

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
ESCUELA DE GRADUADOS

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA”

TEMA

OPTIMIZACIÓN DEL PLAN SEMANAL DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS
PERECEDEROS UTILIZANDO MODELOS MATEMÁTICOS

AUTORES

RICARDO ANDRÉS ITURRALDE ORELLANA

ALFREDO JOSÉ VARAS ORDÓÑEZ

Guayaquil- Ecuador

AÑO
2015

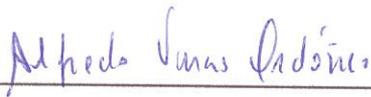
DEDICATORIA

A mi esposa que ha sido el pilar fundamental para poder alcanzar este nuevo objetivo.
A mi hijo, que es la inspiración para seguir avanzando día a día.

AVO

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, nos corresponden exclusivamente; el Patrimonio Intelectual del mismo, corresponde exclusivamente al **FCNM (Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas)** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

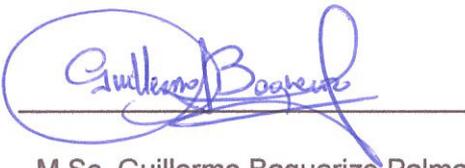


Ing. Alfredo Varas Ordóñez



Econ. Ricardo Iturralde Orellana

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



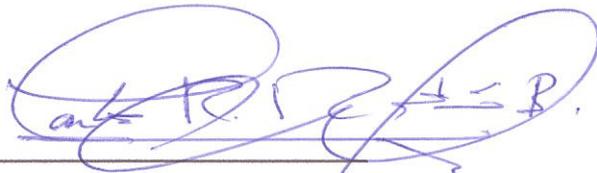
M.Sc. Guillermo Baquerizo Palma

PRESIDENTE DE TRIBUNAL



M.Sc. Carlos Cepeda de la Torre

DIRECTOR DE TESIS



M.Sc. Carlos Martín Barreiro

VOCAL DE TRIBUNAL

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
1 GENERALIDADES.....	10
1.1 ANTECEDENTES.....	10
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.6 METODOLOGÍA.....	13
2 PLANIFICACION DE LA PRODUCCION: PRINCIPALES CONCEPTOS.....	16
2.1 PRONÓSTICOS DE LA DEMANDA	16
2.1.1 <i>EL MÉTODO DE DELHOS (DELPHI)</i>	17
2.1.2 <i>ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO</i>	17
2.1.3 <i>ANALISIS DE REGRESIÓN</i>	18
2.1.4 <i>PROCESOS LINEALES ESTACIONAARIOS</i>	19
2.1.4.1 PROCESOS AUTORREGRESIVOS $AR(p)$	19
2.1.4.2 PROCESO AUTORREGRESIVO DE ORDEN 1 $AR(1)$:	19
2.1.4.3 PROCESO DE MEDIAS MÓVILES $MA(q)$	20
2.1.4.4 PROCESO DE MEDIA MÓVIL DE ORDEN 1 $MA(1)$:.....	20
2.1.5 <i>PROCESOS LINEALES NO ESTACIONAARIOS</i>	21
2.1.5.1 PROCESO AUTORREGRESIVO INTEGRADO Y DE MEDIA MÓVIL $ARIMA(p,d,q)$	21
2.1.5.2 CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE UN MODELO	22
2.2 OPTIMIZACIÓN.....	23
2.2.1 <i>PROGRAMACION LINEAL (LP)</i>	25
2.2.2 <i>PROGRAMACION LINEAL ENTERA MIXTA (MIP)</i>	26
2.2.3 <i>HEURISTICAS</i>	26
2.2.3.1 ALGORITMOS GENETICOS.....	26
2.2.3.2 EL ALGORITMO DE RECOCIDO SIMULADO.....	29
2.3 TRABAJOS DE OPTIMIZACIÓN PREVIOS	30

3	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	33
3.1	INTRODUCCIÓN	33
3.2	SITUACION ACTUAL.....	34
3.3	ANÁLISIS DE LOS DATOS	35
3.4	ANALISIS DE SERIES DE TIEMPO.....	36
3.4.1	<i>ANALISIS ROSQUITAS NATURALES</i>	<i>36</i>
3.4.2	<i>ANÁLISIS ROSQUITAS DE CEBOLLA</i>	<i>49</i>
3.5	DISEÑO DEL MODELO MATEMÁTICO	57
3.5.1	<i>LÍMITES DE PRODUCCIÓN</i>	<i>57</i>
3.5.2	<i>DATOS DE ENTRADA</i>	<i>58</i>
3.5.3	<i>ÍNDICES DEL MODELO.....</i>	<i>58</i>
3.5.4	<i>TABLAS Y PARÁMETROS.....</i>	<i>58</i>
3.5.5	<i>INFORMACIÓN DE ENTRADA PARA EL MODELO.....</i>	<i>59</i>
3.5.6	<i>PARÁMETROS ADICIONALES</i>	<i>63</i>
3.5.7	<i>VARIABLES DE DECISIÓN</i>	<i>64</i>
3.5.8	<i>FUNCIÓN OBJETIVO</i>	<i>65</i>
3.5.9	<i>RESTRICCIONES DEL MODELO.....</i>	<i>65</i>
3.6	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	66
3.6.1	<i>INFORME DE RESULTADOS</i>	<i>67</i>
3.7	ANÁLISIS.....	69
3.7.1	<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i>	<i>69</i>
3.7.2	<i>COMPARACIÓN CON ESQUEMA ACTUAL DE PRODUCCIÓN.....</i>	<i>72</i>
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
4.1	CONCLUSIONES.....	77
4.2	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFIA.....	82
	APENDICE	84
	COGIGO EN R	84
	PROGRAMACION EN GAMS.....	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Auto correlaciones de modelos propuestos para rosquitas naturales	42
Tabla 3-2: Pronósticos de modelos propuestos para rosquitas naturales	46
Tabla 3-3: Diferencia de Pronósticos de modelos propuestos para rosquitas naturales	48
Tabla 3-4: Comparación de modelos propuestos para las rosquitas de cebolla.	53
Tabla 3-5: Pronósticos de modelos propuestos para rosquitas de cebolla	55
Tabla 3-6: Diferencia de Pronósticos de modelos propuestos para rosquitas de cebolla.....	57
Tabla 3-7: Limites de producción (En unidades).....	57
Tabla 3-8: Índices del modelo	58
Tabla 3-9: Tablas y parámetros del modelo	59
Tabla 3-8: Información de entrada: Productos	60
Tabla 3-9: Información de entrada: Días de la semana	60
Tabla 3-10: Información de entrada: Clientes	61
Tabla 3-11: Información de entrada: Tipos de horario de Trabajo	61
Tabla 3-12: Costos Unitarios de Producción	62
Tabla 3-13: Días de atención del cliente	62
Tabla 3-14: Demanda por producto y por cliente	63
Tabla 3-15: parámetros adicionales del modelo.....	63
Tabla 3-16: Tablas de variables del modelo	64
Tabla 3-17: Pronóstico de la demanda	70

INDICE DE FIGURAS

Fig 3-1: Diagrama del proceso de producción (Preparación).....	34
Fig 3-2: Diagrama del proceso de producción (Empacado)	34
Fig 3-3: Demanda histórica de rosquitas naturales	37
Fig 3-4: Media semanal de demanda de rosquitas naturales.....	38
Fig 3-5: Análisis serie diferenciada para rosquitas naturales	39
Fig 3-6: Análisis serie diferenciada 2 veces para rosquitas naturales.....	39
Fig 3-7: Auto correlación serie diferenciada de rosquitas naturales.....	40
Fig 3-8: Auto correlación serie diferenciada 2 veces para rosquitas naturales	40
Fig 3-9: Auto correlación parcial serie diferenciada para rosquitas naturales ..	41
Fig 3-10: Auto correlación parcial serie diferenciada 2 veces para rosquitas naturales	41
Fig 3-11: Pronóstico de la serie de tiempo utilizando el modelo mn3 para rosquitas naturales.....	43
Fig 3-12: Pronóstico de la serie de tiempo utilizando el modelo mn4 para rosquitas naturales	43
Fig 3-13: Pronóstico de la serie de tiempo utilizando el modelo mn5 para rosquitas naturales	44
Fig 3-14: Auto correlaciones de los residuos del modelo mn3 para rosquitas naturales	45
Fig 3-15: Auto correlaciones de los residuos del modelo mn5 para rosquitas naturales	45
Fig 3-16: Rosquitas Naturales: Pronóstico Pn1 vs Datos Reales.....	46
Fig 3-17: Rosquitas Naturales: Pronóstico Pn2 vs Datos Reales.....	47
Fig 3-18: Rosquitas Naturales: Pronóstico Pn3 vs Datos Reales.....	47
Fig 3-19: Rosquitas Naturales: Pronóstico Pn4 vs Datos Reales.....	47
Fig 3-20: Rosquitas Naturales: Pronóstico Pn5 vs Datos Reales.....	48

Fig 3-21: Demanda histórica de rosquitas de cebolla	49
Fig 3-22: Media semanal de demanda de rosquitas de cebolla	50
Fig 3-23: Auto correlaciones de la demanda de rosquitas de cebolla	51
Fig 3-24: Auto correlaciones parciales de la demanda de rosquitas de cebolla	51
Fig 3-25: Auto correlaciones de la serie diferenciada de rosquitas de cebolla .	52
Fig 3-26: Auto correlaciones parciales de la serie diferenciada de rosquita de cebolla.....	53
Fig 3-27: Auto correlaciones del error del modelo m2 para rosquitas de cebolla	54
Fig 3-28: Pronóstico de la serie de tiempo de rosquitas de cebolla	55
Fig 3-29: Rosquitas de Cebolla: Pronóstico Pn1 vs Datos Reales.....	56
Fig 3-30: Rosquitas de Cebolla: Pronóstico Pn2 vs Datos Reales.....	56
Fig 3-31: Rosquitas de Cebolla: Pronóstico Pn3 vs Datos Reales.....	56
Fig 3-32: Implementación en GAMS del Modelo Matemático	67
Fig 3-33: Reporte web con resultados del modelo matemático	68
Fig 3-34: Herramienta de google: Tablas html	69
Fig 3-35: Herramienta de google: Histograma	69
Fig 3-36: Plan de Producción Semanal.....	70
Fig 3-37: Demanda vs Producción	71
Fig 3-38: Plan de Producción Semanal mediante uso del modelo.....	73
Fig 3-39: Demanda vs Producción (Semana de mayor demanda).....	74
Fig 3-40: Demanda atendida vs demanda no atendida para el Prod1	75

CAPÍTULO I

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En el Ecuador existen grandes empresas de consumo masivo las cuales han desarrollado esquemas de producción ordenados que les permiten reducir costos de operación, reducir tiempos y satisfacer la demanda a través de herramientas analíticas.

La industria de productos de consumo masivo es bastante amplia en el Ecuador ya que existen productos que ya se encuentran posicionados en el mercado dejando poco lugar para el ingreso de nuevas empresas, debido a las barreras de entrada generadas por los grandes distribuidores.

En este contexto las microempresas compiten en desventaja en relación con las empresas grandes ya establecidas ya que las condiciones de negociación como pago y distribución de la mercadería son bastantes restringidos; por lo que las medianas empresas y las microempresas también están adoptando formas para mejorar la planificación y así poder poner sus productos en las perchas de los supermercados mayoristas a tiempo a un menor costo sin afectar la calidad del producto.

Una de las formas para mejorar la productividad de una línea de producción, es establecer objetivos medibles para poder mejorar los tiempos de manufactura y reducir los costos de producción mediante nuevas tecnologías, inversión y nuevas formas de producir que sean más eficientes.

La realización de calendarios de producción basados en pronósticos de la demanda es una herramienta bastante interesante que no requiere de inversión

en nuevos activos y no requiere mucho tiempo para la implementación, es por eso que este tipo de mejoras es el más usual en empresas que no cuentan con capital para renovar tecnologías o tengan restricciones para expandir su capacidad de producción en el corto plazo.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creación de un buen del plan de producción es una de las etapas vitales en la empresa cuando se habla de la elaboración de un producto, y se vuelve crítica cuando la empresa no dispone de la cantidad de recursos necesarios para poder hacer frente a las distintas eventualidades que podrían presentarse cuando la misma no se realiza utilizando las herramientas adecuadas.

Cuando no se cuenta con un análisis del comportamiento de la demanda la empresa se ve afectada por problemas serios en el proceso productivo, ya que, al no tener una estimación de las necesidades, se presentan problemas de desabastecimiento y esto influye negativamente al momento de comenzar con la producción de los productos.

En el caso de la empresa en estudio, la cual se dedica a la producción de rosquitas, los problemas de planificación se pueden resumir en tres puntos clave, que son:

- Falta de abastecimientos de insumos para la fabricación
- Trabajos en horarios extendidos, lo cual genera un aumento de los costos de producción
- Ventas perdidas al no tener una visión clara de la demanda del mercado

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Dentro de una Industria muy competitiva y en un país donde los créditos son bastante rígidos a un costo que obliga a la empresa tener una rentabilidad mayor, entre el 12% al 15%, es vital buscar formas de mejoras que tengan tiempos de implementación cortos, con poca complejidad y al menor costo posible, generando ventajas comparativas con empresas similares y por tanto lograr una mejora en la competitividad.

Los productos de consumo masivo se manejan dentro de una industria en donde los márgenes de ganancia por unidad de producto son bajos, por lo que es importante tratar de cubrir la mayor parte de la demanda, debido a que las ganancias se perciben en los volúmenes de venta.

Las empresas que no manejan sistemas ERP (Enterprise Resource Planning.- Planificación de Recursos Empresariales) o MRP (Material Requirements Planning.- Planificación de Requerimientos de Material) tienen problemas para tener una visión amplia y clara del negocio, pero debido a que estas herramientas suelen ser costosas y de manejo algo complejo, es poco factible que las empresas pequeñas las adquieran.

Dado esto, y, que la empresa en estudio tiene problemas de quiebres de stock tanto en insumos como en producto final es importante tener un buen plan de producción que permita una planificación de compras de materias primas. Estos quiebres ocasionan una pérdida de ventas que se estima en alrededor de USD 21000,00 que representa el 12% de las ventas totales en el año.

Lo mencionado anteriormente hace que la empresa tome decisiones de realizar trabajos en turnos dobles para tratar de reducir el porcentaje de ventas perdidas ocasionadas durante la semana, lo que se traduce en un aumento de

costos de producción de un 27% a un 36%. Lo que reduce la utilidad bruta de un 51% a un 44%, disminuyendo la competitividad de la empresa.

Para resolver esta problemática, en el presente estudio se planteará un modelo de optimización que permita la planificación de la producción y la distribución hacia los clientes partiendo de un pronóstico de la demanda, para luego establecer una política eficiente de producción, priorizando la reducción de costos y garantizando la disponibilidad del producto.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Determinar un plan de producción semanal que indique cuándo y cuánto preparar de las diferentes variedades de rosquitas y como serán distribuidas para cada uno de los clientes

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En cuanto a los objetivos específicos que persigue este estudio se tiene:

- Definir un plan de producción semanal que satisfaga la demanda de los diversos clientes
- Incrementar el aprovechamiento de la capacidad de producción instalada

1.6 METODOLOGÍA.

En la presente tesis se desarrollará un modelo matemático que permita elaborar un calendario de producción semanal eficiente para más de un tipo de producto. Para esto se dividirá el estudio en dos fases principales, la primera corresponde al análisis y pronóstico de la demanda y la segunda al planteamiento y resolución del modelo de optimización.

Para la primera fase se realizará lo siguiente:

- Un levantamiento de información de datos históricos de la demanda por parte de los clientes que debe ser atendida por la fábrica.
- Un análisis estadístico para definir el mejor modelo que se adapte a los datos.

Para la segunda fase del problema (análisis y planteamiento del modelo)

- Una vez obtenida la demanda de los productos, se procederá a desarrollar un modelo de optimización que satisfaga las restricciones del proceso productivo. Se implementará dicho modelo en el software comercial GAMS (General Algebraic Modeling System)
- Se revisará y evaluará la actual política de producción y será comparada con los resultados obtenidos por el modelo desarrollado.

CAPÍTULO II

2 PLANIFICACION DE LA PRODUCCION: PRINCIPALES CONCEPTOS

2.1 PRONÓSTICOS DE LA DEMANDA

La primera fase de esta tesis se centra en realizar un pronóstico confiable de la demanda, para hacer esto se cuentan con varias herramientas analíticas que nos ofrecen formas de realizarlo en base a la información disponible.

Para abarcar lo que es un pronóstico de la demanda hay que entender que la demanda es la necesidad de bienes o servicios que los compradores están dispuestos a adquirir en un tiempo determinado a un precio específico, mientras que el pronóstico es una expectativa del futuro de lo que se cree que sería la realidad en base a condiciones establecidas, utilizando información histórica, y dentro de un rango de confianza.

Las técnicas generalmente aceptadas para la elaboración de pronósticos se dividen en cinco categorías:

- Juicio ejecutivo
- Encuestas
- Análisis de series de tiempo
- Análisis de regresión
- Pruebas de mercado.

La elección del método o métodos a utilizar, dependerá de los costos involucrados, del propósito del pronóstico, de la confiabilidad y consistencia de los datos históricos de ventas, del tiempo disponible para hacer el pronóstico, del tipo de producto, de las características del mercado, de la disponibilidad de la información necesaria, del grado de exactitud que se desea obtener en los resultados y de la pericia de los encargados de hacer el pronóstico. Lo usual es que las empresas combinen varias técnicas de pronóstico.

2.1.1 EL MÉTODO DE DELHOS (DELPHI)

Se contrata expertos que hacen pronósticos iniciales que la empresa promedia y les devuelve para refinar los estimados individuales. El procedimiento puede repetirse varias veces hasta cuando los expertos – los cuales trabajan por separado - lleguen a un consenso sobre los pronósticos.

2.1.2 ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO

Una Serie de Tiempo es una secuencia de observaciones de una variable aleatoria durante una serie de períodos de una misma duración y ordenados de manera cronológica. Generalmente la variable independiente es el tiempo y en este caso, el análisis consiste en identificar el patrón de comportamiento de la variable dependiente, en este caso ventas en el pasado y proyectarlo al futuro.

Se utilizan los datos históricos de ventas de la empresa para descubrir tendencias de tipo estacional, cíclico y aleatorio o errático. Es un método efectivo para productos de demanda razonablemente estable. Por medio de los promedios móviles se determina primero si hay presente un factor estacional. Con un sistema de regresión lineal simple se determina la línea de tendencia de los datos para establecer si hay presente un factor cíclico. El factor aleatorio estará presente si podemos atribuir un comportamiento errático a las ventas debido a acontecimientos aleatorios no recurrentes.

Al momento de analizar una serie de tiempo se debe tomar en cuenta 4 componentes o factores que influyen en la misma:

- **Tendencia (T).**- que representa la evolución ya sea creciente o decreciente del fenómeno a largo plazo
- **Variación cíclica (C).**- movimientos ascendentes y descendentes respecto de la tendencia con una duración mayor a un año.
- **Variación estacional (E).**- Patrones de cambio que se presentan en una serie de tiempo en un año, los cuales tienden a repetirse año a año.
- **Variación irregular o ruido (R).**- variaciones erráticas debido a factores imprevistos y no ocurrentes.

Considerando estos factores tenemos que la variable dependiente X_t se puede representar de la siguiente forma:

$$X_t = T_t + C_t + E_t + R_t$$

2.1.3 ANALISIS DE REGRESIÓN

Se trata de encontrar una relación entre las ventas históricas (variable dependiente) y una o más variables independientes, como población, ingreso per cápita o producto interno bruto (PIB). Este método puede ser útil cuando se dispone de datos históricos que cubren amplios períodos de tiempo. Este método es ineficaz para pronosticar las ventas de nuevos productos.

Es importante mencionar que no debe existir una auto correlación entre los residuos de la función, para explicar un poco mejor este tema se definirá la auto correlación de la siguiente forma: La auto correlación existe cuando los valores de una variable en el tiempo no son independientes entre sí, si no que

un valor determinado depende de los anteriores. En esta tesis se usan dos formas para medir esta dependencia que son:

- **Función de autocorrelación (ACF).** Mide la autocorrelación separada por n periodos. Permite encontrar patrones o tendencias repetitivas dentro de la serie de tiempo en estudio.
- **Función de autocorrelación parcial (PACF):** Mide la autocorrelación separadas por k periodos cuando no se considera la dependencia creada por los retardos intermedios existentes entre ambas.

2.1.4 PROCESOS LINEALES ESTACIONARIOS

2.1.4.1 PROCESOS AUTORREGRESIVOS AR(p)

Los modelos AR (autoregresivos) se basan en la idea de que el valor actual de la serie Y_t , puede explicarse en función n de valores pasados Y_{t-1}, \dots, Y_{t-n} , donde n determina el número de rezagos necesarios para pronosticar un valor actual. Está dado por:

$$x_t = \phi_0 + \phi_1 x_{t-1} + \dots + \phi_n x_{t-n} + \varepsilon_t$$

donde ε es un proceso de ruido blanco y ϕ son los parámetros del modelo

2.1.4.2 PROCESO AUTORREGRESIVO DE ORDEN 1 AR(1):

En los procesos de tipo AR(1) el valor actual de la serie está determinado únicamente por el valor pasado Y_{t-1} . Además que se supone que el proceso es no anticipante, es decir, el futuro no influye en el pasado.

Para verificar que el modelo es estacionario para cualquier valor del parámetro, es necesario probar las siguientes condiciones.

a) Estacionario en media

Para que el proceso sea estacionario, la media debe ser constante y finita en el tiempo.

b) Estacionario en covarianza

Para que un proceso sea estacionario, la varianza tiene que ser constante y finita en el tiempo.

2.1.4.3 PROCESO DE MEDIAS MÓVILES $MA(q)$

Modelo “determinados por una fuente externa”. Estos modelos suponen linealidad, el valor actual de la serie, está influenciado por los valores de la fuente externa.

2.1.4.4 PROCESO DE MEDIA MÓVIL DE ORDEN 1 $MA(1)$:

Los modelos de medias móviles determinan el valor actual x_t de en función de la innovación actual y su primer retardo.

Para verificar que el modelo es estacionario para cualquier valor del parámetro, es necesario probar las siguientes condiciones.

a) Estacionario en media

Para que el proceso sea estacionario, la media debe ser constante y finita en el tiempo.

b) Estacionario en covarianza

Para que un proceso sea estacionario, la varianza tiene que ser constante y finita en el tiempo.

2.1.5 PROCESOS LINEALES NO ESTACIONARIOS

2.1.5.1 PROCESO AUTORREGRESIVO INTEGRADO Y DE MEDIA MÓVIL *ARIMA(p,d,q)*

Los modelos de series de tiempo analizados hasta ahora se basan en el supuesto de estacionariedad esto es, la media y la varianza para una serie de tiempo son constantes en el tiempo y la covarianza es invariante en el tiempo. Pero se sabe que muchas series de tiempo y en especial las series económicas no son estacionarias, porque pueden ir cambiando de nivel en el tiempo o sencillamente la varianza no es constante en el tiempo, a este tipo de proceso se les considera procesos integrados. Por consiguiente, se debe diferenciar una serie de tiempo las veces necesaria para hacerla estacionaria y luego aplicarla a esta serie diferenciada un modelo $ARMA(p,q)$, es decir, la serie original es una serie de tiempo autoregresiva integrada de media móvil. Donde p denota el número de términos autoregresivos, d representa el número de veces que la serie debe ser diferenciada para hacerla estacionaria y q el número de términos de la media móvil invertible.

La construcción de los modelos $ARIMA(p,d,q)$ se lleva de manera iterativa mediante un proceso en el que se puede distinguir cuatro etapas:

- **Identificación.** Utilizando los datos ordenados cronológicamente se intentará identificar de una forma visual que tipo de modelo se utilizara. El objetivo es determinar los valores que sean apropiados para reproducir la serie de tiempo.

En esta etapa es posible identificar más de un modelo candidato que pueda describir la serie.

- **Estimación.** Considerando el modelo apropiado para la serie de tiempo se realiza inferencia sobre los parámetros.
- **Validación.** Se realizan contraste de diagnóstico para validar si el modelo seleccionado se ajusta a los datos, si no se ajusta, se procede a escoger el próximo modelo candidato y repetir los pasos anteriores.

- **Predicción.** Una vez seleccionado el mejor modelo candidato se pueden hacer pronósticos en términos probabilísticos de los valores futuros.

2.1.5.2 CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE UN MODELO

Para identificar si un modelo es ARIMA, usualmente se realiza un análisis gráfico de la serie y, adicionalmente, se comparan los patrones de la autocorrelación de la muestra, y la autocorrelación parcial de la muestra con patrones teóricos ya conocidos de los procesos ARIMA. En este proceso de selección existe cierta subjetividad en el análisis y, es posible, que dos o más modelos, luego de ser estimados y verificados, representen los datos de una forma adecuada. Si los modelos tienen el mismo número de parámetros, se elegirá el modelo con el error cuadrado medio menor. Cuando los modelos tengan distinto número de parámetros, la selección del modelo vendrá dada por el principio de parsimonia, el cual, seleccionará el modelo más sencillo.

Existe una metodología para la selección de modelos, la cual considera el ajuste del modelo y el número de parámetros:

- **Modelo de Información de Akaike (AIC).**- selecciona el modelo de un conjunto de modelos candidatos, como aquel que minimiza la siguiente expresión:

$$AIC = \ln \sigma^2 + \frac{2}{n} r$$

donde σ^2 : la varianza del error, n: el número de observaciones, r: le número de parámetros del modelo

- **Criterio de Bayesiano de Información (BIC).**- selecciona el modelo de un conjunto de modelos candidatos, como aquel que minimiza la siguiente expresión:

$$BIC = \ln \sigma^2 + \frac{\ln n}{n} r$$

donde σ^2 : la varianza del error, n: el número de observaciones, r: le número de parámetros del modelo

Ambos modelos, AIC y BIC, deben ser considerados como procedimientos adicionales que ayudan en la selección de un modelo, y no como sustitutos del análisis de las autocorrelaciones de la muestra y las autocorrelaciones parciales.

2.2 OPTIMIZACIÓN

Pierre de Fermat[3] y Joseph Louis Lagrange[2] encontraron cálculos basados en fórmulas identificadas como óptimas, mientras que Isaac Newton[4] y Carl Friedrich Gauss[5] propusieron métodos iterativos para el movimiento hacia un óptimo. Históricamente, el primer término para la optimización fue programación lineal, debido a George B. Dantzig[6], aunque mucho de la teoría había sido introducido por Leonid Kantorovich en 1939. Dantzig publicó el algoritmo Simplex (Simple) en 1947 y John von Neumann desarrolló la teoría de la dualidad en el mismo año.

El término programación en este contexto no se refiere a la programación de computadoras. Más bien, el término viene del uso de programa por el ejército de Estados Unidos al referirse a la propuesta de entrenamiento y planificación logística, el cual fue el problema estudiado por Dantzig en aquel entonces.

Optimizar consiste en encontrar una alternativa de decisión de forma que esta sea mejor que el resto de alternativas disponibles de acuerdo a un criterio establecido.

Al momento de optimizar se consideran los siguientes componentes:

- **Función objetivo.-** medida cuantitativa de un sistema que se desea maximizar o minimizar
- **Variables.-** pueden ser dependientes o independientes y los valores que tomen las mismas afectan al valor final de la función objetivo.
- **Restricciones.-** que son las funciones que limitan el conjunto de soluciones posibles para la función objetivo.

Dicho de otra forma, optimizar consiste en encontrar el valor que deben tomar las variables para que la función objetivo tenga un valor óptimo, de manera que cumpla con las restricciones impuestas.

Un modelo básico de optimización tiene la forma

$$\begin{aligned}
 & \textit{Min o Max } f(x) \\
 & \textit{sujeto a:} \\
 & g_i(x) \leq c \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & x \in S
 \end{aligned}$$

Donde:

El vector x tiene como componentes x_1, x_2, \dots, x_n , que son desconocidas en el problema. La función $F(x)$ es la función objetivo y el conjunto de condiciones $G_i(x)$ son las restricciones.

Para resolver problemas de optimización contamos con diferentes métodos que se utilizan de acuerdo a las condiciones del problema, entre estos tenemos:

Métodos Clásicos.- se caracterizan por encontrar un valor óptimo local y permiten un elevado número de restricciones

- Programación lineal
- Programación lineal entera mixta
- Programación no lineal

Métodos Meta heurísticos. – imitan fenómenos de la naturaleza en la consecución de la solución, estos métodos por su complejidad no permiten un gran número de restricciones. Exploran un gran número de probables soluciones en muy corto tiempo, pero al no ser un método exacto no garantizan una solución óptima sino una muy aceptable.

- Algoritmos genéticos
- Búsqueda tabú
- Recocido simulado

2.2.1 PROGRAMACION LINEAL (LP)

Un modelo de Programación Lineal (LP) considera que las variables de decisión tienen un comportamiento lineal, tanto en la función objetivo como restricciones del problema. Por lo tanto, la Programación Lineal es una de las herramientas más utilizadas en la Investigación Operativa debido a que por su naturaleza se facilitan los cálculos y en general permite una buena aproximación de la realidad

Fue en la década de los años 40 del siglo XX que a través del trabajo de equipos formados por matemáticos, economistas y físicos, entre los cuales merece especial destaque George B. Dantzing, se sentaron las bases para la resolución de problemas de Programación Lineal y No Lineal

2.2.2 PROGRAMACION LINEAL ENTERA MIXTA (MIP)

Esta es una variante de la programación lineal con la salvedad que los valores que pueden tomar una o más de las variables de decisión están restringidos a números enteros. En este caso, el número de soluciones es finito, sin embargo el número de soluciones posibles para un problema puede ser muy elevado.

Un caso particular de la MIP se presenta cuando una de las variables involucradas en el modelo solo puede tomar un valor de uno o cero (variable binaria), lo que nos permite introducir planteamientos decisionales en la LP y así representar un gran número de situaciones, como por ejemplo, en los problemas de localización donde por lo general la decisión a tomar es donde construir una planta o centro de distribución teniendo algunos lugares posibles.

2.2.3 HEURISTICAS

Las heurísticas son técnicas alternativas para resolver problemas no lineales cuya solución requiere de un tiempo computacional muy alto. Para realizar esto se usan instrucciones muy generales que transforman un problema complejo en un problema más sencillo.

Una simplificación del concepto para heurística es la realización de métodos iterativos o de aproximaciones sucesivas que permitan llegar a una buena solución a un problema de optimización. De acuerdo con ANSI/IEEE Std 100-1984, la heurística trata de métodos o algoritmos exploratorios durante la resolución de problemas, gracias a los cuales las soluciones se descubren evaluando progresos intermedios.

2.2.3.1 ALGORITMOS GENETICOS.

Los Algoritmos Genéticos son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las

poblaciones evolucionan en la naturaleza acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin (1859).

Por imitación de este proceso, los Algoritmos Genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada coeducación de las mismas.

Los principios básicos de los Algoritmos Genéticos fueron establecidos por Holland[11] (1975), y se encuentran bien descritos en varios textos Goldberg[10], Reeves[12] (1993).

En la naturaleza los individuos de una población compiten entre sí en la búsqueda de recursos tales como comida, agua y refugio. Incluso los miembros de una misma especie compiten a menudo en la búsqueda de un compañero. Aquellos individuos que tienen más éxito en sobrevivir y en atraer compañeros tienen mayor probabilidad de generar un gran número de descendientes. Por el contrario individuos poco dotados producirán un menor número de descendientes. Esto significa que los genes de los individuos mejor adaptados se propagarán en sucesivas generaciones hacia un número de individuos creciente. La combinación de buenas características provenientes de diferentes ancestros, puede a veces producir descendientes (hijos), cuya adaptación es mucho mayor que la de cualquiera de sus ancestros. De esta manera, las especies evolucionan logrando unas características cada vez mejor adaptadas al entorno en el que viven.

Los Algoritmos Genéticos usan una analogía directa con el comportamiento natural. Trabajan con una población de individuos, cada uno de los cuales representa una solución factible a un problema dado. A cada individuo se le

asigna un valor o puntuación, relacionado con la bondad de dicha solución. En la naturaleza esto equivaldría al grado de efectividad de un organismo para competir por unos determinados recursos. Cuanto mayor sea la adaptación de un individuo al problema, mayor será la probabilidad de que el mismo sea seleccionado para reproducirse, cruzando su material genético con otro individuo seleccionado de igual forma. Este cruce producirá nuevos individuos descendientes de los anteriores los cuales comparten algunas de las características de sus padres.

Cuanto menor sea la adaptación de un individuo, menor será la probabilidad de que dicho individuo sea seleccionado para la reproducción, y por tanto de que su material genético se propague en sucesivas generaciones. De esta manera se produce una nueva población de posibles soluciones, la cual reemplaza a la anterior y verifica la interesante propiedad de que contiene una mayor proporción de buenas características en comparación con la población anterior. Así a lo largo de las generaciones las buenas características se propagan a través de la población. Favoreciendo el cruce de los individuos mejor adaptados, van siendo exploradas las áreas más prometedoras del espacio de búsqueda. Si el Algoritmo Genético ha sido bien diseñado, la población convergerá hacia una solución óptima del problema.

El poder de los Algoritmos Genéticos proviene del hecho de que se trata de una técnica robusta, y pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas, incluyendo aquellos en los que otros métodos encuentran dificultades. Si bien no se garantiza que el algoritmo Genético encuentre la solución óptima del problema, existe evidencia empírica de que se encuentran soluciones de un nivel aceptable, en un tiempo competitivo con el resto de algoritmos de optimización combinatoria.

2.2.3.2 EL ALGORITMO DE RECOCIDO SIMULADO

En Wikipedia describen el Simulated Annealing (SA) (recocido simulado, o enfriamiento simulado) es un algoritmo de búsqueda meta-heurística para problemas de optimización global; el objetivo general de este tipo de algoritmos es encontrar una buena aproximación al valor óptimo de una función en un espacio de búsqueda grande. A este valor óptimo se lo denomina óptimo global.

El nombre e inspiración viene del proceso de recocido del acero y cerámicas, una técnica que consiste en calentar y luego enfriar lentamente el material para variar sus propiedades físicas. El calor causa que los átomos aumenten su energía y que puedan así desplazarse de sus posiciones iniciales (un mínimo local de energía); enfriamiento lento les da mayores probabilidades de recristalizar en configuraciones con menor energía que la inicial (mínimo global).

El método fue descrito independientemente por Scott Kirkpatrick, C. Daniel Gelatt y Mario P. Vecchi en 1983[8], y por Vlado Černý[9] en 1985. El método es una adaptación del algoritmo Metropolis-Hastings, un método de Montecarlo utilizado para generar muestras de estados de un sistema termodinámico.

Ellos realizan una iteración básica que evalúa algunos vecinos del estado actual y probabilísticamente decide entre efectuar una transición a un nuevo estado s' o quedarse en el estado s . En el ejemplo de recocido de metales descrito arriba, el estado s se podría definir en función de la posición de todos los átomos del material en el momento actual; el desplazamiento de un átomo se consideraría como un estado vecino del primero en este ejemplo.

Típicamente la comparación entre estados vecinos se repite hasta que se encuentre un estado óptimo que minimice la energía del sistema o hasta que se cumpla cierto tiempo computacional u otras condiciones.

2.3 TRABAJOS DE OPTIMIZACIÓN PREVIOS

En el Ecuador se han realizado trabajos de optimización para mejoras de procesos y de producción, el Master Víctor Vega[7] realizó un trabajo de optimización y balanceo de la producción el que consiste en realizar un modelo matemático adecuado para mejorar:

- La flexibilidad de los niveles de productividad
- El cumplimiento de la demanda
- La eficiencia en horas de trabajo invertida en el proceso de planificación de la producción.

La problemática que el Master Vega resolvió en su trabajo fue la de la producir el máximo número de variedades de yogurt que se pueden elaborar aprovechando completamente la capacidad de producción y cumpliendo la demanda diaria. Se puede determinar mediante un modelo matemático dicho programación de la producción.

Para esto estableció un modelo matemático en GAMS en que obtuvo resultados de mejoras y además indicó que los problemas de la compañía se resolvieron de manera satisfactoria a través del planteamiento de un problema lineal.

Heydi Roa[1], realizó un trabajo enfocado en la agroindustria cuyo objetivo era modelar un prototipo de procesos vinculados a la producción de pollos de engorde en la zona peninsular y la posterior venta de su carne, que brinde la

posibilidad de emplear herramientas matemáticas para la mejor toma de decisiones sobre estos procesos. Para ello realizó un modelo que le proporciona alternativas para la mejor toma de decisiones a nivel táctico, capaz de suministrar información sobre los planes de aprovisionamiento y política de stock tanto de las aves como del alimento balanceado que deben consumir, es decir cuándo y cuántos y en qué galpón se debe meter un lote de pollos para lograr satisfacer la demanda del mercado y obtener mejor beneficio económico.

CAPÍTULO III

3 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo se divide en cuatro partes:

En la primera parte se explicará de manera concreta el funcionamiento actual del proceso productivo de la compañía, se muestra de manera gráfica la secuencia de estos procesos con sus respectivos tiempos y capacidades. Esto servirá para que el lector pueda tener un conocimiento del funcionamiento de la empresa y conozca los procesos requeridos para la producción de las rosquitas.

En la segunda parte del capítulo se realizará el análisis de los datos históricos obtenidos, en los cuales se observa cómo las ventas han ido evolucionando desde el año 2010 hasta el primer trimestre del 2013. Estos permitirán realizar un pronóstico adecuado ya que se cuenta con una cantidad de periodos aceptable de los datos para realizar lo propuesto.

La tercera parte del capítulo tratará la elaboración del modelo matemático y su implementación en el software GAMS para el establecimiento del plan de producción semanal, el mismo que considera como información de entrada los resultados obtenidos en el pronóstico realizado.

Por último se realizará un análisis de los resultados obtenidos en el pronóstico y el modelo elaborado y se comparará con la situación actual de la empresa.

3.2 SITUACION ACTUAL

El proceso de producción está dividido en once subprocesos secuenciales, cada uno de estos subprocesos tiene sus tiempos y capacidades, la capacidad actual de producción es de 500 fundas de rosquitas en horario normal de trabajo y de 200 unidades en horario extra.

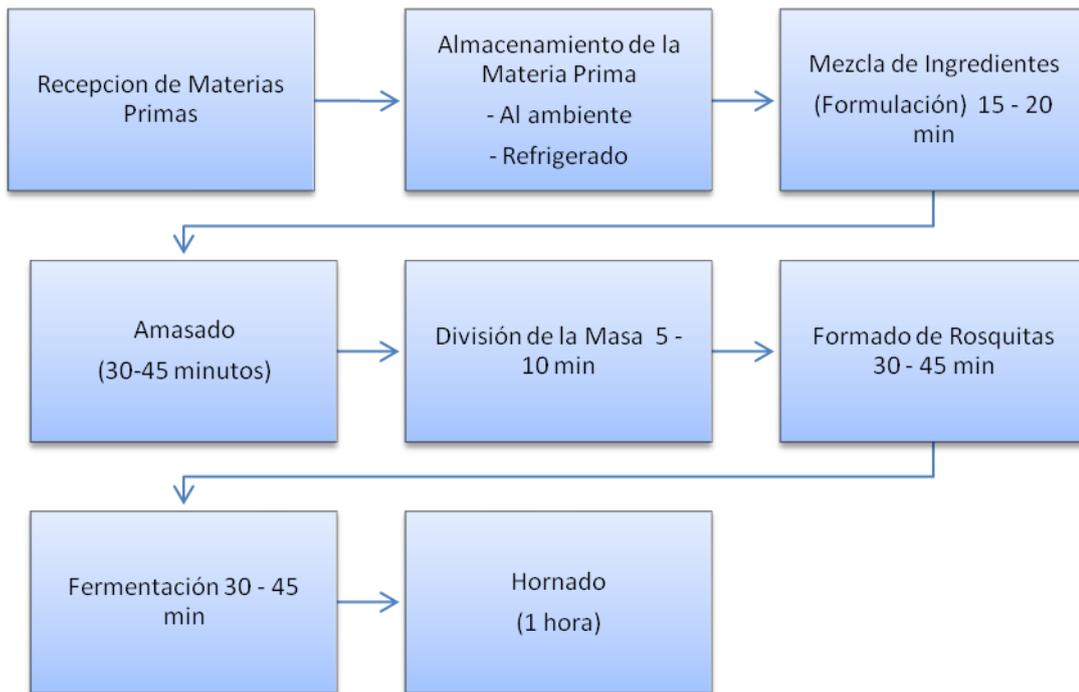


Fig 3-1: Diagrama del proceso de producción (Preparación)



Fig 3-2: Diagrama del proceso de producción (Empacado)

La figura 3-2 describe la secuencia de la producción de las rosquitas, la misma que se inicia una vez que el coordinador de producción revisa de manera presencial en cada punto de venta el requerimiento de los clientes, todo producto final es despachado en base a los términos de recepción de mercadería de cada uno de ellos.

Para efectos del modelo a desarrollar en el presente estudio se considerará de manera agregada la producción, no así una secuencia de procesos.

3.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos a ser tratados en esta parte del capítulo fueron proporcionados por el coordinador de producción de la compañía, la cual se dedica a la producción y entrega de rosquitas naturales y rosquitas de cebolla, con estos datos se realiza un primer análisis en lo que se puede apreciar una frecuencia diaria de venta y por cliente. Debido a que el modelo proporcionará el diseño de un calendario de producción semanal, el pronóstico de la demanda se realizará de una forma semanal y, luego de obtenida esta información, se procederá a asignar de manera porcentual la demanda diaria en base a una ponderación histórica.

Este pronóstico será realizado por producto y se segregará por la representación que tiene históricamente cada cliente de cada producto. Esto se debe a que, si se pronostica de manera separada la demanda de cada cliente, al sumar el agregado estaríamos considerando el error de cada pronóstico individual que se realice, en cambio al realizarlo se estima de forma agregada y distribuyendo porcentualmente puede que no se sea muy exacto en lo que corresponde a cada cliente pero se tiene la ventaja que las asignaciones de producto son fácilmente ajustables entre clientes. Lo contrario pasa con el tipo de producto por lo que se pronostica al agregado por tipo de producto. La

forma en que se distribuye esta producción semanal viene dada por las políticas de recepción de cada cliente.

Los datos que se trabajan están en días. Para transformarlos en semanas se procede a considerar que la semana inicia el domingo y que termina el sábado, adicional que el año solo tiene hasta 52 semanas, esto quiere decir si existe algún día en que se inicie la semana 53 la misma será considerada dentro de la semana 52 de cada año

3.4 ANALISIS DE SERIES DE TIEMPO

Una vez se haya realizado el arreglo semanal de los datos procedemos a graficar para identificar de manera visual tendencias de las demanda, y hacernos una idea de la forma de la serie.

A continuación se presenta el análisis de los datos obtenidos para cada uno de los productos.

3.4.1 ANALISIS ROSQUITAS NATURALES

El siguiente gráfico muestra el comportamiento de la demanda de las rosquitas naturales.

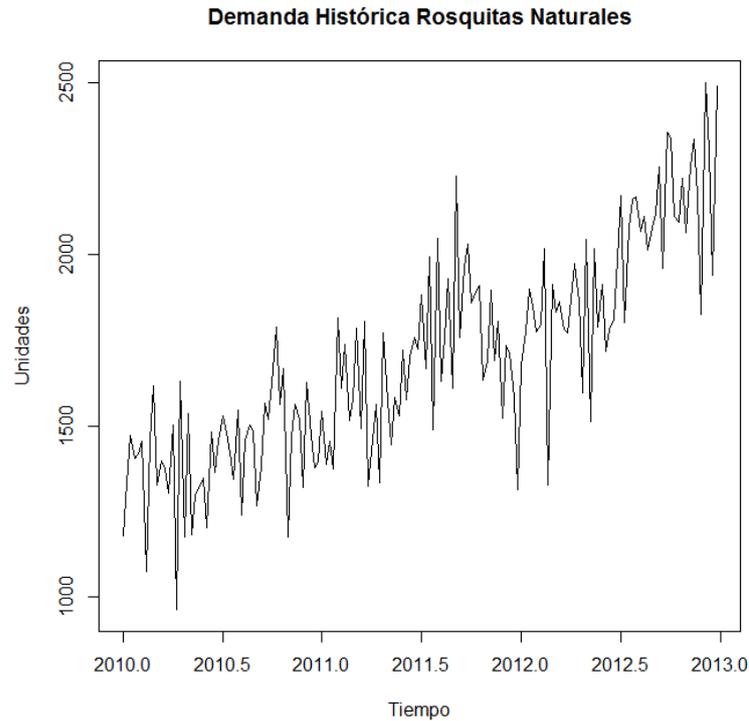


Fig 3-3: Demanda histórica de rosquitas naturales

Cabe recalcar que las frecuencias observadas en este caso están medidas en semanas y que los datos considerados corresponden al período desde el 2010 hasta finales del 2013. Como se ve en el gráfico, la serie presenta una marcada tendencia creciente para las rosquitas naturales.

Para analizar tendencias se procede a analizar un gráfico de la media de las semanas por separado para ver en qué semana se consume más y en cual menos, esto permitirá ver si existe algún tipo de estacionalidad.

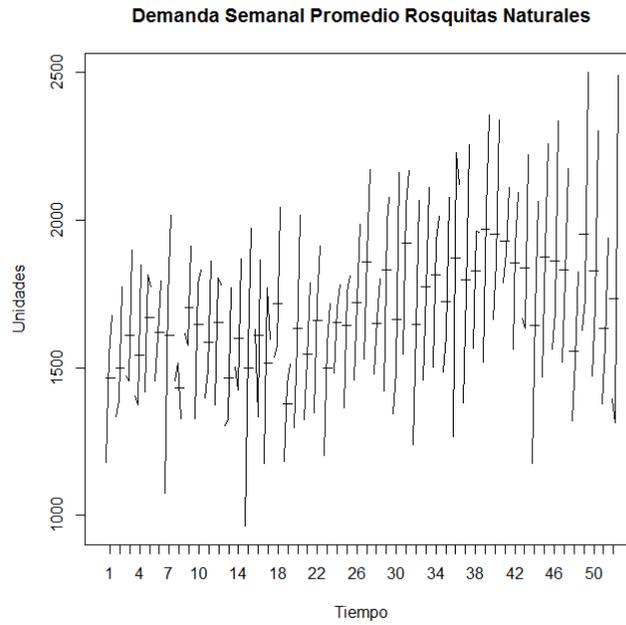


Fig 3-4: Media semanal de demanda de rosquitas naturales

Analizando el gráfico se puede observar que la media de las semanas tiene un comportamiento que no nos permite apreciar claramente la existencia de una tendencia.

A continuación se realizará la gráfica de la serie diferenciada para ver si se puede analizar mejor el comportamiento de la misma.

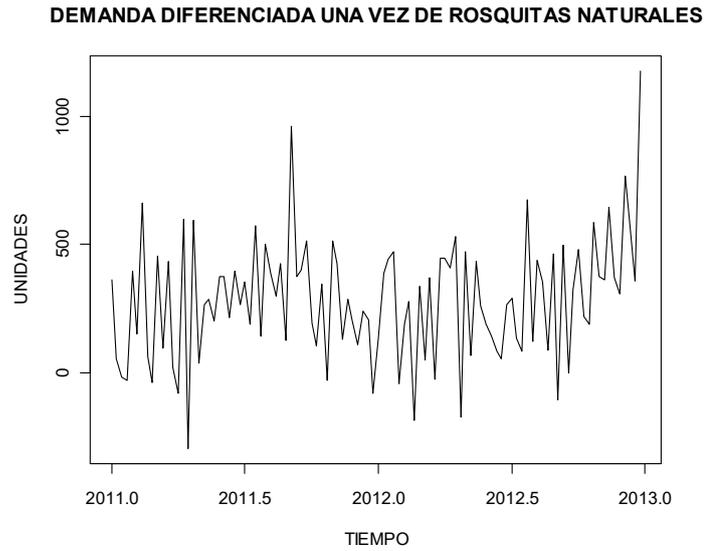


Fig 3-5: Análisis serie diferenciada para rosquitas naturales

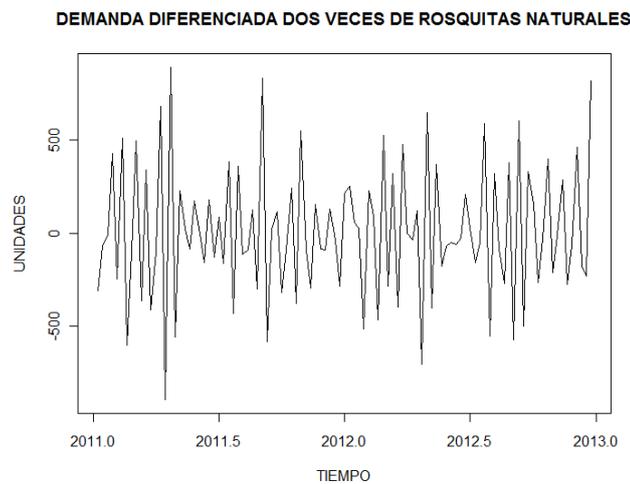


Fig 3-6: Análisis serie diferenciada 2 veces para rosquitas naturales

Como se puede apreciar de manera gráfica, la serie diferenciada dos veces presenta un mejor comportamiento pero con una mayor variabilidad por lo que no se podría sacar algo concluyente de esto, a continuación se analizará las autocorrelaciones de las dos series:

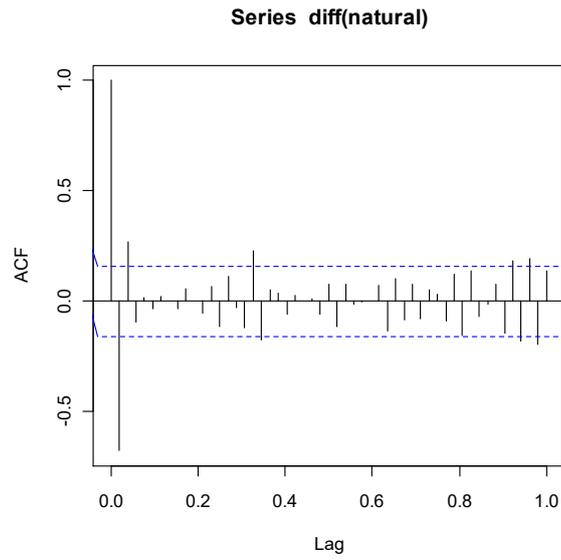


Fig 3-7: Auto correlación serie diferenciada de rosquitas naturales

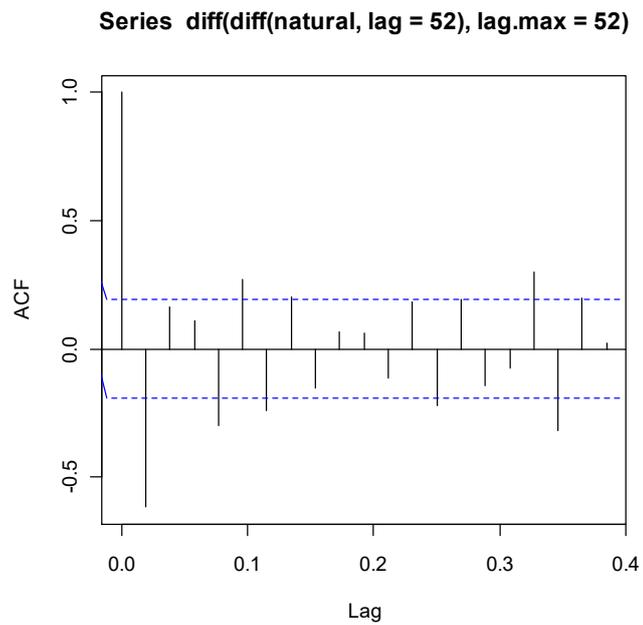


Fig 3-8: Auto correlación serie diferenciada 2 veces para rosquitas naturales

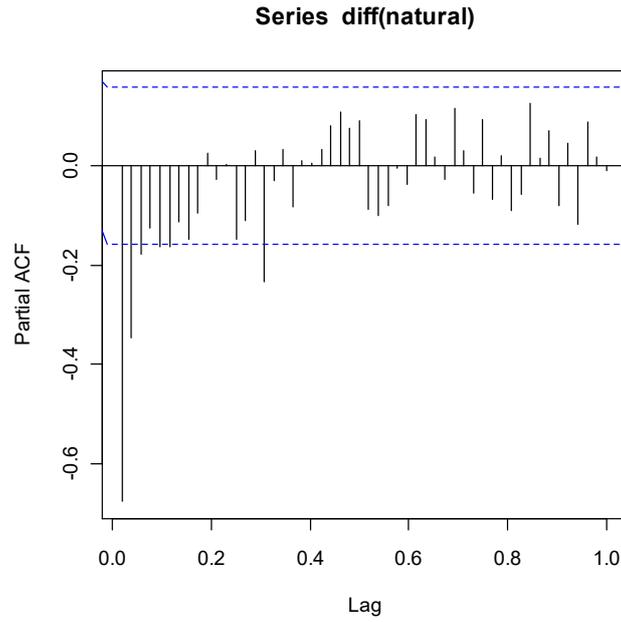


Fig 3-9: Auto correlación parcial serie diferenciada para rosquitas naturales

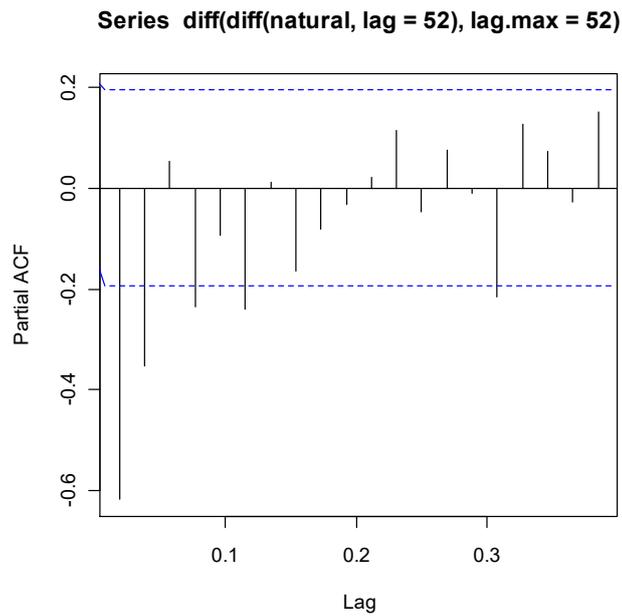


Fig 3-10: Auto correlación parcial serie diferenciada 2 veces para rosquitas naturales

Una vez analizados los gráficos, no se puede sacar algún tipo de conclusión que permita indicar el tipo de modelo que pueda explicar de mejor manera la serie.

Al no tener bien definido el comportamiento de la serie de datos, procedemos a probar algunos modelos que puedan ajustarse al mismo. Los modelos a probar serán los siguientes:

- $mn1 = \text{arima}(\text{natural}, c(0, 1, 1))$
- $mn2 = \text{arima}(\text{natural}, c(0, 0, 0), c(0, 1, 1))$
- $mn3 = \text{arima}(\text{natural}, c(0, 0, 0), c(1, 0, 1))$
- $mn4 = \text{arima}(\text{natural}, c(0, 0, 0), c(0, 2, 2))$
- $mn5 = \text{arima}(\text{natural}, c(0, 1, 1), c(0, 1, 1))$

Los cuales arrojan los siguientes coeficientes AIC

MODELO	AIC
mn1	875.14
mn2	670.5
mn3	926.97
mn4	387.55
mn5	626.9

Tabla 3-1: Auto correlaciones de modelos propuestos para rosquitas naturales

Procederemos a graficar los tres mejores modelos y veremos cual predice mejor la serie los gráficos de los modelos mn3, mn4 y mn5 se presentan respectivamente a continuación:

PRONOSTICO PARA LAS ROSQUITAS NATURALES MODELO mn3

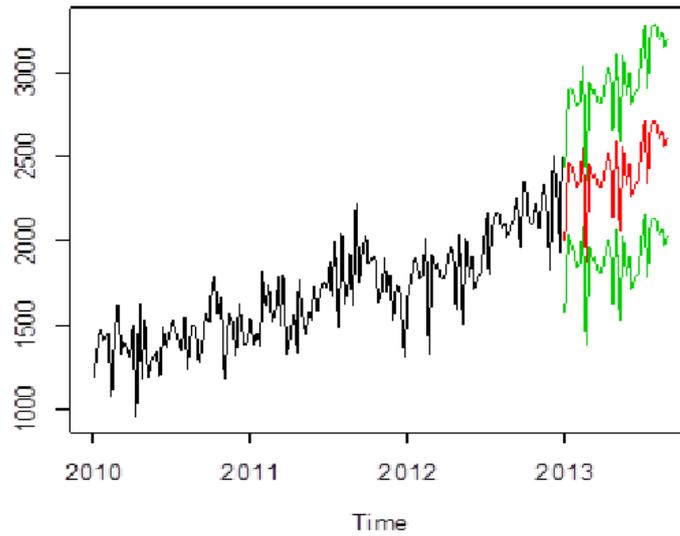


Fig 3-11: Pronóstico de la serie de tiempo utilizando el modelo mn3 para rosquitas naturales

PRONOSTICO PARA LAS ROSQUITAS NATURALES MODELO mn4

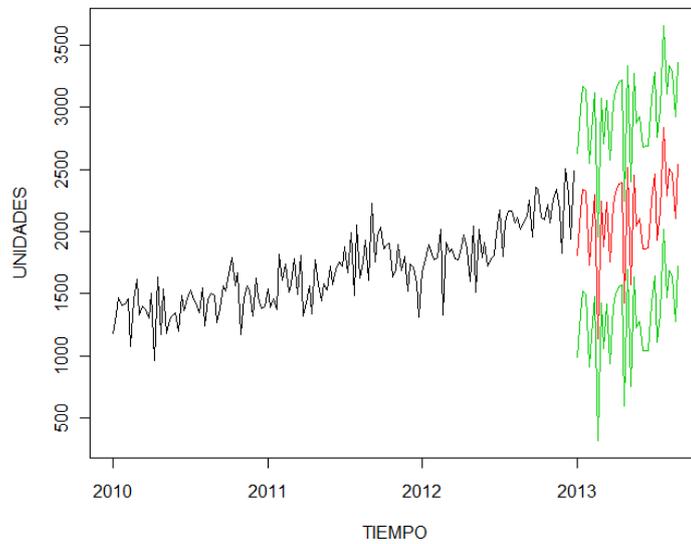


Fig 3-12: Pronóstico de la serie de tiempo utilizando el modelo mn4 para rosquitas naturales

PRONOSTICO PARA LAS ROSQUITAS NATURALES MODELO mn5

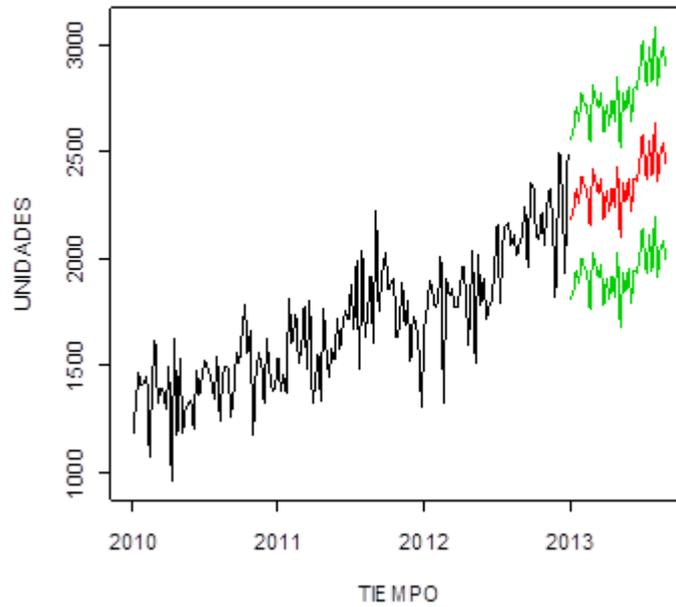


Fig 3-13: Pronóstico de la serie de tiempo utilizando el modelo mn5 para rosquitas naturales

Como se puede ver en los gráficos los que mejor predicen la serie son los modelos mn3 y mn5 por lo que se procede a revisar las autocorrelaciones de los residuos respectivamente obteniendo lo siguiente:

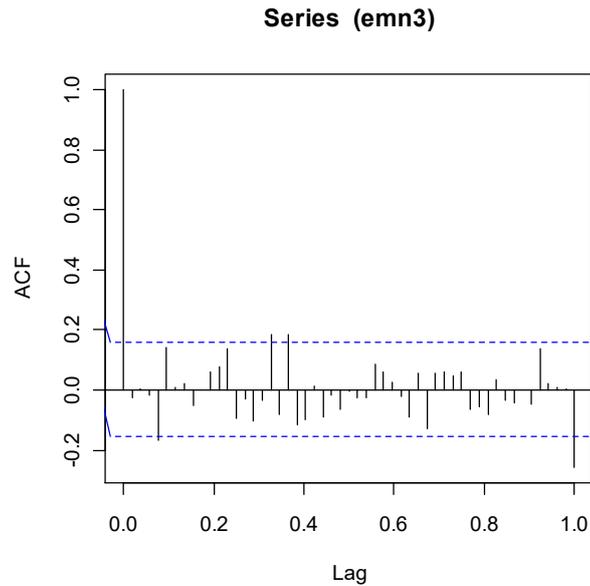


Fig 3-14: Auto correlaciones de los residuos del modelo mn3 para rosquitas naturales

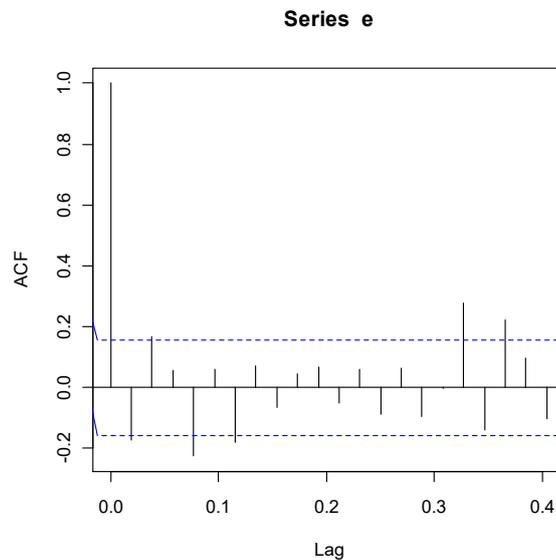


Fig 3-15: Auto correlaciones de los residuos del modelo mn5 para rosquitas naturales

Para observar mejor la serie se presentará una tabla en la que se predice 5 períodos, utilizando cada uno de los modelos propuestos, y se ve la distancia de la predicción ante los valores reales de las primeras 5 semanas del año 2013 donde se confirma que el modelo 5 es el mejor para predecir la serie.

Para y gráficos detallados a continuación Pn1 corresponde al pronóstico del modelo mn1, Pn2 a mn2, Pn3 a mn3, Pn4 a mn4 y Pn5 a mn5

PRONOSTICO DE ROSQUITAS NATURALES					
Periodo 2013	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5
Pn1	2480	2655	2015	2366	2587
Pn2	1677	1927	2086	2048	1696
Pn3	2003	2464	2442	2390	2316
Pn4	1810	2161	2342	2319	1731
Pn5	2189	2221	2333	2266	2392
Datos Reales	2115	2159	2250	2258	2354

Tabla 3-2: Pronósticos de modelos propuestos para rosquitas naturales

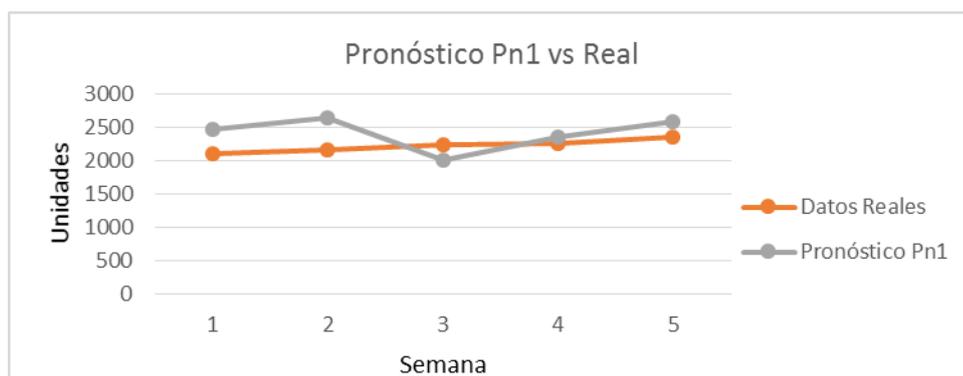


Fig 3-16: Rosquitas Naturales: Pronóstico Pn1 vs Datos Reales

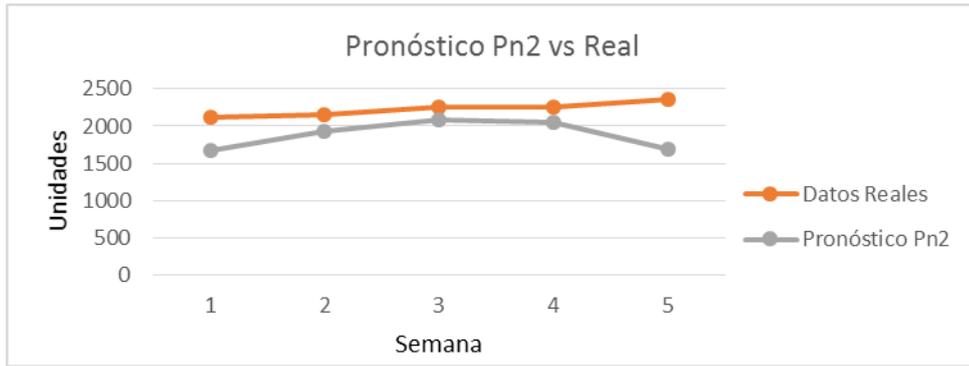


Fig 3-17: Rosquitas Naturales: Pronóstico Pn2 vs Datos Reales

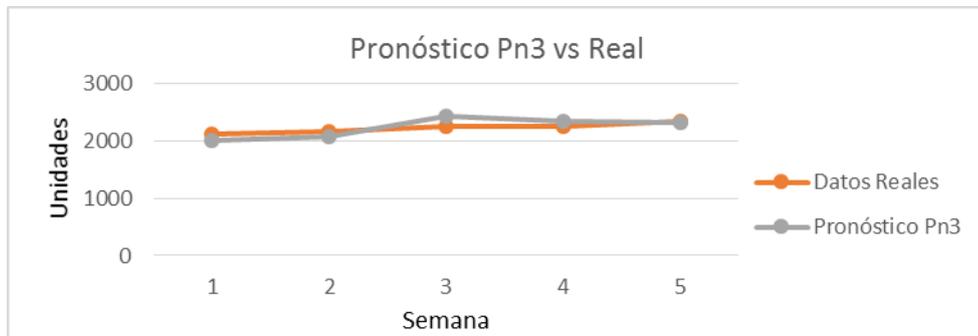


Fig 3-18: Rosquitas Naturales: Pronóstico Pn3 vs Datos Reales

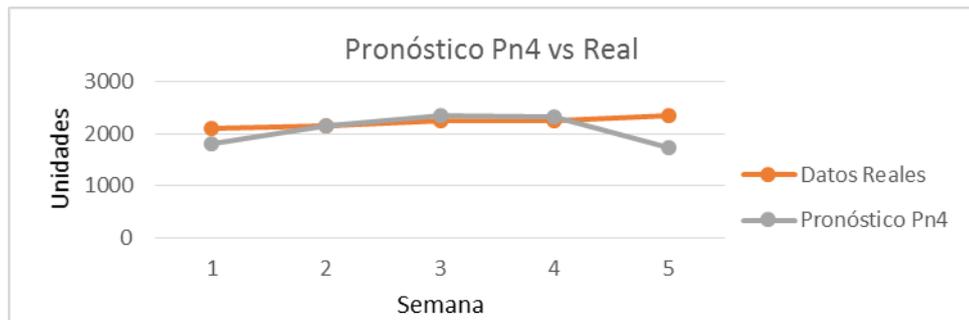


Fig 3-19: Rosquitas Naturales: Pronóstico Pn4 vs Datos Reales

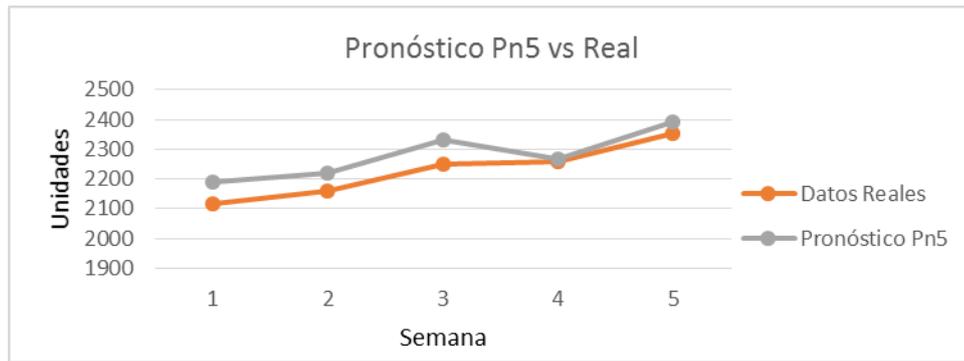


Fig 3-20: Rosquitas Naturales: Pronóstico Pn5 vs Datos Reales

DISTANCIAS ENTRE EL PRONOSTICO Y LOS DATOS REALES						TOTALES
Pn1	365	496	235	108	233	1437
Pn2	438	232	164	210	658	1702
Pn3	112	305	192	132	38	778
Pn4	305	2	92	61	623	1083
Pn5	74	62	83	8	38	265

Tabla 3-3: Diferencia de Pronósticos de modelos propuestos para rosquitas naturales

En la tabla se puede observar que el modelo mn5 es el que predice mejor ya que sus residuos no son tan altos como en los demás modelos por lo que podemos decir que el modelo mn5 es que se escoge para predecir las rosquitas naturales.

3.4.2 ANÁLISIS ROSQUITAS DE CEBOLLA

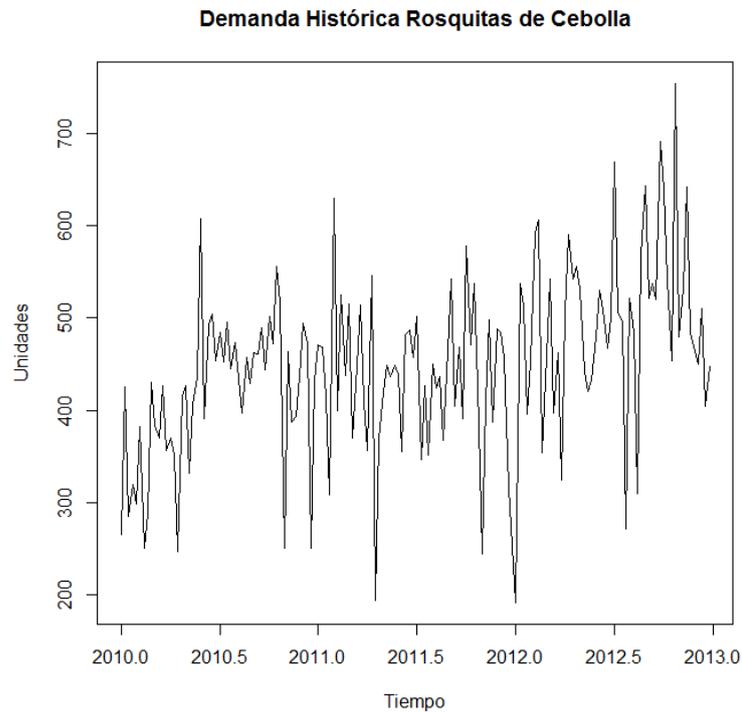


Fig 3-21: Demanda histórica de rosquitas de cebolla

Como se ve en el gráfico, la serie presenta una tendencia creciente no muy marcada para las rosquitas de cebolla a inicios de la serie y luego se estabiliza, lo que es usual ya que las tendencias crecientes se dan generalmente cuando las empresas son emergentes o cuando el producto está emergiendo. Este producto también tiene más de 10 años en el mercado, por lo que las ventas se han estabilizado ya que no se han realizado ningún tipo de promociones o mercadeos.

Se realiza el gráfico de las medias por semana para analizar tendencias en la serie:

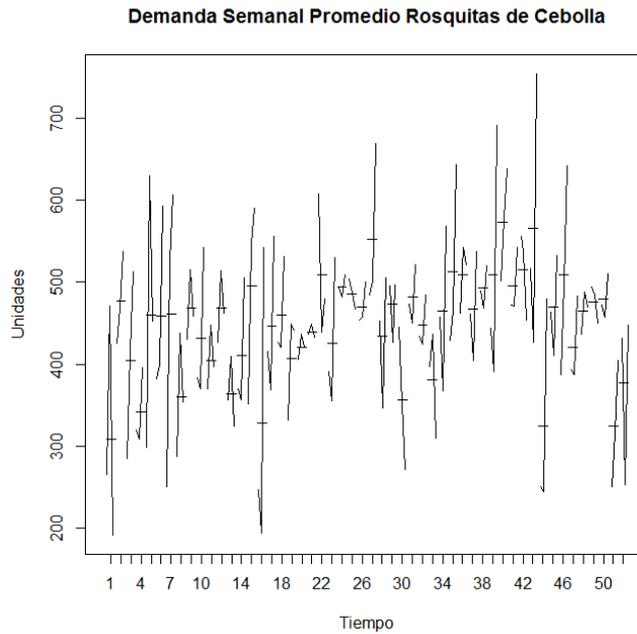


Fig 3-22: Media semanal de demanda de rosquitas de cebolla

Analizando el gráfico se puede ver que la media de las semanas tiene comportamientos similares, es decir, en el gráfico de rosquitas de cebolla en la primera semana es baja al igual que las últimas semanas esto se podría explicar a la época navideña debido a que por esa época las personas comen pan de pascua.

Al graficar las auto correlaciones y las auto correlaciones parciales de la demanda de las rosquitas de cebolla, los resultados son los siguientes:

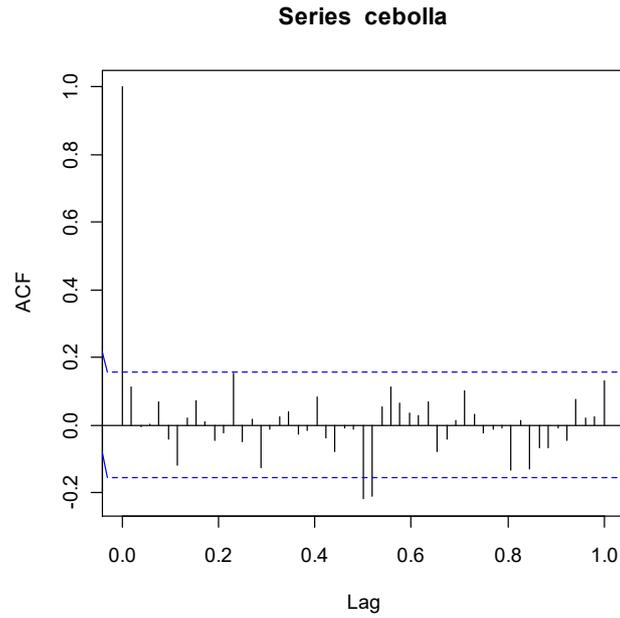


Fig 3-23: Auto correlaciones de la demanda de rosquitas de cebolla

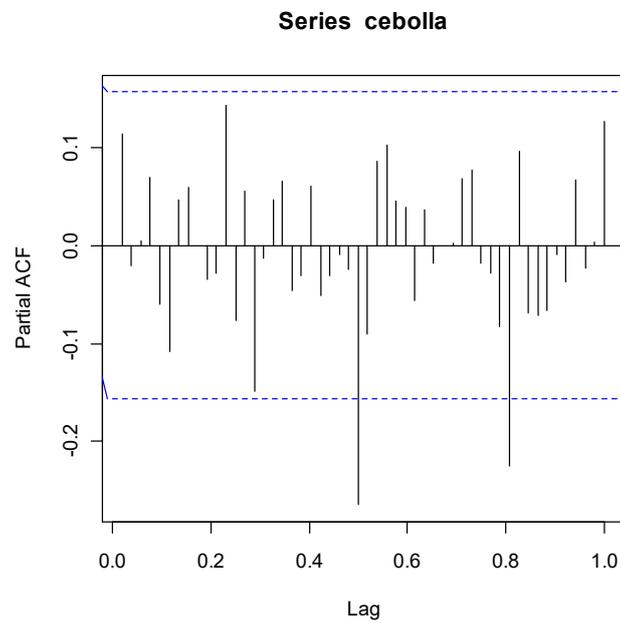


Fig 3-24: Auto correlaciones parciales de la demanda de rosquitas de cebolla

Al analizar estos gráficos no es posible definir de manera clara el modelo a utilizar, debido a que, como se observó en gráficos anteriores, la serie

aparentemente tiene una estacionalidad y posiblemente se trate de un modelo SARIMA. Con el análisis de este tipo de gráficos se puede identificar si la serie tiene un componente AR o un MA dependiendo de la forma en que se presenten los mismos, pero en esta ocasión, los resultados no permiten identificar con exactitud el modelo, por lo que a continuación procedemos a graficar las auto correlaciones y las auto correlaciones parciales de la serie diferenciada.

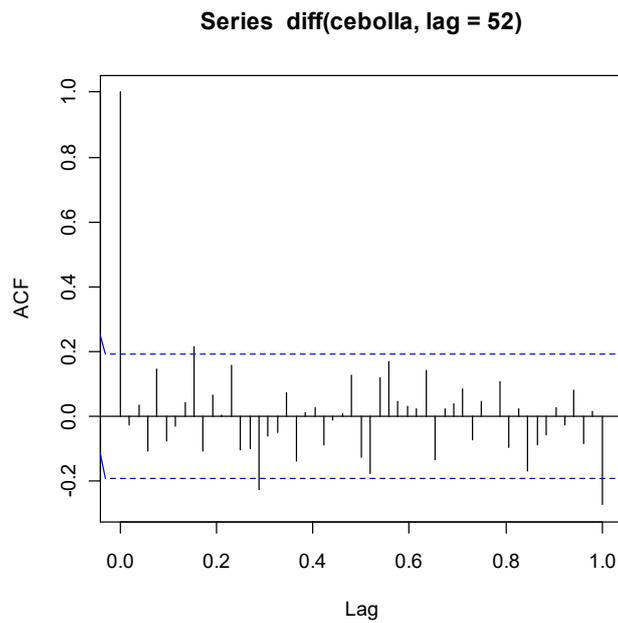


Fig 3-25: Auto correlaciones de la serie diferenciada de rosquitas de cebolla

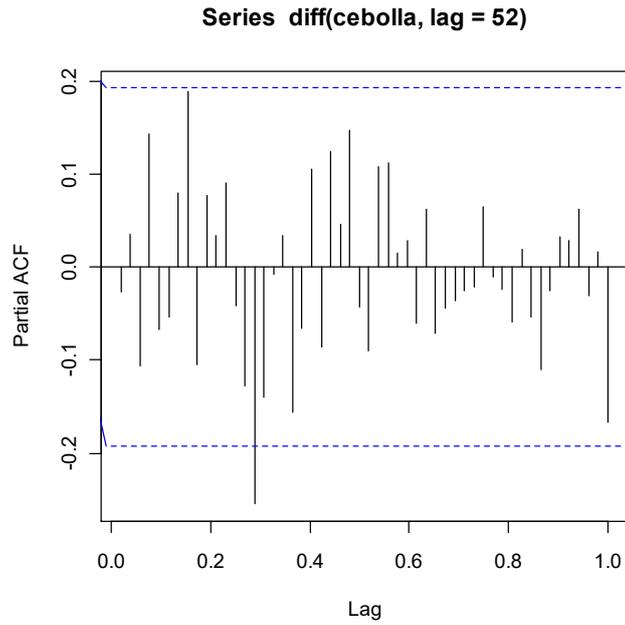


Fig 3-26: Auto correlaciones parciales de la serie diferenciada de rosquita de cebolla

A continuación, se procede a probar los posibles modelos y analizar el que mejor se adapta a la serie, los modelos a analizar son los siguientes:

- $m1 = \text{arima}(\text{cebolla}, c(0, 1, 1))$
- $m2 = \text{arima}(\text{cebolla}, c(0, 0, 0), c(0, 1, 1))$
- $m3 = \text{arima}(\text{cebolla}, c(0, 0, 0), c(1, 0, 1))$

Lo que nos da los siguientes valores de AIC:

MODELO	AIC
m1	873.46
m2	618.99
m3	872.35

Tabla 3-4: Comparación de modelos propuestos para las rosquitas de cebolla.

Por lo que podemos concluir que m2 es el modelo que mejor se adapta la serie. Ahora procedemos a analizar las autocorrelaciones de los errores de este modelo, los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

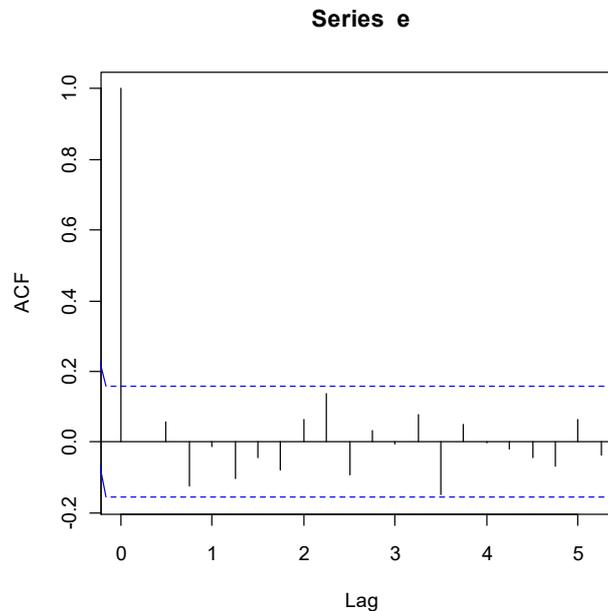


Fig 3-27: Auto correlaciones del error del modelo m2 para rosquitas de cebolla

Esto nos indica que no estamos dejando por fuera ninguna variable explicativa por lo que nos quedamos con el modelo dos, y procedemos a pronosticar los siguientes 35 períodos por lo que tenemos el siguiente gráfico, en el que se ve una buena predicción del comportamiento de la serie recogiendo las variaciones de una forma bastante aceptable. Obviamente este gráfico es ilustrativo ya que en la implementación final se predecirá un solo periodo semana a semana.

PRONOSTICO PARA LAS ROSQUITAS DE CEOLLA

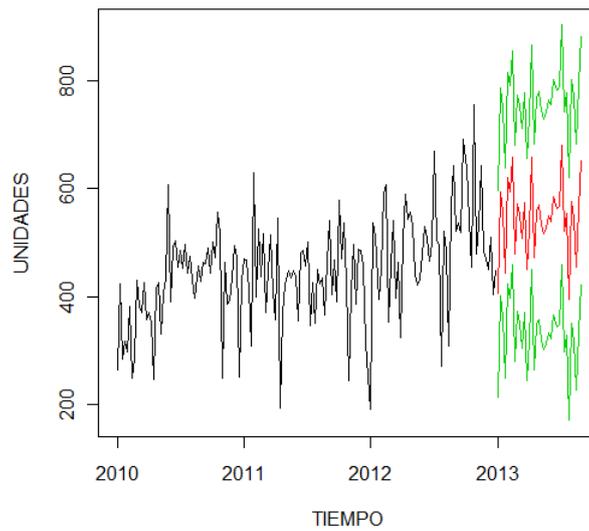


Fig 3-28: Pronóstico de la serie de tiempo de rosquitas de cebolla

Al igual que se realizó con las rosquitas naturales, se presentará una tabla en la que se predice 5 períodos y se ve la distancia de la predicción ante los valores reales de las primeras 5 semanas del año 2013. Para y gráficos detallados a continuación Pn1 corresponde al pronóstico del modelo mn1, Pn2 a mn2 y Pn3 a mn3.

PRONOSTICO DE ROSQUITAS CEBOLLA					
Periodo 2013	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5
Pn1	504	504	504	504	504
Pn2	269	507	461	365	477
Pn3	405	464	457	434	454
Datos Reales	302	480	477	340	420

Tabla 3-5: Pronósticos de modelos propuestos para rosquitas de cebolla

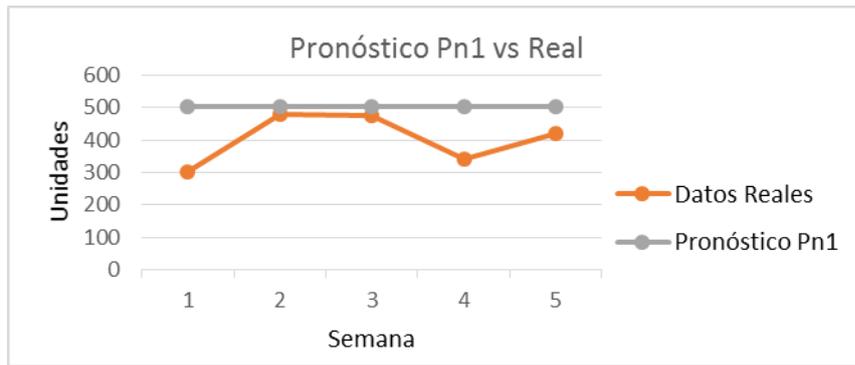


Fig 3-29: Rosquitas de Cebolla: Pronóstico Pn1 vs Datos Reales

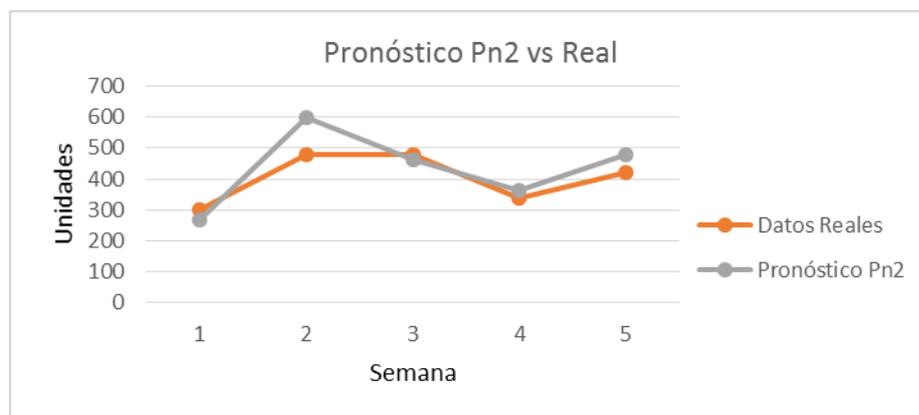


Fig 3-30: Rosquitas de Cebolla: Pronóstico Pn2 vs Datos Reales

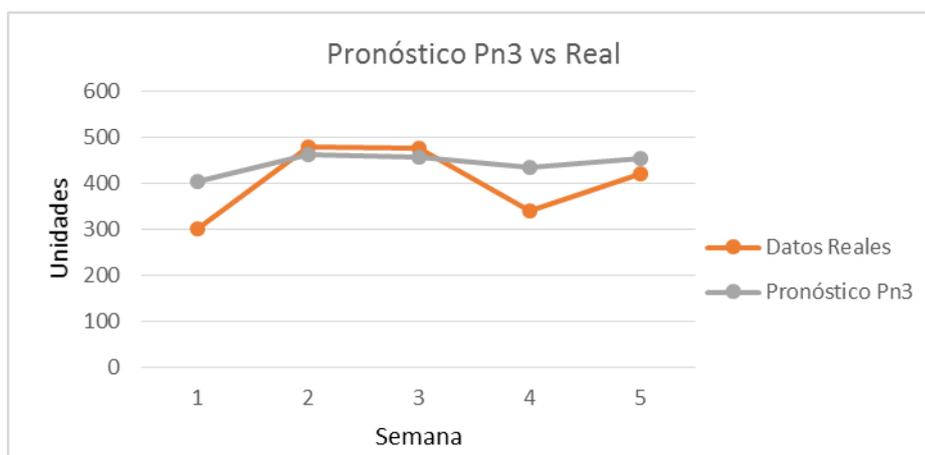


Fig 3-31: Rosquitas de Cebolla: Pronóstico Pn3 vs Datos Reales

DISTANCIAS ENTRE EL PRONOSTICO Y LOS DATOS REALES						TOTALES
Pn1	202	24	27	164	84	501
Pn2	33	27	16	25	57	158
Pn3	103	16	20	94	34	267

Tabla 3-6: Diferencia de Pronósticos de modelos propuestos para rosquitas de cebolla

Tal como en el producto rosquitas naturales, el objetivo de este trabajo es sólo predecir una semana, estas predicciones son ingresadas en el modelo que se describe a continuación.

3.5 DISEÑO DEL MODELO MATEMÁTICO

3.5.1 LÍMITES DE PRODUCCIÓN

Actualmente la producción tiene las siguientes limitantes en su capacidad la cual está medida en unidad de rosquitas sin diferenciar si son naturales o de cebolla:

- Capacidad de producción diaria en unidades

Horario de producción	Capacidad
Normal	500
Extra	200

Tabla 3-7: Límites de producción (En unidades)

- Tamaño del lote de producción: 100 unidades

3.5.2 DATOS DE ENTRADA

Para el diseño del modelo matemático contamos con los siguientes datos de entrada:

- Listado de productos
- Listado de clientes
- Demanda semanal de productos
- Días de producción
- Disponibilidad de atención a clientes

3.5.3 ÍNDICES DEL MODELO

Los índices utilizados para la parametrización del modelo son los siguientes:

Índice	Descripción
p	Productos
t	Días de la semana
c	Clientes
h	Tipo de horario de trabajo

Tabla 3-8: Índices del modelo

3.5.4 TABLAS Y PARÁMETROS

Las tablas utilizadas en el modelo se presentan en el cuadro adjunto:

Tabla	Descripción
COSTOPROD(p,h)	Costos de producir una unidad del producto p en el tipo de horario de trabajo h .
CAPACIDADPROD(t,h)	Capacidad de producción en unidades de producto en el día t en el tipo de horario de trabajo h
RECEPCION(t,c)	Matriz binaria que indica el día t en que se puede atender al cliente c . Esto basado en la restricción de horarios en la recepción de producto que puede tener un cliente.
DEMANDAPRODCLI(p,c)	La cantidad demandada en unidades del producto p por el cliente c .

Tabla 3-9: Tablas y parámetros del modelo

Lo valores de la tabla de DEMANDAPRODCLI, son el resultado del pronóstico explicado previamente en este capítulo, en el punto 3.4, los mismos que son calculados utilizando la historia de la demanda de cada uno de los productos por parte de los clientes.

Los valores de la tabla RECEPCION(t,c) fueron obtenidos luego de analizar la operación y verificar la disponibilidad de atención por parte de los cliente al momento de realizar la entrega de los productos.

3.5.5 INFORMACIÓN DE ENTRADA PARA EL MODELO.

A continuación se detallan la información de entrada utilizada en el modelo matemático.

Productos (p)

Actualmente se producen dos tipos de rosquitas: naturales y de cebolla

Código	Descripción
PROD1	Rosquitas Naturales
PROD2	Rosquitas de Cebolla

Tabla 3-10: Información de entrada: Productos

Días de la Semana (t)

El horario de trabajo definido para la ejecución del modelo va desde el día lunes al día sábado

Código	Descripción
LUN	Lunes
MAR	Martes
MIE	Miércoles
JUE	Jueves
VIE	Viernes
SAB	Sábado

Tabla 3-11: Información de entrada: Días de la semana

Clientes (c)

Por razones de confidencialidad, se representa a los clientes de la siguiente forma:

Código	Descripción
C1	Cliente 1
C2	Cliente 2
C3	Cliente 3
C4	Cliente 4
C5	Cliente 5

Tabla 3-12: Información de entrada: Clientes

Tipo de horario de trabajo (h)

Se han definido dos tipos de horario de trabajo:

Código	Descripción
Normal	Horario Normal
Extra	Horario Extendido o Extra

Tabla 3-13: Información de entrada: Tipos de horario de Trabajo

Costo de Producción – COSTOPROD(p,h)

El siguiente cuadro muestra los costos de producción unitarios para cada uno de los productos en horario normal y horario extendido o extra, donde PROD1: Rosquitas Naturales y PROD2: Rosquitas de cebolla.

Producto	Normal	Extra
PROD1	\$ 0.45	\$ 0.56
PROD2	\$ 0.48	\$ 0.60

Tabla 3-14: Costos Unitarios de Producción

Horario de Recepción – RECEPCION(t,c)

Matriz de disponibilidad de atención por parte del cliente

Dia	C1	C2	C3	C4	C5
LUN	1	1	0	0	1
MAR	0	1	1	0	0
MIE	1	0	0	0	0
JUE	0	1	1	1	1
VIE	1	0	0	1	0
SAB	0	0	1	0	1

Tabla 3-15: Días de atención del cliente

Donde: $\begin{cases} 1: & \text{el cliente } c \text{ es atendido el día } t \\ 0: & \text{el cliente } c \text{ no es atendido el día } t \end{cases}$

Demanda de Clientes – DEMANDAPRODCLI(p,c)

DEMANDAPRODCLI(p,c)	C1	C2	C3	C4	C5	TOTAL
PROD1	988	650	343	139	72	2192
PROD2	131	81	46	13	1	272
TOTAL	1119	731	389	152	73	2464

Tabla 3-16: Demanda por producto y por cliente

La demanda detallada en la tabla 3-14 es resultado del pronóstico realizado en el punto 3.4. Una vez obtenidas las cantidades en demanda, se realizó la distribución histórica porcentual de acuerdo a la participación de cada cliente, para cada producto, en este caso rosquitas naturales(PROD1) y rosquitas de cebolla(PROD2)

3.5.6 PARÁMETROS ADICIONALES

Adicional a las tablas se definieron los siguientes parámetros adicionales al modelo:

Tabla	Descripción
ORDENMIN	Determina la cantidad mínima de unidades que deben ser entregadas al cliente en un día cualquiera. Esta es una cantidad definida por la empresa tomando en cuenta el costo de envío involucrado.
PRECIOVENTA	Es el precio de venta del producto. La empresa ha definido que el costo de perder una venta es el mismo que el precio de venta definido para el producto.

Tabla 3-17: parámetros adicionales del modelo

3.5.7 VARIABLES DE DECISIÓN

Las variables que muestran los resultados arrojados por el modelo se muestran en la siguiente tabla:

Variable	Descripción
COST	Costos totales del modelo
$X(p,t,c,h)$	Esta variable nos dará a conocer la siguiente información: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cantidad de cada tipo de producto que será producido. ➤ En qué día de la semana se produce. ➤ En que horario de trabajo ➤ A qué cliente va destinada la cantidad que se produce.
$S(p,t,c)$	Variable de saldo del producto p en el día t destinado a la demanda del cliente c
$L(p,t,h)$	Indica la cantidad de lotes producidos para cada tipo de producto en los distintos horarios de trabajo disponibles y en qué día de la semana fueron producidos.
$PROPDEM(p,t,c)$	Proporción de la demanda total de un cliente que se satisface en un día determinado
$PROPDEMNA(p,c)$	Proporción de la demanda no atendida de un cliente c del producto p.

Tabla 3-18: Tablas de variables del modelo

La variable $PROPDEM(p,t,c)$ va a permitir que el modelo establezca de manera óptima, cual es la proporción de la demanda total del cliente que debe ser atendida en un determinado día de la semana para cada uno de los productos producidos. Los valores que toma esta variable van a ser afectados directamente por la tabla $RECEPCION(t,c)$, por lo que solo tomará valores los días en los cuales se pueda atender a un determinado cliente.

La variable PROPDEMNA(p,c) indica cual es la proporción de la demanda total del cliente para cada uno de los productos, que no pudo ser atendida en la semana debido a la limitante de la capacidad de producción.

3.5.8 FUNCIÓN OBJETIVO

El principal objetivo del modelo matemático desarrollado es minimizar los costos totales de producción.

$$\text{Función Objetivo: } \min \sum_p \sum_t \sum_c \sum_h X_{ptch} * \text{CostoProd}_{ph} + (\text{PrecioVenta} * \sum_p \sum_c \text{PropDemNA}_{pc} * \text{DemandaProdCli}_{pc})$$

La función objetivo del modelo consiste en minimizar los costos totales del plan de producción, la misma consiste en:

- El costo total de producción de las unidades producidas
- El costo total de la venta no satisfecha a un cliente, es decir, la cantidad de la demanda de cada cliente no atendida al precio de venta del producto que es la forma en la cual la empresa estima el valor de la venta perdida.

3.5.9 RESTRICCIONES DEL MODELO

En las restricciones del modelo tenemos:

- **Capacidad de producción.** – la cantidad producida en el día no puede sobrepasar la capacidad máxima de producción. Se evalúa para cada valor de **t** y **h**.

$$\sum_p \sum_c X_{ptch} \leq \text{CapacidadProd}_{th}$$

- **Ecuación de flujo.** – ecuación que indica los saldos de cada producto que existen para cada cliente durante el tiempo de planificación. Se evalúa para cada valor de p , t y c .

$$S_{ptc} = S_{pt-1c} + \sum_h X_{ptch} - Recepcion_{tc} * DemandaProdCli_{pc} * PropDem_{ptc}$$

- **Pedido mínimo.** – la cantidad del pedido de un cliente en un día determinado debe ser superior al mínimo a ordenar. Se evalúa para cada valor de t y c .

$$\sum_p PropDem_{tc} * DemandaProdCli_{pc} \geq Recepcion_{tc} * OrdenMin$$

- **Proporción de la demanda.** – la suma de las proporciones de la demanda atendida y no atendida del cliente deben ser iguales a 1. Se evalúa para cada valor de p y c .

$$\sum_t Recepcion_{tc} * PropDem_{tc} + PropDemNA_{pc} = 1$$

- **Lote de producción.** – el lote de producción debe ser múltiplo de 100 unidades. Se evalúa para cada valor de p , t y h .

$$L_{pth} = \sum_c X_{ptch} / 100$$

3.6 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Una vez determinado los índices, parámetros variables de decisión, función objetivo y restricciones, se procede a realizar la implementación del modelo, para lo cual se utilizó a herramienta GAMS.

Para esta implementación, adicional a la resolución del modelo planteado, se realizó una codificación para generar un reporte web con los resultados obtenidos para una mejor visualización. A continuación se muestra el código

GAMS de la resolución del modelo, el código completo se lo puede encontrar en la sección de Apéndices.

```

SCALAR
  ORDENMIN          PEDIDO MINIMO A DESPACHAR A CUALQUIER CLIENTE /10/
  PRECIOVENTA       PRECIO DE VENTA DEL PRODUCTO /1.1/

VARIABLES
  COST              FUNCION OBJETIVO

INTEGER VARIABLES
  X(p,t,c,h)       CANTIDAD A PRODUCIR DEL PRODUCTO p EN EL HORARIO h DEL DIA t DESTINADO
  S(p,t,c)          VARIABLE DE SALDO DEL PRODUCTO p EN EL DIA t DESTINADO AL CLIENTE c
  L(p,t,h)          TOTAL DE LOTES DEL PRODUCTO p PRODUCIDOS EL DIA t

positive VARIABLE
  PROPDEM(p,t,c)   PROPORCION DE LA DEMANDA TOTAL DEL CLIENTE c EN EL DIA t
  PROPDEMNA(p,c)   PROPORCION DE LA DEMANDA TOTAL DEL CLIENTE c NO ATENDIDA;

X.up(p,t,c,h) = 10000;
S.up(p,t,c) = 10000;
L.up(p,t,h) = 10000;

EQUATIONS
  COSTO              COSTO TOTAL,
  CAPACIDAD(t,h)    CAPACIDAD DE PRODUCCION,
  FLUJO(p,t,c)      SALDO DE PRODUCTO PRODUCIDO,
  PEDIDOMIN(t,c)    PEDIDO MINIMO,
  PROPORCIOND(p,c)  PROPORCION DE LA DEMANDA,
  LOTE(p,t,h)       LOTES PRODUCIDOS;
  COSTO..           COST =E= SUM[(p,t,c,h), COSTOPROD(p,h) * X(p,t,c,h)] +
                    PRECIOVENTA * SUM[(p,c), PROPDEMNA(p,c) * DEMANDAPRODCLI(p,c)];
  CAPACIDAD(t,h).. SUM[(p,c), X(p,t,c,h)] =L= CAPACIDADPROD(t,h);
  FLUJO(p,t,c)..   S(p,t,c) =E= S(p,t-1,c) + SUM[(h), X(p,t,c,h)] -
                    (RECEPCION(t,c) * DEMANDAPRODCLI(p,c) * PROPDEM(p,t,c));
  PEDIDOMIN(t,c).. SUM[(p), PROPDEM(p,t,c) * DEMANDAPRODCLI(p,c)] =G=
                    RECEPCION(t,c) * ORDENMIN;
  PROPORCIOND(p,c).. SUM[(t), RECEPCION(t,c) * PROPDEM(p,t,c)] + PROPDEMNA(p,c) =E= 1;
  LOTE(p,t,h)..    L(p,t,h) =E= SUM[(c), X(p,t,c,h)] / 100;

MODEL
  ROSQUITAS /ALL/

SOLVE
  ROSQUITAS USING MIP MIN COST
  
```

Fig 3-32: Implementación en GAMS del Modelo Matemático

3.6.1 INFORME DE RESULTADOS

La herramienta utilizada para la implementación del modelo matemático, GAMS, muestra la información de una forma muy técnica, la cual requiere de cierto conocimiento para poder ser interpretada.

Una de las facilidades de GAMS, es que nos permite exportar los resultados para que puedan ser consumidos por otras herramientas que ayudan en la presentación de los mismos.

Para esta tesis, agregé codificación en GAMS para poder generar un reporte con los resultados del modelo en archivos web html, el cual es un estándar que se puede visualizar en cualquier navegador y/o plataforma informática.



Fig 3-33: Reporte web con resultados del modelo matemático

Se utilizaron herramientas que facilita google para el diseño y creación de páginas web, para mostrar los resultados de forma analítica y gráfica. En este caso se utilizaron las tablas html para mostrar el resumen del resultado del modelo y los histogramas para mostrar comparaciones, en este caso, la demanda atendida vs la demanda no atendida de cada uno de los productos.

DEMANDA DEL PRODUCTO PROD1 POR CLIENTE (EN UNIDADES)						
Demanda	C1	C2	C3	C4	C5	TOTAL
REAL	1130	743	391	158	82	2504
ATENDIDA	1126	743	391	158	82	2500
DIFERENCIA	-4	0	0	0	0	-4

Fig 3-34: Herramienta de google: Tablas html

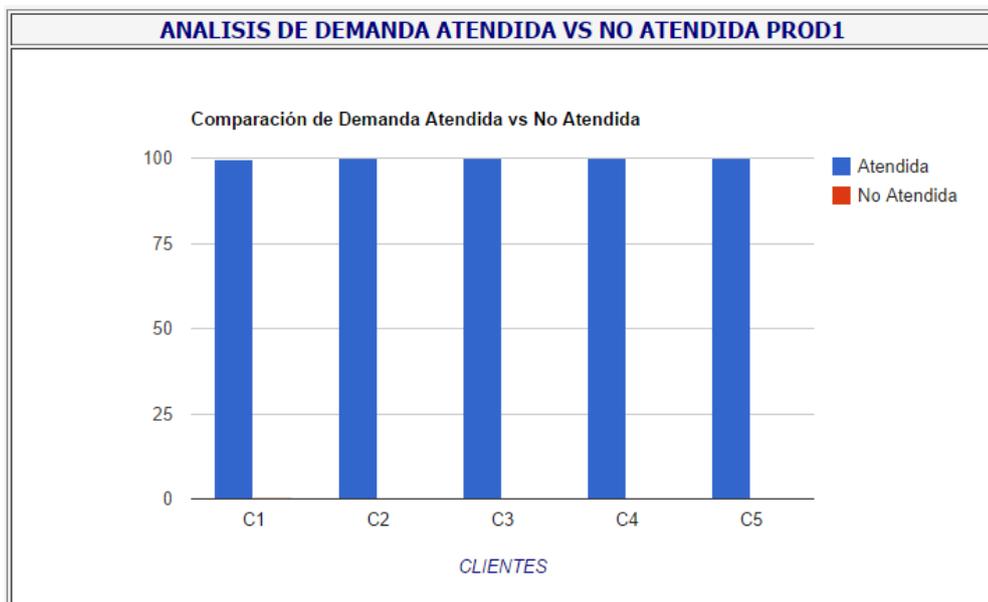


Fig 3-35: Herramienta de google: Histograma

3.7 ANÁLISIS

3.7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Finalmente, una vez obtenidos los resultados tanto del pronóstico como del modelo matemático planteado, procedemos a realizar el análisis de los mismos. Como se indicó en un principio, el interés de esta tesis es el de elaborar un calendario de producción semanal.

Luego de aplicar el modelo de pronóstico obtenemos los siguientes valores para la demanda de la siguiente semana para cada uno los productos.

Producto	Demanda (und.)
Rosquitas Naturales	2192
Rosquitas de Cebolla	272

Tabla 3-19: Pronóstico de la demanda

Estos valores de demanda se utilizaron como información que alimenta al modelo matemático propuesto. Una vez resuelto el mismo, obtenemos el siguiente calendario de producción:

CALENDARIO DE PRODUCCION PROPUESTO						
Producto	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
PROD1	100	400	400	500	500	300
PROD2	200	100	0	0	0	0
TOTAL	300	500	400	500	500	300

PRODUCCION DE LOTES EN HORARIO EXTENDIDO						
Producto	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
PROD1	0	0	0	0	0	0
PROD2	0	0	0	0	0	0

Fig 3-36: Plan de Producción Semanal

Como se puede observar, el calendario de producción está en múltiplos de 100 considerando la premisa establecida que indica que los lotes de producción son de 100 unidades para los distintos productos.

A simple vista se puede apreciar que el total de unidades producidas puede atender la demanda sin la necesidad de tener que trabajar horas extras, e incluso a primera vista, podríamos concluir que se llega a producir más allá de la cantidad total demandada. Para confirmar si se satisface o no la demanda total de la semana, analizamos el siguiente cuadro donde se compara la producción vs la demanda.

DEMANDA DEL PRODUCTO PROD1 POR CLIENTE (EN UNIDADES)						
Demanda	C1	C2	C3	C4	C5	TOTAL
REAL	988	650	343	139	72	2192
ATENDIDA	962	650	343	139	72	2166
DIFERENCIA	-26	0	0	0	0	-26

DEMANDA DEL PRODUCTO PROD2 POR CLIENTE (EN UNIDADES)						
Demanda	C1	C2	C3	C4	C5	TOTAL
REAL	131	81	46	13	1	272
ATENDIDA	131	81	46	13	1	272
DIFERENCIA	0	0	0	0	0	0

COSTO DE DEMANDA NO ATENDIDA (EN USD)					
Producto	C1	C2	C3	C4	C5
PROD1	\$ 28.60	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
PROD2	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00

Fig 3-37: Demanda vs Producción

Al ver los resultados presentados en este cuadro, lo primero que salta a la vista es que existe una porción de la demanda de las rosquitas naturales, que no está atendida para el cliente C1, esto se debe a la naturaleza del modelo el

cual se enfoca en minimizar costos de producción totales, lo que nos da como resultado que el producir el lote de 100 unidades que se necesita para poder cubrir con las 26 unidades faltantes es más costoso que el valor total correspondiente a la venta perdida generada por no satisfacer esta demanda.

3.7.2 COMPARACIÓN CON ESQUEMA ACTUAL DE PRODUCCIÓN

Ahora se presentará un análisis comparativo. Para éste, se seleccionó el plan de producción realizado en la semana del año con la mayor demanda, y se compara con el calendario obtenido a través del modelo propuesto.

A continuación se presenta el calendario real efectuado:

	Rosquitas de Cebolla	Rosquitas Naturales	Total	Prod. Horario Normal	Prod Horario Extendido	Costo Prod Horario Extendido
Dia 1	145	595	740	500	300	\$ 172.50
Dia 2	30	556	586	500	100	\$ 56.25
Dia 3	50	330	380	500	0	
Dia 4	96	342	438	500	0	
Dia 5	129	664	793	500	100	\$ 60.00
Dia 6		15	15	500	0	
Total	450	2502	2952		400	\$ 288.75

Cuadro 3.1: Plan de producción real

En este cuadro se puede ver que la producción real de estos días en base a la demanda provoca que hayan días en los que se produce en horas extra de trabajo lo cual genera un costo más alto de producción que es 0.56 centavos de dólar para las rosquitas naturales y 0.60 centavos de dólar para las de cebolla.

A continuación, se presenta el calendario de producción propuesto por el modelo matemático, utilizando con estas mismas demandas.

PRODUCCION DE LOTES EN HORARIO NORMAL						
Producto	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
PROD1	600	400	400	400	300	400
PROD2	0	100	100	100	200	0
TOTAL	600	500	500	500	500	400

PRODUCCION DE LOTES EN HORARIO EXTENDIDO						
Producto	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
PROD1	1	0	0	0	0	0
PROD2	0	0	0	0	0	0

Fig 3-38: Plan de Producción Semanal mediante uso del modelo

Se puede apreciar que la producción en horario extendido disminuye significativamente, lo cual se traduce en una reducción de costes de producción por que el modelo propuesto en esta tesis funciona optimizando los costes de producción, en USD 288,00 por la semana en comparación.

A continuación, procedemos a realizar la comparación de la producción semanal con la demanda total de productos para cada cliente.

DEMANDA DEL PRODUCTO PROD1 POR CLIENTE (EN UNIDADES)						
Demanda	C1	C2	C3	C4	C5	TOTAL
REAL	1130	743	391	158	82	2504
ATENDIDA	1126	743	391	158	82	2500
DIFERENCIA	-4	0	0	0	0	-4

DEMANDA DEL PRODUCTO PROD2 POR CLIENTE (EN UNIDADES)						
Demanda	C1	C2	C3	C4	C5	TOTAL
REAL	218	134	77	22	1	452
ATENDIDA	218	134	77	22	1	452
DIFERENCIA	0	0	0	0	0	0

COSTO DE DEMANDA NO ATENDIDA (EN USD)					
Producto	C1	C2	C3	C4	C5
PROD1	\$ 4.40	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
PROD2	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00

Fig 3-39: Demanda vs Producción (Semana de mayor demanda)

El cuadro de demandas indica que hay cuatro unidades que no fueron producidas, tal como se realizó el análisis anterior, esto se debe al criterio del modelo matemático en la optimización de los costes de producción. Esto puede observarse también en el histograma donde se analiza gráficamente la demanda atendida vs la demanda no atendida para el producto Prod1 mostrado a continuación.

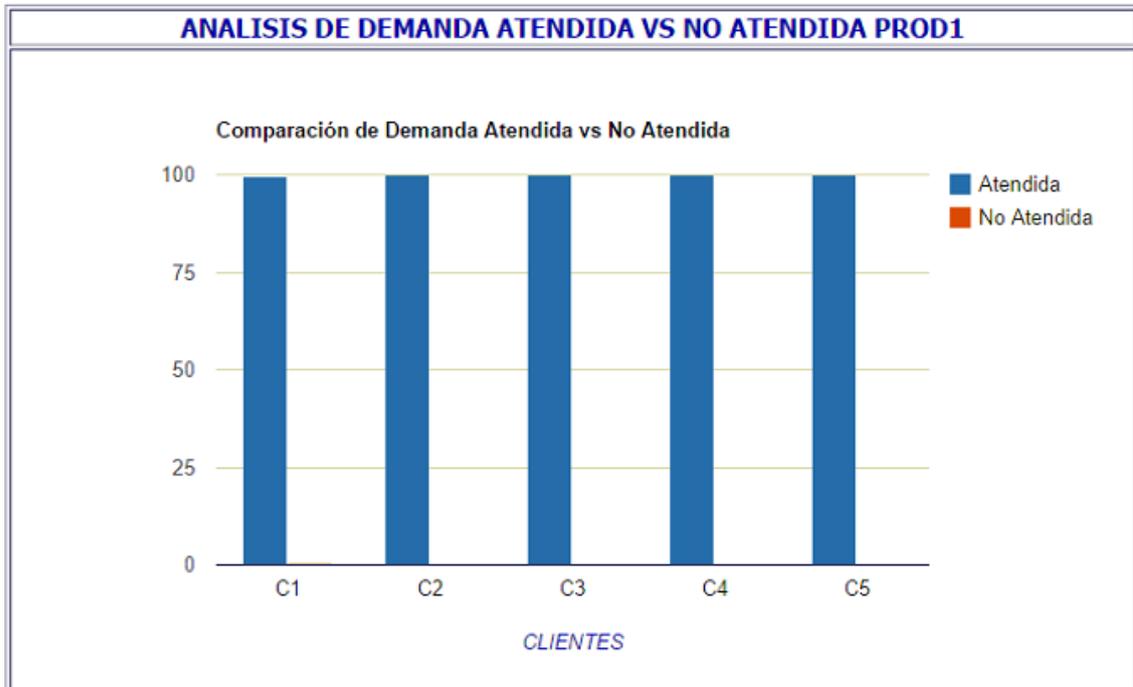


Fig 3-40: Demanda atendida vs demanda no atendida para el Prod1

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

El uso de las herramientas estadísticas nos permitió realizar un pronóstico bastante confiable, debido a que las comparaciones mostradas en las tablas 3-2 y 3-4 de la demanda evidencian que el pronóstico representa el comportamiento real de la demanda, esto nos permite tener una imagen clara del rumbo que está tomando la empresa, así tomar medidas de gestión de producción o despacho.

Se realizó el planteamiento y ejecución de un modelo matemático ajustado a las características y necesidades de la compañía cuyo resultado nos permite observar las falencias del esquema actual de planificación de la producción. Los resultados de la comparación realizada entre el esquema actual y el propuesto, nos muestran que con el uso de la programación lineal se puede mejorar la productividad obteniendo grandes beneficios para la empresa los cuales son producidos por una reducción de las horas extras los cuales varían desde un 10 hasta un 25% dependiendo de la demanda de la semana.

Tal como se observó en el capítulo 3 el modelo diseña un calendario de producción que mejora la distribución de las cantidades de producción diarias dentro de una semana, optimizando las cantidades a producir, recomendando no producir pedidos los cuales no sean rentables.

Hay que tener en cuenta que las recomendaciones y los resultados del modelo con respecto al no despacho por falta de rentabilidad deben ser discutidas con las personas de marketing, debido a que la ausencia del producto cuando se lo requiere podría generar un impacto negativo en la imagen del producto, mermando el crecimiento de la demanda.

El trabajar con este tipo de esquema, que ayuda a establecer pronósticos y calendarios, permite que las empresas pequeñas y medianas compitan con mejores costos estableciendo un orden, a sus procesos productivos y así preparándolas para oportunidades de crecimiento, debido a que saben sus límites de producción y despacho esto les facilitara las decisiones de inversiones para aumentar su capacidad productiva, ya sea contratando más personal o adquiriendo nuevos activos fijos.

4.2 RECOMENDACIONES

El uso de este esquema de gestión de producción y despacho debe ser monitoreado constantemente, y actualizado con los nuevos datos de demanda semanal, para que pueda adquirir los nuevos comportamientos de la demanda si es que estos llegaran a surgir.

Adicional es necesario revisar si el modelo planteado sigue siendo el mejor para la predicción dada la incorporación de los nuevos datos, debido a que si se abren nuevos locales para el consumo, es posible que el incremento de la demanda se dé en un salto, teniendo que recurrir a variables dicotómicas (dummies), para la predicción.

Se recomienda en esta tesis considerar el impacto psicológico y económico tanto en el presente como en el futuro la no atención de la demanda, aspectos que no están dentro del alcance de esta tesis, pero que pueden ser de gran interés para un estudio más profundo.

Este trabajo no se centró en las posibilidades de ampliar los efectos de aumentar la demanda mediante promociones y publicidad, lo cual cambiaría el modelo de predicción haciendo que se evalué posibilidades de inversiones fuertes para cubrir un posible aumento de la demanda.

Para realizar este tipo de trabajo es necesario tener los datos de la demanda real, las capacidades de producción de las maquinas el costo de los insumos de producción, las fechas de despacho y los números de clientes que se tiene, no es recomendable asumir alguno de estos debido a que esto afectara de forma directa el resultado tanto del pronóstico de la demanda como del calendario de producción.

La implementación de este esquema debe estar acompañada con constantes revisiones de las personas encargadas y los calendarios deben ser publicados y difundidos para que todos los trabajadores puedan programar sus actividades, de manera correcta.

Tal como se realizó en esta tesis, una vez que se tenga el plan de trabajo es recomendable comparar ambos esquemas para verificar las potenciales mejoras, esto servirá como respaldo para explicar a la administración de la nueva forma de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Heydi Roa, 2010, **Modelamiento de la cadena de abastecimiento agroalimentaria de una empresa productora y comercializadora de pollos de engorde**, tesis de maestría.
- [2] Joseph Louis Lagrange, 1788, **La Mécanique analytique**, publicación matemática.
- [3] Pierre de Fermat, 1670, **Teoría de números**, publicación.
- [4] Isaac Newton, 1687, **Arithmetica Universalis**, Londres, Cambridge.
- [5] Carl Friedrich Gauss, 1801, **Disquisitiones Arithmeticae**, Tesis Doctoral.
- [6] George B. Dantzig, 1947, **Linear Programming**, Edited by R.W. Cottle. Mathematical Programming Society.
- [7] Victor Vega, 2010, **Diseño de un modelo matemático aplicado a la secuencia y balanceo de ordenes de trabajo en una empresa productora de yogurt**, tesis de maestría.
- [8] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi, 1983, **Optimization by Simulated Annealing**, *Science*, vol. 220, pp. 671–680.
- [9] Vlado Černý, 1985, **Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm**, vol. 45, pp. 41–51.
- [10] D.E. Goldberg, 1989, **Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**, Addison-Wesley, Reading, MA.
- [11] J. Holland, 1975. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**, University of Michigan Press, Ann Arbor.
- [12] C. Reeves (1993). **Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems**, Blackwell Scientific

APENDICE

COGIGO EN R

TRATAMIENTO DE LOS DATOS.

```
setwd("C:/Escritorio/R")
datos=read.delim("datos 2010 11 12.txt")
datos$Fecha=as.Date(as.character(datos$Fecha))
datos$semana=as.numeric(format(datos$Fecha,"%U"))
datos$semana[datos$semana==53]=52
datos$año=as.numeric(format(datos$Fecha,"%Y"))
data=ftable(xtabs(cbind(CEBOLLA,NATURAL)~año+semana,datos))
cebolla=ts(data[,1],frequency=52,start=c(2010,1))
natural=ts(data[,2],frequency=52,start=c(2010,1))
```

PREDICCION

```
plot(cebolla)
monthplot(cebolla)
plot(diff(cebolla,lag=52))
monthplot(diff(cebolla,lag=52))
acf(cebolla,lag.max=52)
pacf(cebolla,lag.max=52)
acf(diff(cebolla),lag.max=52)
pacf(diff(cebolla),lag.max=52)
acf(diff(cebolla,lag=52),lag.max=52)
pacf(diff(cebolla,lag=52),lag.max=52)
```

```
m1=arima(cebolla,c(0,1,1))
```

```
m2=arima(cebolla,c(0,0,0),c(0,1,1))
```

```
m3=arima(cebolla,c(0,0,0),c(1,0,1))
```

```
AIC(m1,m2,m3)
```

```
p2=predict(m2,2)
```

```
ts.plot(cebolla,p2$pred,p2$pred-  
1.96*p2$se,p2$pred+1.96*p2$se,col=c(1,2,3,3))
```

```
plot(natural)
```

```
monthplot(natural)
```

```
plot(diff(natural,lag=52))
```

```
monthplot(diff(natural,lag=52))
```

```
plot(diff(diff(natural,lag=52)))
```

```
monthplot(diff(diff(natural,lag=52)))
```

```
acf(natural,lag.max=52)
```

```
pacf(natural,lag.max=52)
```

```
acf(diff(natural),lag.max=52)
```

```
pacf(diff(natural),lag.max=52)
```

```
acf(diff(natural,lag=52),lag.max=52)
```

```
pacf(diff(natural,lag=52),lag.max=52)
```

```
acf(diff(diff(natural,lag=52),lag.max=52))
```

```
pacf(diff(diff(natural,lag=52),lag.max=52))
```

```
mn1=arima(natural,c(0,1,1))
```

```
mn2=arima(natural,c(0,0,0),c(0,1,1))
```

```
mn3=arima(natural,c(0,0,0),c(1,0,1))
```

```
mn4=arima(natural,c(0,0,0),c(0,2,2))
```

```
mn2=arima(natural,c(0,1,1),c(0,1,1))
```

```
AIC(mn1,mn2,mn3,mn4)
```

```
pn=predict(mn2,35)
```

```
ts.plot(natural,pn$pred,pn$pred-  
1.96*pn$se,pn$pred+1.96*pn$se,col=c(1,2,3,3))
```

```
pn=predict(mn5,35)
```

```
ts.plot(natural,pn$pred,pn$pred-  
1.96*pn$se,pn$pred+1.96*pn$se,col=c(1,2,3,3))
```

PROGRAMACION EN GAMS

OPTION OPTCR = 0.5;

SETS

p PRODUCTOS /PROD1, PROD2/
t DIAS /LUN, MAR, MIE, JUE, VIE, SAB/
c CLIENTES /C1*C5/
h HORARIO /NORMAL, EXTRA/

PARAMETERS

COSTOPROD(p, h) COSTO DE PRODUCIR EL PRODUCTO p EN
EL HORARIO h
CAPACIDADPROD(t, h) CANTIDAD MAXIMA DE UNIDADES DE
PRODUCTO QUE SE PUEDEN PRODUCIR EN EL DIA t EN EL HORARIO h
RECEPCION(t, c) MATRIZ BINARIA QUE INDICA QUE DIAS
SE PUEDE DESPACHAR A UN CLIENTE
DEMANDAPRODCLI(p, c) DEMANDA DEL PRODUCTO p POR PARTE
DEL CLIENTE c

```
$CALL GDXRW ROSQUITAS.xls Set=p rng=valores!A2:A3 Rdim=1  
Set=h rng=valores!B1:C1 Cdim=1 Par=COSTOPROD  
rng=valores!A1:C3 Rdim=1 Cdim=1  
$GDXIN ROSQUITAS.gdx  
$LOAD COSTOPROD  
$GDXIN
```

```
$CALL GDXRW ROSQUITAS.xls Set=t rng=valores!A7:A12 Rdim=1  
Set=h rng=valores!B6:C6 Cdim=1 Par=CAPACIDADPROD  
rng=valores!A6:C12 Rdim=1 Cdim=1  
$GDXIN ROSQUITAS.gdx  
$LOAD CAPACIDADPROD  
$GDXIN
```

```
$CALL GDXRW ROSQUITAS.xls Set=t rng=valores!A16:A21 Rdim=1  
Set=c rng=valores!B15:F15 Cdim=1 Par=RECEPCION  
rng=valores!A15:F21 Rdim=1 Cdim=1  
$GDXIN ROSQUITAS.gdx  
$LOAD RECEPCION  
$GDXIN
```

```
$CALL GDXRW ROSQUITAS.xls Set=p rng=valores!A25:A26 Rdim=1  
Set=c rng=valores!B24:F24 Cdim=1 Par=DEMANDAPRODCLI  
rng=valores!A24:F26 Rdim=1 Cdim=1  
$GDXIN ROSQUITAS.gdx  
$LOAD DEMANDAPRODCLI  
$GDXIN
```

SCALAR

ORDENMIN PEDIDO MINIMO A DESPACHAR A CUALQUIER
 CLIENTE /10/
 PRECIOVENTA PRECIO DE VENTA DEL PRODUCTO /1.1/

VARIABLES

COST FUNCION OBJETIVO

INTEGER VARIABLES

X(p, t, c, h) CANTIDAD A PRODUCIR DEL PRODUCTO p EN
 EL HORARIO h DEL DIA t DESTINADO AL CLIENTE c
 S(p, t, c) VARIABLE DE SALDO DEL PRODUCTO p EN EL
 DIA t DESTINADO AL CLIENTE c
 L(p, t, h) TOTAL DE LOTES DEL PRODUCTO p
 PRODUCIDOS EL DIA t

positive VARIABLE

PROPDEM(p, t, c) PROPORCION DE LA DEMANDA TOTAL DEL
 CLIENTE c EN EL DIA t
 PROPDEMNA(p, c) PROPORCION DE LA DEMANDA TOTAL DEL
 CLIENTE c NO ATENDIDA;

X.up(p, t, c, h) = 10000;
 S.up(p, t, c) = 10000;
 L.up(p, t, h) = 10000;

EQUATIONS

COSTO COSTO TOTAL,
 CAPACIDAD(t, h) CAPACIDAD DE PRODUCCION,
 FLUJO(p, t, c) SALDO DE PRODUCTO PRODUCIDO,
 PEDIDOMIN(t, c) PEDIDO MINIMO,
 PROPORCIOND(p, c) PROPORCION DE LA DEMANDA,
 LOTE(p, t, h) LOTES PRODUCIDOS;

COSTO.. COST =E= SUM[(p, t, c, h) ,
 COSTOPROD(p, h) * X(p, t, c, h)] + PRECIOVENTA *
 SUM[(p, c) , PROPDEMNA(p, c) * DEMANDAPRODCLI(p, c)] ;
 CAPACIDAD(t, h) .. SUM[(p, c) , X(p, t, c, h)] =L=
 CAPACIDADPROD(t, h) ;
 FLUJO(p, t, c) .. S(p, t, c) =E= S(p, t-1, c) + SUM[(h) ,
 X(p, t, c, h)] - (RECEPCION(t, c) * DEMANDAPRODCLI(p, c) *
 PROPDEM(p, t, c)) ;
 PEDIDOMIN(t, c) .. SUM[(p) , PROPDEM(p, t, c) *
 DEMANDAPRODCLI(p, c)] =G= RECEPCION(t, c) * ORDENMIN;
 PROPORCIOND(p, c) .. SUM[(t) , RECEPCION(t, c) *
 PROPDEM(p, t, c)] + PROPDEMNA(p, c) =E= 1;
 LOTE(p, t, h) .. L(p, t, h) =E= SUM[(c) , X(p, t, c, h)] /
 100;

MODEL

ROSQUITAS /ALL/

SOLVE

ROSQUITAS USING MIP MIN COST

DISPLAY

COSTOPROD, CAPACIDADPROD, DEMANDAPRODCLI, RECEPCION,
COST.1, X.1, S.1, PROPDEM.1, L.1, PROPDEMNA.1;

```
*****
*   PAGINA DE RESUMEN DE RESULTADOS DE LA TESIS   *
*****
FILE REPORTE /C:\TESIS\REPORTE.HTML/
PUT REPORTE

PUT '<HTML>' /
      '<HEAD><TITLE>TESIS - ROSQUITAS: RESULTADOS</TITLE>' /
      '<LINK REL="stylesheet" href="Styles.css"
type="text/css"/></head>' /
      '<BODY CLASS="FondoPagina">' /

      '<TABLE>' /
      '<TR><TD CLASS="TituloAlterno" COLSPAN="2"
ALIGN=CENTER>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL
LITORAL</TD></TR>' /
      '<TR><TD CLASS="TituloAlterno" COLSPAN="2"
ALIGN=CENTER>MAESTRIA EN CONTROL DE OPERACIONES Y
LOGISTICA</TD></TR>' /
      '<TR><TD><IMG WIDTH="150" HEIGHT="150"
SRC="logo.jpg"/></TD>' /
      '<TD CLASS="Titulo" ALIGN=CENTER>TESIS DE
GRADO:<BR/><BR/> La Problemática de la producción de
rosquitas de harina: <BR>' /
      '<BR/> Resolución mediante diseño de un modelo matemático
<BR/> para establecer el plan de producción semanal' /
      '</TD></TR>' /

      '<TR><TD COLSPAN="2">' /
      '<TABLE BORDER="1" WIDTH=100%><TR><TD ALIGN=CENTER
CLASS="Titulo">RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO
MATEMÁTICO</TD></TR>' /
      '<TR><TD ALIGN=CENTER><BR>' /
      '<TABLE BORDER="1"><TR><TD CLASS="Etiqueta" >Costo
Total deL Plan de Producción Semanal:</TD>' /
      '<TD> $ ' COST.1
'</TD></TR></TABLE><BR><BR></TD></TR>' /

      '<TR><TD>' /
      '<TABLE BORDER="1" WIDTH=100%>' /
      '<TR><TD ALIGN=CENTER CLASS="Etiqueta" >SELECCIONE LA
INFORMACION A CONSULTAR</TD></TR>' /
```

```
'<TR><TD ALIGN=CENTER CLASS="TextoNormal"><A
HREF="C:\TESIS\CALEDARIOPRODUCCION.HTML">Calendario de
Producción Propuesto</A></TD></TR>' /
'<TR><TD ALIGN=CENTER CLASS="TextoNormal"><A
HREF="C:\TESIS\DEMANDAATENDIDA.HTML">Demanda Atendida de
clientes</A></TD></TR>' /
'<TR><TD ALIGN=CENTER CLASS="TextoNormal"><A
HREF="C:\TESIS\DEMANDACOMPARA.HTML">Análisis de
Satisfacción de Demanda</A></TD></TR>' /
'</TABLE></TD></TR>' /
'</TABLE></TD></TR>' /
'</TABLE>' /
'</BODY>' /
'</HTML>';
```

PUTCLOSE;

```
*****
*   PAGINA DE CALENDARIO DE PRODUCCION PROPUESTO   *
*****
```

```
FILE CALEDARIOPRODUCCION
/C:\TESIS\CALEDARIOPRODUCCION.HTML/
PUT CALEDARIOPRODUCCION
```

```
PUT '<!DOCTYPE html><HTML>'/
'<HEAD><TITLE>TESIS - ROSQUITAS: CALENDARIO DE
PRODUCCION</TITLE>'/
'<LINK REL="stylesheet" href="Styles.css"
type="text/css"/>'/
"<script type='text/javascript'
src='https://www.google.com/jsapi'></script>"/
"<script type='text/javascript'>"/
" google.load('visualization', '1',
{packages:['table']});"/
" google.setOnLoadCallback(drawTable);"/
" function drawTable() {"/
"     var data = new google.visualization.DataTable();"/
"     data.addColumn('string', 'Producto');"/
*   agrego los dias a la tabla
LOOP (t, PUT "     data.addColumn('number', '" t.TL
'');"/);
PUT "     data.addRows(["/
LOOP (p, PUT "[" p.TL "'
LOOP (t, PUT ", " SUM[(c,h), X.l(p,t,c,h)]) PUT
"],"/);
PUT "     ['TOTAL'" LOOP (t, PUT ", " SUM[(p,c,h),
X.l(p,t,c,h)]); PUT "],"/
PUT "     ]);"/
"     var table = new
google.visualization.Table(document.getElementById('table_p
lan')));"/
```

```

"    table.draw(data);"/
"  }"/
'</script>'/
"<script type='text/javascript'>"/
"  google.load('visualization', '1',
{packages:['table']});"/
"  google.setOnLoadCallback(drawTable);"/
"  function drawTable() {"/
"    var data = new google.visualization.DataTable();"/
"    data.addColumn('string', 'Producto');"/
*  agrego los dias a la tabla
  LOOP (t, PUT "    data.addColumn('number', '" t.TL
"');"/);
PUT "    data.addRows(["/
  LOOP (p, PUT "[" p.TL "'
    LOOP (t, PUT ", " L.l(p,t,'EXTRA')) PUT "],"/);
PUT "  ]);"/
"    var table = new
google.visualization.Table(document.getElementById('table_1
ote'));"/
"    table.draw(data);"/
"  }"/
'</script>'/
'</head>'/
'<BODY CLASS="FondoPagina">'/

'<TABLE>'/
'<TR><TD CLASS="TituloAlterno" COLSPAN="2"
ALIGN=CENTER>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL
LITORAL</TD></TR>'/
'<TR><TD CLASS="TituloAlterno" COLSPAN="2"
ALIGN=CENTER>MAESTRIA EN CONTROL DE OPERACIONES Y
LOGISTICA</TD></TR>'/
'<TR><TD><IMG WIDTH="150" HEIGHT="150"
SRC="logo.jpg"/></TD>'/
'<TD CLASS="Titulo" ALIGN=CENTER>TESIS DE
GRADO:<BR/><BR/> La Problemática de la producción de
rosquitas de harina: <BR>'/
'Resolución mediante diseño de un modelo matemático
<BR/> para establecer el plan de producción semanal'/
'</TD></TR>'/

'<TR><TD COLSPAN="2">'/
'<TABLE BORDER="1" WIDTH=100%><TR><TD ALIGN=CENTER
CLASS="Titulo">PRODUCCION DE LOTES EN HORARIO
NORMAL</TD></TR>'/
'<TR><TD><DIV ID="table_plan" STYLE="width: 500px;
height:150px;"></DIV><TR><TD>'/
'<TR><TD ALIGN=CENTER CLASS="Titulo">PRODUCCION DE
LOTES EN HORARIO EXTENDIDO</TD></TR>'/
'<TR><TD><DIV ID="table_lote" STYLE="width: 500px;

```

```
height:150px;"></DIV><TR><TD>' /
    '</TABLE></TD></TR>' /
    '</TABLE>' /
    '<A HREF="C:\TESIS\REPORTE.HTML">Regresar</A>' /
    '</BODY>' /
    '</HTML>';
```

PUTCLOSE;

```
*****
*   PAGINA DE ATENCION DE DEMANDA   *
*****
```

```
FILE DEMANDAATENDIDA /C:\TESIS\DEMANDAATENDIDA.HTML/
PUT DEMANDAATENDIDA
```

```
PUT '<!DOCTYPE html><HTML>' /
    '<HEAD><TITLE>TESIS - ROSQUITAS: ATENCION DE DEMANDA</TITLE>' /
    '<LINK REL="stylesheet" href="Styles.css" type="text/css"/>' /
    '<script type="text/javascript" src="https://www.google.com/jsapi"></script>' /
```

```
LOOP (p,
PUT "<script type='text/javascript'>"/
    " google.load('visualization', '1', {packages:['table']});"/
    " google.setOnLoadCallback(drawTable);"/
    " function drawTable() {"/
    "     var data = new google.visualization.DataTable();"/
    "     data.addColumn('string', 'Demanda');"/
    LOOP (c, PUT "     data.addColumn('number', ' " c.TL
    ');"/);
PUT "     data.addColumn('number', 'TOTAL');"/
    "     data.addRow(['REAL',"/
    LOOP (c, PUT DEMANDAPRODCLI(p,c) PUT ",")
PUT SUM[(c), DEMANDAPRODCLI(p,c)] PUT "],"/
PUT "     ['ATENDIDA',"/
    LOOP (c, PUT SUM[(t), PROPDEM.l(p,t,c) * DEMANDAPRODCLI(p,c)] PUT ",")
PUT SUM[(t,c), PROPDEM.l(p,t,c) * DEMANDAPRODCLI(p,c)] PUT
    "],"/
PUT "     ['DIFERENCIA',"/
    LOOP (c, PUT (SUM[(t), PROPDEM.l(p,t,c) * DEMANDAPRODCLI(p,c)] - DEMANDAPRODCLI(p,c)) PUT ",")
PUT (SUM[(t,c), PROPDEM.l(p,t,c) * DEMANDAPRODCLI(p,c)] - SUM[(c), DEMANDAPRODCLI(p,c)]) PUT "],"/
PUT "     ]);"/
    "     var table = new
google.visualization.Table(document.getElementById('table_d
emanda_' p.TL PUT '));"/
```

```

PUT "    var formatter = new
google.visualization.ColorFormat();"
    "    formatter.addRange(-999999, 0, 'red', 'yellow');"
    LOOP (c, PUT "formatter.format(data," PUT (ORD(c)):2:0
");"/);
PUT "    table.draw(data,{allowHtml: true});"/
    " }"/
    '</script>'/)

PUT "<script type='text/javascript'>"/
    " google.load('visualization', '1',
{packages:['table']});"/
    " google.setOnLoadCallback(drawTable);"/
    " function drawTable() {"/
    "     var data = new google.visualization.DataTable();"/
    "     data.addColumn('string', 'Producto');"/
    LOOP (c, PUT "     data.addColumn('string', '" c.TL
");"/);
PUT "     data.addRows(["/
    LOOP (p, PUT "[" p.TL ""
        LOOP (c, PUT ", '$ " (PROPDEMNA.l(p,c) *
DEMANDAPRODCLI(p,c) * PRECIOVENTA) PUT "" ) PUT "],"/);
PUT "     ]);"/
    "     var table = new
google.visualization.Table(document.getElementById('table_n
oatendida'));"/
    "     table.draw(data);"/
    " }"/
    '</script>'/
    '</head>'/
    '<BODY CLASS="FondoPagina">'/

    '<TABLE>'/
    '<TR><TD CLASS="TituloAlterno" COLSPAN="2"
ALIGN=CENTER>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL
LITORAL</TD></TR>'/
    '<TR><TD CLASS="TituloAlterno" COLSPAN="2"
ALIGN=CENTER>MAESTRIA EN CONTROL DE OPERACIONES Y
LOGISTICA</TD></TR>'/
    '<TR><TD><IMG WIDTH="150" HEIGHT="150"
SRC="logo.jpg"/></TD>'/
    '<TD CLASS="Titulo" ALIGN=CENTER>TESIS DE
GRADO:<BR/><BR/> La Problemática de la producción de
rosquitas de harina: <BR>'/
    'Resolución mediante diseño de un modelo matemático
<BR/> para establecer el plan de producción semanal'/
    '</TD></TR>'/

    '<TR><TD COLSPAN="2">'/
    '<TABLE BORDER="1" WIDTH=100%>'
LOOP (p,

```

```

PUT '<TR><TD ALIGN=CENTER CLASS="Titulo">DEMANDA DEL
PRODUCTO ' p.TL PUT ' POR CLIENTE (EN
UNIDADES)</TD></TR>' /
    '<TR><TD><DIV ID="table_demanda_' p.TL PUT '"
STYLE="width: 500px; height:150px;"></DIV><TR><TD>' / )
PUT '<TR><TD ALIGN=CENTER CLASS="Titulo">COSTO DE DEMANDA
NO ATENDIDA (EN USD)</TD></TR>' /
    '<TR><TD><DIV ID="table_noatendida" STYLE="width:
500px; height:150px;"></DIV><TR><TD>' /
    '</TABLE></TD></TR>' /
    '</TABLE>' /
    '<A HREF="C:\TESIS\REPORTE.HTML">Regresar</A>' /
    '</BODY>' /
    '</HTML>';

```

PUTCLOSE;

```

*****
*   PAGINA DE ANALISIS DE DEMANDA   *
*****

```

```

FILE DEMANDACOMPARA /C:\TESIS\DEMANDACOMPARA.HTML/
PUT DEMANDACOMPARA

```

```

PUT '<!DOCTYPE html><HTML>' /
    '<HEAD><TITLE>TESIS - ROSQUITAS: ATENCION DE
DEMANDA</TITLE>' /
    '<LINK REL="stylesheet" href="Styles.css"
type="text/css"/>' /
    "<script type='text/javascript'
src='https://www.google.com/jsapi'></script>"/
LOOP (p,
PUT "<script type='text/javascript'>"/
    " google.load('visualization', '1',
{packages:['corechart']});"/
    " google.setOnLoadCallback(drawChart);"/
    " function drawChart() {"/
    "     var data =
google.visualization.arrayToDataTable(["/
    "         ['Cliente', 'Atendida', 'No Atendida'],"
    "         LOOP (c, PUT "[" c.TL PUT "", " (SUM[t),
PROPDEM.l(p,t,c)] * 100) PUT ", " (PROPDEMNA.l(p,c) * 100)
PUT "], " /)
PUT "     ]);"/
    "     var options = {"/
    "         title: 'Comparación de Demanda Atendida vs No
Atendida ',"/
    "         hAxis: {title: 'CLIENTES', titleTextStyle:
{color: 'navy'}}"/
    "     };"/
    "     var chart = new
google.visualization.ColumnChart(document.getElementById('c

```

```

hart_ " p.TL PUT "'));"/
"      chart.draw(data, options);"/
"    }"/
"</script>"/)
PUT '</head>'/
    '<BODY CLASS="FondoPagina">'/

    '<TABLE>'/
    '<TR><TD CLASS="TituloAlterno" COLSPAN="2"
ALIGN=CENTER>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL
LITORAL</TD></TR>'/
    '<TR><TD CLASS="TituloAlterno" COLSPAN="2"
ALIGN=CENTER>MAESTRIA EN CONTROL DE OPERACIONES Y
LOGISTICA</TD></TR>'/
    '<TR><TD><IMG WIDTH="150" HEIGHT="150"
SRC="logo.jpg"/></TD>'/
    '<TD CLASS="Titulo" ALIGN=CENTER>TESIS DE
GRADO:<BR/><BR/> La Problemática de la producción de
rosquitas de harina: <BR>'/
    'Resolución mediante diseño de un modelo matemático
<BR/> para establecer el plan de producción semanal'/
    '</TD></TR>'/

    '<TR><TD COLSPAN="2">'/
    '<TABLE BORDER="1" WIDTH=100%>'
LOOP (p,
PUT '<TR><TD ALIGN=CENTER CLASS="Titulo">ANALISIS DE
DEMANDA ATENDIDA VS NO ATENDIDA ' p.TL PUT '</TD></TR>'/
    '<TR><TD><DIV ID="chart_' p.TL PUT '"' STYLE="width:
700px; height:400px;"></DIV><TR><TD>'/)
PUT '</TABLE></TD></TR>'/
    '</TABLE>'/
    '<A HREF="C:\TESIS\REPORTE.HTML">Regresar</A>'/
    '</BODY>'/
    '</HTML>';

PUTCLOSE;

EXECUTE '=shellexecute C:\TESIS\REPORTE.HTML';

```