res3(j,k).. sum((i),L(i,k)*volumen(k)) =l= capacidad;
res4.. sum((u,i)$costos(u,i),x(u,i,u))=l=1;
res9('1','2',j).. sum(i$costos(j,i),x('1',i,'2'))+sum(i$costos(i,j),x(i,'1','2'))=l=0;
res6(i,j,u,k)$(ord(i)>2 and costos(i,j))..L(i,u,k)+demanda(j,k)-L(j,u,k)=l=1000*(1-x(i,j,u));
res7(u,i,k)$(ord(i)>2 and ord(u)<2 and costos(u,i)).. demanda(i,k)-l(i,u,k)=l=1000*(1-x(u,i,u));
;
model    proyecto /all/
solve    proyecto minimizing z using mip
display x.l , z.l , L.l
```