

**PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE
INVENTARIOS EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE FERTILIZANTES**

JUAN DAVID BOTERO HENAO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BUGA**

2020

**PROPUESTA DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE
INVENTARIOS EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE FERTILIZANTES**

JUAN DAVID BOTERO HENAO

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
INDUSTRIAL**

DIRECTOR:
MARIO JOSÉ BASALLO TRIANA

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
BUGA**

2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO 1

JURADO 2

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. OBJETIVO GENERAL	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
3. JUSTIFICACIÓN.....	7
4. ESTADO DEL ARTE	8
5. MARCO TEORICO	11
5.1. CLASIFICACIÓN ABC	11
5.2. PRONÓSTICOS DE LA DEMANDA	12
5.2.1. Series de tiempo	13
5.2.2. Inventario de seguridad, errores suavizados y señales de rastreo	18
5.3. CONTROL DE INVENTARIO	19
5.3.1. Sistemas de revisión continua.....	19
5.3.2. Costos asociados a la gestión de inventarios	20
5.3.3. Inventarios de seguridad	22
5.3.4. Tamaño de pedido	23
5.3.5. Niveles de servicio	24
6. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	25
6.1. CASO DE ESTUDIO.....	25
6.2. CLASIFICACIÓN ABC	26
6.3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HISTORICA (PRONÓSTICOS DE DEMANDA)	30
6.3.1. Análisis de tendencia	30
6.3.2. Métodos de pronósticos	33
6.4. SISTEMAS DE CONTROL DE INVENTARIO	44
6.4.1. Factores de costos	44
6.4.2. Aplicación de sistemas de control de inventario.....	47
6.4.3. Simulación de sistemas de inventario	54
6.4.1. Comparación de resultados y selección de política de inventario .	62
6.5. SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PROPUESTO	64

6.6.	COMPARACIÓN DE MÉTODO PROPUESTO CON MÉTODO ACTUAL	
	66	
6.6.1.	Metodología actual	66
6.6.1.	Comparación de resultados	66
7.	CONCLUSIONES	70
	BIBLIOGRAFÍA.....	72

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Flujograma de producción de la empresa	26
Gráfica 2. Ejemplo de comportamiento de ventas del producto UREA GRANULADA SACOX50KG	32
Gráfica 3. Ejemplos de comportamiento de patrón de ventas.	33
Gráfica 4. Comparación porcentaje de error MAPE en métodos de pronóstico	43
Gráfica 5. Comparación de costos (mantener, ordenar, faltantes) de las políticas de control evaluadas.....	61
Gráfica 6. Comparación niveles de servicio políticas abordadas.....	61
Gráfica 7. Contextualización diseño de propuesta.....	65
Gráfica 8. Comparación de costos metodología propuesta vs metodología actual	68
Gráfica 9. Comparación de nivel de servicio de las diferentes políticas	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de métodos de pronóstico	12
Tabla 2. Clasificación de sistemas de pronóstico de acuerdo al patrón de demanda.....	13
Tabla 3. Clasificación de los costos por faltante	21
Tabla 4. Cálculo de Q corregido	23
Tabla 5. Clasificación de niveles de servicio.....	24
Tabla 6. Clasificación ABC categoría A	27
Tabla 7. Clasificación ABC categoría B	28
Tabla 8. Clasificación ABC categoría C	28
Tabla 9. Coeficiente de variación ítems A.....	30
Tabla 10. Coeficiente de variación ítems B.....	31
Tabla 11. Resultados suavización exponencial simple UREA GRANULADA SACOX50KG	34
Tabla 12. Método suavización exponencial doble Excel UREA GRANULADA SACOX50KG	36
Tabla 13. Ejemplo de cálculo de valores estacionales.....	37
Tabla 14. Ejemplo de normalización de factores estacionales	37
Tabla 15. Ejemplo método Winters Excel UREA GRANULADA SACOX50KG	38
Tabla 16. Ejemplo de inicialización método Croston.....	39
Tabla 17. Método Croston Excel NAXTROM SACO X 50KG	40
Tabla 18. ECMS UREA GRANULADA SACOX50KG	41
Tabla 19. Comparación ECM métodos de pronóstico por producto.....	42
Tabla 20. Comparación de métrica MAPE en métodos de pronóstico	43
Tabla 21. Tasa de mantener inventario r	45
Tabla 22. Valores unitarios por tonelada	46
Tabla 23. Costos de alistamiento A	46
Tabla 24. Pronósticos producto MEZCLAS AC.....	48
Tabla 25. Determinación simultanea de Q y k	51
Tabla 26. Resultados teóricos con Q por EOQ	51
Tabla 27. Resultados teóricos con determinación simultanea de Q y k.....	53
Tabla 28. Ejemplo simulación (s,Q) FORKAMIX MEZCLA 25-4-24.....	56
Tabla 29. Ejemplo simulación (s,S) FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	57
Tabla 30. Ejemplo simulación (s,Q) OPT FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	58
Tabla 31. Ejemplo simulación (s,S) OPT FORKAMIX MEZCLA 25-4-24.....	59
Tabla 32. Simulación de sistema de pedido dinámico FORKAMIX MEZCLA 25-4-24.....	60
Tabla 33. Comparación de resultados de simulación variantes de sistemas (s,Q) y (s,S) parte 1	62
Tabla 34. Comparación de resultados de simulación variantes de sistemas parte 2.....	63
Tabla 35. Comparación de resultados políticas de pedido	64
Tabla 36. Política de control de inventario propuesta	65
Tabla 37. Ejemplo de desarrollo método actual FORKAMIX MEZCLA 25-4-24.....	67

Tabla 38. Comparación de propuesta vs metodología actual68

RESUMEN

Los faltantes de inventario o la falta de control de los niveles de inventario son un problema que se presenta en muchas empresas, esta problemática afecta directamente los niveles de servicio frente a los clientes que a su vez conlleva a una pérdida de imagen frente a estos.

El objetivo de este trabajo de grado es presentar una propuesta de gestión de inventarios para el caso específico de una empresa productora de fertilizantes con la cual se pretende dar solución o reducir en un máximo posible dentro de la propuesta los niveles de faltantes presentados lo que lleva a una mejora en niveles de servicio y reducción en los costos ocasionados por faltantes.

Finalmente se valida la propuesta de control de inventario a través de una comparación con la metodología actual manejada por la empresa, donde se puede observar que la propuesta logra reducir de manera considerable los niveles de faltantes y con ello mejorar los niveles de servicio esperados como también reducir los costos causados por la falta de inventario.

Palabras clave: CONTROL DE INVENTARIO, METODOLOGÍA PROPUESTA, NIVELES DE FALTANTE.

INTRODUCCIÓN

La gestión de inventarios es un tema de amplia relevancia en las empresas, en esta se deben mantener las actividades de supervisión y mantenimiento de inventario, sin embargo, es uno de los factores o actividades con más irregularidades o problemas, esto debido a la complejidad de la naturaleza de los inventarios, sin embargo, existen metodologías enfocadas a mejorar este aspecto de la cadena de abastecimiento de las empresas.

No obstante, una deficiente gestión de inventarios puede ocasionar problemas reflejados en una disminución del servicio frente a los clientes y un aumento de costos (ya sea porque se toman medidas para contrarrestar los faltantes o porque directamente estos se pierden las ventas). Desde un punto de vista logístico el nivel de servicio consiste en la cantidad de demanda que se puede satisfacer, por lo que a mayor nivel de faltantes menor es la cantidad de demanda que se puede suplir.

De acuerdo con esto, se puede pensar que la solución es tener niveles de inventario muy elevados, sin embargo, este es el otro límite del problema ya que tener demasiados inventarios no es una solución por los costos que esto implica (niveles muy altos inventario es un problema similar a no tener inventario suficiente, debido a que se elevan los costos).

Con base en lo mencionado, en este trabajo de grado se aborda la problemática de control de inventarios enfocada a los niveles de faltantes, realizando una propuesta cuya finalidad es disminuir en un máximo posible los niveles de faltante en comparación al método actual usado por la empresa utilizando la metodología propuesta en una empresa productora de fertilizantes.

Para la realización de la propuesta metodológica se inicia con una clasificación de productos, la cual a partir del principio de Pareto se lleva a cabo una clasificación ABC donde se clasifican los productos de acuerdo a su contribución o participación en el total de ventas x costo unitario, con lo cual se seleccionan los productos a tener en cuenta en las siguientes etapas de construcción de la propuesta.

Una vez seleccionados los productos se realizan análisis de la información histórica otorgada por la empresa, con la cual se determinan los patrones de comportamiento de los productos donde se observa su tendencia estacional, seguido a esto se aplican diversos métodos de pronóstico seleccionando el que mejor se ajuste a cada producto, lo que sirve de base para la posterior toma de decisiones en cuanto a inventario se refiere.

Continuando con el desarrollo para plantear la propuesta se evalúan diversos sistemas de control de inventario, los cuales se comparan mediante simulaciones de su comportamiento, una vez simulados se comparan los resultados para posteriormente seleccionar los mejores métodos para cada

producto y así construir una propuesta de gestión basada en los resultados de los pasos anteriores.

Finalmente, la propuesta realizada se compara con la propuesta actual de manejo, comparación que al igual que en los sistemas de control de inventario se realiza a partir del proceso de simulación de las metodologías teniendo parámetros iguales para la comparación de resultados de las propuestas, lo que al final determina si la propuesta realizada tiene la capacidad de disminuir los niveles de faltante presentados.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa se dedica a la elaboración de fertilizantes para su comercialización, los cuales se clasifican en cuatro categorías: *simples*, *mezclas físicas*, *complejos* e *innovación*, de los cuales los *simples* y *mezclas físicas* representan la mayor cantidad de producto a vender.

La planta de producción ubicada en la ciudad de Buga es una instalación donde se recibe y almacena la materia prima que posteriormente se utiliza en la elaboración de los fertilizantes de acuerdo con los planes de producción que se realizan con base en las proyecciones de venta.

Anualmente se estipulan ventas del orden de cien mil toneladas de producto terminado entre las cuatro clasificaciones de estos, de los cuales los que representan un volumen de producción más elevado son los simples y las mezclas físicas.

El control de inventario se realiza de manera semanal con un método establecido con el cual se presentan altos niveles de faltantes cuando se presentan grandes variaciones en el comportamiento de los productos provocando el incumplimiento de pedidos lo que a su vez se refleja en una disminución del nivel de servicio en los clientes. La empresa estima que el nivel de servicio actual encuentra en un 90% o menos, considerado como un nivel de servicio bajo, además, el problema se refleja en pérdidas de ventas promedio estimadas por el orden de los 100 millones lo que se refleja en un aumento en los costos totales.

Teniendo en cuenta que producir sin control no es una opción dado que esto implica costos de mantener inventario más elevados (Manotas & Ramirez, 2014), se busca la manera de implementar controles de inventario que puedan mejorar o dar soporte de decisiones con relación a los niveles de inventario a mantener para cumplir los niveles de demanda (Ballou, 2004).

Supuestos:

- Se establece un tiempo de reposición (lead time) constante para las diferentes referencias.

Pregunta de investigación

¿Cómo controlar los inventarios reduciendo los problemas de inventario faltante sin incurrir en costos excesivos?

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GENERAL

Elaborar un sistema de gestión de inventarios para controlar el manejo de inventarios en la empresa productora de fertilizantes disminuyendo los problemas de excesos o faltantes de inventarios.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar pronósticos de demanda adecuados que permitan tener una estimación más acertada del comportamiento de la demanda.
- Diseñar un sistema de gestión de inventarios para disminuir los problemas de inventario faltante sin aumentar los costos.
- Comparar el sistema de gestión propuesto con el método actual de la empresa para validar los resultados en torno a la mejora del inventario faltante.

3. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales objetivos de las empresas es la satisfacción adecuada de la demanda lo cual se traduce en satisfacción del cliente final, para lograr estos objetivos es importante contar con niveles adecuados de inventario que permitan satisfacer dicha demanda, esto se logra con una adecuada gestión de inventario.

Para determinar los productos principales en los cuales centrar el desarrollo de la propuesta se realiza una clasificación ABC de la cual se determina utilizar los productos correspondientes a las categorías A y B ya que además de ser los que más participación tienen en el total de ventas, los productos de la categoría C en su gran mayoría son productos realizados bajo pedidos específicos y condiciones específicas.

De acuerdo con el comportamiento de ventas de los productos seleccionados, los cuales en su mayoría son estacionales y algunos erráticos, se emplean diferentes métodos de pronósticos (suavización exponencial simple, suavización exponencial doble, método Winters, método Croston), esto se realiza para determinar el método que mejor se ajusta para cada producto para posteriormente ser usados en el proceso de validación de políticas de inventario.

Para realizar la propuesta de la metodología, se emplean políticas de revisión continua de inventario, las cuales se simulan y se comparan los resultados con una política de pedido dinámico con las cuales se seleccionan los mejores resultados para establecer la política propuesta.

Finalmente se compara la metodología actual con la propuesta de modo que se evidencie como se reducen los niveles de inventario faltante, que al final se reflejan en una mejora del servicio al cliente final y reducción de los costos ocasionados al inventario faltante.

4. ESTADO DEL ARTE

La gestión de inventarios es un tema bastante amplio el cual ha sido abordado por gran cantidad de autores en diversas formas, a continuación, se realiza una revisión de los desarrollos de diferentes autores donde se observan adaptaciones a metodologías o propuestas de metodologías diferentes, de acuerdo con lo mencionado, se inicia con los desarrollos en torno a las metodologías de pronósticos.

Con respecto a la demanda de naturaleza variable, intermitente o esporádica, (Snyder, 2002) propone una adaptación del método de suavización exponencial en el cual incluye procesos de Bernoulli para la naturaleza esporádica de la demanda, donde en su planteamiento incluye un enfoque Bootstrap paramétrico que integra la previsión de demanda con el control de inventario. Por otra parte, con la finalidad de realizar pronósticos precisos de demanda para los ítems de demanda intermitente (con periodos de demanda cero) los autores (Willemain, Smart, & Schwarz, 2004) basan su propuesta en la utilización de conjuntos de datos donde se muestra el método bootstrapping mostrando pronósticos más precisos de la distribución de la demanda en un plazo de ejecución específico fijado por métodos de suavización exponencial y Croston.

En busca de proyecciones más acertadas que se ajusten de manera más representativa a la demanda de mercado los autores (Escobar, Díaz , & Taracena, 2010) a través de variables lingüísticas las cuales son, temporada, percepción de los clientes y nivel de competencia, que son utilizadas para ajustar los modelos de pronóstico. En la búsqueda de modelos más acertados con la utilización de software de fiabilidad (Lindsey & Pavur, 2009) realizaron una propuesta de predicción para ítems de bajo movimiento con periodos de demanda cero teniendo en cuenta y realizando evaluaciones de intervalos de confianza en los pronósticos, donde se tuvo en cuenta el análisis del control de inventario, métodos de pronóstico y definición de ítems de bajo movimiento.

Un aspecto muy importante en la medición de efectividad de un método de pronóstico es la medida del error, de acuerdo con esto (Higuera, Valencia, & Correa, 2018) proponen una metaheurística basada en la optimización por colonia de hormigas para la combinación de modelos de pronósticos de múltiples productos, con el modelo realizado en el programa R se optimiza el indicador de media de error absoluto porcentual simétrico SMAPE teniendo como resultado que el proceso de estimación mejora en comparación de otros modelos utilizados facilitando una adecuada predicción de demanda para productos de una empresa del sector de cárnicos.

Mientras que (Wallström & Segersted, 2010) sugieren nuevas herramientas y modelos para la medición del error de los pronósticos, donde hacen mención que el método de Croston tiene un mejor desempeño que la suavización exponencial

simple, los cuales evalúan con datos reales intermitentes, donde también se realiza la evaluación con el método de Croston con 2 modificaciones.

En el marco del desarrollo de la gestión de inventarios diversos autores abordan la temática evaluando metodologías existentes o realizando modificaciones en la búsqueda de tener mejores resultados como lo hacen (Gutiérrez, Hurtado, Panteleeva, & González, 2013) que aplican un modelo de inventario de revisión periódica para la fabricación de bobinas de baja tensión para transformadores, donde la demanda de materiales críticos es estimada mediante los parámetros estimadores de máxima verosimilitud haciendo uso del programa R para correr el modelo de inventario del cual obtienen como resultado un costo total mínimo con un nivel de servicio del 90%

Continuando con los casos de aplicación de metodologías existentes, (Arango, Giraldo, & Castrillón, 2013) proponen un modelo de gestión de inventarios a partir de la utilización de pronósticos *holt-winters* para organizaciones comerciales y de servicios, donde los niveles de servicio son tomados en cuenta para calcular cuando ordenar. los productos son clasificados por volúmenes a través de una clasificación ABC del cual se tiene como resultado la reducción de costos manteniendo el nivel de servicio y también disminuir el número de ventas perdidas por falta de inventario.

Para el caso específico de ítems de bajo movimientos los autores desarrollan metodologías para mejorar los resultados de estos ítems, para lo cual (Pinçe & Dekker, 2011) formulan un modelo para control de inventarios de lento movimiento sujetos a obsolescencia con el que se determina el momento óptimo para el cambio de políticas de inventario demostrando que el cambio de política determina el equilibrio entre sanciones de pedidos pendientes y obsolescencia de inventarios. También se encuentra la propuesta para ítems de bajo movimiento de (Chevreux, 2010) que propone mantener toda la gama de productos en pequeñas cantidades para ítems de bajo movimiento como una alternativa de gestión más efectiva implementándola en una empresa manufacturera donde se observa un aumento en las ventas de ítems de bajo movimiento sin incurrir en aumentos de inventario o costos.

Los autores (Mohammed & Sahin, 2015) proponen un modelo de control basado en información de demanda anticipada incierta en el cual contemplan 4 tipos de demanda anticipada (1. Perfecta, 2. Con fechas de vencimiento imperfectas, 3. con cantidades de demanda imperfecta, 4. Con actualizaciones), con la finalidad de determinar los parámetros S y L (nivel de stock base y plazo de entrega de producción) del modelo para medir el impacto y los beneficios de este, del cual tuvieron como resultado una mejora poco significativa en términos de beneficios que al usarse en sistemas más pequeños resulta poco práctica.

Continuando con las propuestas de modelos (Salas & Mejía, 2017) en este caso proponen un modelo de gestión de inventarios integrado a la cadena de suministro en una empresa del sector de madera y muebles para lo cual

establecen una serie de pasos para determinar los niveles de integración (1. Definición de políticas de integración y colaboración, 2. Planificación colaborativa, 3. Integración de procesos claves y críticos, 4. Medición del desempeño, 5. elaboración de planes de acción).

Para construir el modelo de gestión de inventarios que pueda medir niveles de integración tomaron como base el modelo conceptual de Manthou, con la propuesta buscaron la disminución de problemas de cuello de botella, mejora de imagen, mejora de productividad y disminución de costos, sin embargo, los resultados de aplicación del modelo están sujetos al nivel de planificación de las empresas.

En torno a las metodologías de clasificación de productos como factor de decisión para los desarrollos metodológicos, los autores (Chakelson & Errasti, 2010) presentan la validación de una propuesta de gestión de inventarios denominada sistema experto mediante estudios de casos en el sector de distribución, donde a partir de una clasificación ABC/XYZ de las referencias se selecciona un método adecuado para la los pronósticos de la demanda, al realizar los pronósticos se calculan los stocks de seguridad y se seleccionan las estrategias de control tradicionales (continua o periódica) y se evalúan unos indicadores establecidos, al final se realizan ciclos de mejora PHVA para evaluar el desempeño del método para aplicar mejoras correspondientes, la herramienta muestra ser de utilidad permitiendo la gestión automatizada de los artículos.

Por otra parte, (Matsebatlela & Mpofu, 2015) con un enfoque en el sector de manufactura hacen un análisis de la situación de la gestión de inventarios en contraposición con los requerimientos de demanda haciendo un énfasis en los desajustes de oferta y demanda y como la clasificación ABC puede generar desaciertos y desajustarse la información histórica llegando a tener niveles muy altos de inventario por la desconexión de la cadena de suministro con la gestión de inventarios.

5. MARCO TEORICO

Según la definición de inventario, estos son la relación detallada, ordenada y valorada de los elementos que componen el patrimonio de una empresa o persona, llevando esta definición a un contexto productivo según (Ballou, 2004) los inventarios son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa.

De acuerdo con (Ballou, 2004) los inventarios se pueden clasificar en 5 categorías:

- Primera: *Inventarios que pueden hallarse en ductos.*

Esta clasificación hace referencia a los inventarios en proceso de producción (Work in Process) en diferentes niveles de la cadena de suministro.

- Segunda: *Existencias para especulación*

Incluyen los inventarios que se tienen o aumentan de acuerdo a la especulación principalmente de precios en torno a estos, también se puede incluir la especulación por necesidad de temporadas, los inventarios tenidos en cuenta en esta clasificación siguen siendo parte de la base total de inventario que se debe manejar.

- Tercera: *Existencias de naturaleza regular o cíclica.*

Estas existencias hacen mención del inventario que se debe tener para suplir la necesidad de inventario en los tiempos de reaprovisionamiento.

- Cuarta: *Inventario de protección contra la variabilidad de la demanda o existencias de seguridad*

Este tipo de inventario se tiene como inventario adicional al inventario normal de manejo para suplir la demanda, el cual es calculado a partir de procedimientos estadísticos.

- Quinta: *Existencias obsoletas, stock muerto o perdido*

Incluye los inventarios que por su naturaleza puede caducar, deteriorarse, perderse o incluso ser robado.

5.1. CLASIFICACIÓN ABC

Es una técnica utilizada para la segmentación de componentes basándose en la implementación del principio de Pareto también conocido como regla 80/20, en

el cual la mayor parte de los objetivos serán responsabilidad de un pequeño segmento.

Según (Vidal, 2010) para la definición de los rangos de clasificación (A, B o C) se escogen rangos que usualmente se establecen como:

- Ítems clase A constituyen del 10 al 20% de los primeros ítems dentro de la clasificación, contando por el 60% al 80% del valor total de las ventas anuales
- Ítems clase B constituyen entre un 20 y un 40% del total de ítems, contando por entre el 20% al 30% restante del valor anual
- Ítems clase C, usualmente los más numerosos, constituyen el resto, contando por una pequeña parte del total de la inversión en inventario, la cual usualmente no pasa del 10% del total de ventas de la empresa.

Sin embargo, la decisión final sobre los rangos de la clasificación dependerá de cada caso particular en donde se aplique esta técnica.

5.2. PRONÓSTICOS DE LA DEMANDA

Un sistema de pronósticos es una aproximación al comportamiento de la demanda basados en información historia, como lo menciona (Vidal, 2010) los pronósticos por su naturaleza predictiva siempre estarán errados porque es imposible saber con certeza que pasará en el futuro.

Los métodos de pronóstico pueden ser clasificados según el tipo de información que estos emplean para su desarrollo, en la tabla 1 se observa una clasificación de estos métodos.

Tabla 1. Clasificación de métodos de pronóstico

Métodos	Características
Cualitativos	Son fundamentalmente subjetivos y son usados ante la falta de información histórica (también usados para pronosticar ítems nuevos). Se basan principalmente en la experiencia del analista.
Series de tiempo	Son métodos cuantitativos basados en datos históricos de demanda en los cuales se asume que la demanda mantendrá un comportamiento similar al presentado en los datos históricos.
Causales	Son métodos que asumen una alta correlación entre el método de pronóstico y variables externas.
Por analogía	Son métodos de comparación de información previa sobre eventos similares con los cuales se busca realizar una aproximación acertada.
Simulación	Generalmente son combinaciones de series de tiempo y métodos causales donde se trata de simular el comportamiento de los clientes.

Fuente: Adaptado de (Vidal, 2010)

5.2.1. Series de tiempo

De acuerdo con lo mencionado con anterioridad, las series de tiempo son métodos de pronóstico realizados a partir de información histórica, la metodología de series de tiempo cuenta con diferentes sistemas de pronóstico, los cuales se plantean de acuerdo al pronóstico de demanda como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de sistemas de pronóstico de acuerdo al patrón de demanda

Patrón de demanda observado	Sistema de pronóstico recomendado
<i>Perpetua, estable o uniforme</i>	Promedio móvil o suavización exponencial simple.
<i>Con tendencia (creciente o decreciente)</i>	Regresión lineal simple o suavización exponencial doble.
<i>Demandas altamente correlacionadas</i>	Métodos integrados de promedios móviles autorregresivos (ARIMA).
<i>Errática</i>	Método de Croston y relacionados.

Fuente: Adaptado de (Vidal, 2010)

- Suavización exponencial simple

Para el cálculo de este sistema de pronósticos es necesario utilizar 3 parámetros: pronóstico del periodo anterior (el cual se toma como el promedio de los datos de demanda del periodo de inicialización), la demanda actual y una constante de suavización α .

A partir de estos parámetros se tiene la ecuación para el cálculo de los pronósticos con este sistema:

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

Donde:

S_t : Pronóstico del periodo t (periodo actual)

X_t : Demanda real del periodo t (periodo actual)

S_{t-1} : Pronóstico del periodo $t - 1$ (periodo anterior)

α : Constante de suavización definida entre $(0,01 \leq \alpha \leq 0,3)$ para aproximaciones con mejores resultados (Vidal, 2010)

- Suavización exponencial doble

Sistema de pronósticos utilizado en históricos con patrones de demanda crecientes o decrecientes para lo cual se tiene el siguiente modelo subyacente:

$$x_t = b_1 + b_2 t + \varepsilon_t$$

Donde:

$$x_t = \text{Demanda real del periodo } t \text{ (periodo actual).}$$

b_1 = Una constante que representa la componente constante de la demanda.

b_2

= Una constante que representa la componente de tendencia de la demanda (creciente o decreciente según el signo)

ε_t = Una variable aleatoria normal con media cero y varianza $\sigma_\varepsilon^2 > 0$ desconocida.

La primera ecuación utilizada corresponde a la ecuación de la suavización exponencial simple:

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

El siguiente paso como se ve en (Montgomery, Johnson, & Gardiner, 1990) consiste en aplicar de nuevo el operador S_t obteniendo la ecuación:

$$S_T^{[2]} = \alpha S_T + (1 - \alpha) S_{T-1}^{[2]}$$

El operador $S_T^{[2]}$ indica que se está operando por segunda vez.

Finalmente se tiene la ecuación para calcular el pronóstico de la demanda τ valores adelante:

$$\hat{x}_{T+\tau}(T) = \left(2 + \frac{\alpha\tau}{(1-\alpha)}\right) S_t - \left(1 + \frac{\alpha\tau}{(1-\alpha)}\right) S_T^{[2]}$$

De acuerdo con (Vidal, 2010) para iniciar el pronóstico se requieren los valores de S_0 y $S_0^{[2]}$ calculados con las siguientes ecuaciones:

$$S_0 = \hat{b}_1(0) - \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right) \hat{b}_2(0)$$

$$S_0^{[2]} = \hat{b}_1(0) - 2\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right) \hat{b}_2(0)$$

$$\hat{b}_1 = \hat{a}_1(0) + m\hat{b}_2(0)$$

Donde:

$\hat{a}_1(0)$ = Al corte con respecto al eje y de los datos historicos utilizados.

$\hat{b}_2(0)$ = Corresponde al valor de la pendiente de los datos historicos.

$\hat{a}_1(0)$

= Numero de periodos historicos utilizados para estimar los valores iniciales.

- Sistemas de pronósticos para demanda estacional (método multiplicativo de Winters)

El método multiplicativo de winters es el modelo comúnmente utilizado para casos de demanda estacional, cuyo modelo subyacente se establece mediante la expresión:

$$\hat{x}_t = (b_1 + b_2 t)C_t + \varepsilon_t$$

Como se establece en el modelo anterior, b_1 , b_2 y ε_t representan una constante, la tendencia y la variación aleatoria, por otra parte, el parámetro C_t corresponde a un factor estacional multiplicativo.

La longitud del periodo estacional se denomina L periodos y los factores estacionales C_t , definidos por:

$$\sum_{t=1}^L C_t = L$$

Este método multiplicativo utiliza tres operadores los cuales a su vez utilizan tres constantes de suavización independientes entre sí los cuales se denominan como:

$$\hat{a}_1(T) = \alpha \frac{x_t}{\hat{c}_t(T-L)} + (1 - \alpha)[\hat{a}_1(T-1) + \hat{b}_2(T-1)]$$

Con valores para α de $(0 \leq \alpha \leq 1)$

$$\hat{b}_2(T) = \beta[\hat{a}_1(T) - \hat{a}_1(T-1)] + (1 - \beta)\hat{b}_2(T-1)$$

Con valores para β de $(0 \leq \beta \leq 1)$

$$\hat{c}_t(T) = \gamma \frac{x_t}{\hat{a}_1(T)} + (1 - \gamma)\hat{c}_t(T-L)$$

Con valores para γ de $(0 \leq \gamma \leq 1)$

La estimación del pronóstico se calcula como:

$$\hat{x}_{T+\tau}(T) = [\hat{a}_1(T) + \tau\hat{b}_2(T)]\hat{c}_{T+\tau}(T + \tau - L)$$

Al igual que la suavización exponencial doble, este método requiere valores de arranque que se calculan de la siguiente forma:

Estimación de tendencia:

$$\hat{b}_2(0) = \frac{x_m - x_1}{(m - 1)L}$$

Componente estacional:

$$\hat{a}_1(0) = x_1 - \frac{L}{2} \hat{b}_2(0)$$

Factores estacionales:

$$\hat{c}_t = \frac{x_t}{x_i - \left[\frac{L+1}{2-j} \right] \hat{b}_2(0)}, \text{ Para } t = 1, 2, \dots, mL$$

Al finalizar los factores estacionales se normalizan para tener los valores de iniciación del pronóstico.

- Sistema de pronósticos para ítems de demanda errática (método de Croston)

Este método es usado en ítems de demanda errática los cuales como lo menciona (Vidal, 2010) son ítems cuyo coeficiente de variación es mayor a 1.

El método planteado por Croston tiene en cuenta la siguiente notación:

x_t = demanda observada en el periodo t

y_t

= Variable binaria (1 si ocurre demanda mayor a cero en el periodo t ; cero en el caso contrario)

$Z_t = x_t \cdot y_t$ = Tamaño de la demanda ocurrida en el periodo t

$\hat{n}_t$ = Valor estimado de n al final del periodo t

$\hat{z}_t$ = Valor estimado de z al final del periodo t

De acuerdo con la notación, al final de cada periodo t se verifica el valor de x_t . Si $x_t > 0$ es decir ocurre cierta demanda positiva se actualizan los estimadores con las siguientes ecuaciones:

$$\hat{n}_t = \alpha n_t + (1 - \alpha) \hat{n}_{t-1}$$

$$\hat{z}_t = \alpha x_t + (1 - \alpha) \hat{z}_{t-1}$$

Con valores para α de $(0, 1 \leq \alpha \leq 0, 2)$

Finalmente, el pronóstico del método de Croston se calcula de la siguiente forma:

$$\hat{x}_t = \frac{\hat{z}_t}{\hat{n}_t}$$

- Errores de pronóstico

Los errores de pronóstico consisten en la diferencia que existe entre las cantidades pronosticadas y la demanda real.

La manera más simple de calcular el error de pronóstico es:

$$e_t = x_t - \hat{x}_t$$

e_t = Error del pronóstico en el periodo t

x_t = Valor real de la demanda en el periodo t

$\hat{x}_t$ = Pronóstico de la demanda para el periodo t

Otras medidas de variabilidad más efectivas son los errores absolutos y cuadráticos:

$$\text{Error absoluto} = |e_t| = |x_t - \hat{x}_t|$$

$$\text{Error cuadrático} = e_t^2 = (x_t - \hat{x}_t)^2$$

Otras medidas de error son las medidas de error absoluto porcentual (*Absolute Percentage Error*)

$$APE = 100 * \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right|$$

$$APE' = 100 * \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{\hat{x}_t} \right|$$

Las medidas de evaluación de los errores se toman como la media de los errores de todos los periodos, y estos valores son los tenidos en cuenta para evaluar la efectividad de los pronósticos, por lo tanto, se tiene la media del error cuadrático medio (ECM), la media del error absoluto (MAD) por sus siglas en inglés y la media de los cálculos de error absoluto porcentual MAPE y MAPE' por sus siglas en inglés:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |x_t - \hat{x}_t|}{n}$$

$$ECM = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{n}$$

$$MAPE = \frac{100 * \sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right|}{n}$$

$$MAPE' = \frac{100 * \sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{\hat{x}_t} \right|}{n}$$

5.2.2. Inventario de seguridad, errores suavizados y señales de rastreo

- Inventario de seguridad

El inventario de seguridad corresponde a la cantidad de inventario que se va a mantener para responder a la demanda durante el tiempo de reposición, se estima de la siguiente manera:

$$IS = k\sigma_L \text{ (para sistemas continuos)}$$

$$IS = k\sigma_{R+L} \text{ (para sistemas de revisión periodica)}$$

Donde:

$k = \text{Factor de seguridad}$

σ_L

= Desviación estandar de los errores de pronostico sobre un periodo de duración L

σ_{R+L}

= Desviación estandar de los errores de pronostico sobre un periodo de duración $R + L$

- Errores suavizados

La finalidad de los errores suavizados es presentar una estimación dinámica del inventario de seguridad, es decir una estimación de este periodo a periodo, lo cual se realiza de la misma forma que se calcula el inventario de seguridad con la diferencia que ahora se utilizará la raíz cuadrada de los errores suavizados como medida de desviación estándar.

Los errores suavizados se calculan de la siguiente forma:

$$\text{Error suavizado} = Q(T) = we(T) + (1 - w)Q(T - 1)$$

Donde w es una constante de suavización diferente a las utilizadas en los métodos de pronóstico la cual usualmente se le da un valor de 0,1.

La MAD puede ser suavizada mediante la ecuación:

$$MADS = MAD(T) = w|e(T)| + (1 - w)MAD(T - 1)$$

La inicialización se calcula así:

$$MADS(0) \cong 0,8\hat{\sigma}_\varepsilon\sqrt{c_1}$$

$$c_t = 1 + \frac{\alpha}{(1 + \beta)^3} [(1 + 4\beta + 5\beta^2) + 2\alpha\tau(1 + 3\beta) + 2\alpha^2\tau^2]; \beta = 1 - \alpha$$

Donde:

$$\tau = 1$$

Además, la estimación de los residuos de la regresión se representa como:

$$\hat{\sigma}_\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^m (x_t - \hat{x}_t)^2}{m - 2}}$$

El ECM se suaviza de la siguiente forma:

$$ECMS(T) = we^2(T) + (1 - w)ECMS(T - 1)$$

La inicialización se calcula así:

$$ECMS(0) = \frac{\sum_{t=1}^m (x_t - \hat{x}_t)^2}{m - 2}$$

5.3.CONTROL DE INVENTARIO

Los sistemas de control de inventario se clasifican de acuerdo a los periodos de revisión de estos, sistemas de revisión continua, que consisten en la revisión de los niveles de inventario después de cada transacción y los sistemas de revisión periódica donde los niveles de inventario son revisados cada periodo determinado de tiempo.

5.3.1. Sistemas de revisión continua

Son sistemas en los cuales se revisa el inventario en todo momento, sin embargo, al ser algo imposible se procede a hacer revisión del inventario después de cada transacción realizada, por este motivo también se conocen como sistema de reporte de transacciones, este tipo de sistemas requiere menos niveles de inventario de seguridad ya que solo debe tenerse inventario de seguridad para el tiempo de reposición o lead time L.

- Sistema (s,Q)

Es un sistema sencillo en el cual se establece una cantidad fija de pedido (Q) la cual se pide cuando el nivel de inventario es igual o menor al punto de reorden, conocido de manera práctica como el sistema de los dos cajones, el cual consiste en abastecer la demanda con lo que se cuenta en el primer cajón, una vez este se termina o llega a niveles bajos se utiliza el segundo cajón que tiene una cantidad fija de inventario.

- Sistema (s,S)

En este sistema también se establece una cantidad Q sin embargo, de acuerdo al punto de reorden s , se establece un nivel máximo de pedido S , el funcionamiento de este sistema también es conocido como sistemas de mínimos y máximos, ya que una vez el inventario llega al punto de reorden se pide una cantidad de inventario de modo que se llegue al nivel máximo de inventario S .

5.3.2. Costos asociados a la gestión de inventarios

- Valor unitario del ítem v

El valor unitario del ítem expresado en $\$/_{unidad}$ (la unidad corresponde a la unidad de medida utilizada), este valor usualmente se establece como el valor de compra de los ítems.

Para productores el valor unitario se representa diferente ya que se prefiere medir el dinero invertido en el ítem (costos de producción) para ser utilizados como valor de referencia.

- Tasa de mantener inventario r

Es la tasa que se paga por el mantenimiento de inventario, (Stock & Lambert, 2001) definen que se debe incluir en este costo los costos proporcionales al volumen promedio de inventario que se mantiene, siendo estos los costos de almacenamiento y manejo, costos de espacio utilizado, costos de capital, y costos de riesgo (obsolescencia, daños, seguros e impuestos)

Con la tasa de mantener inventario se calcula el costo de mantener inventario:

$$Cm = Ivr$$

Donde:

$I =$ inventario promedio

$v =$ Valor unitario del ítem

$r =$ tasa de mantener inventario

- Costo de alistamiento o de preparación A

Estos costos hacen referencia a los costos que genera alistar una orden de pedido, es decir, todos aquellos costos de manejo de papelería e información requeridas para ejecutar una orden de pedido, en el caso de producción también se incluyen los costos asociados al alistamiento de equipos necesarios para el proceso como también insumos requeridos. Este factor de costo se toma por cada orden emitida y es independiente del tamaño de estas.

- Costo por faltante de inventario B

Este costo corresponde a los casos en que no se puede satisfacer la demanda por inventarios insuficientes y generalmente es expresado como una fracción del valor v , en la tabla 3 se observa cómo se clasifican estos costos:

Tabla 3. Clasificación de los costos por faltante

Tipo	Característica
<i>Costo especificado (B_1) por ocasión de faltante</i>	Se asume que el costo de faltante es constante y se incurre en el solo por el hecho de presentarse faltante, sin embargo, no depende de la magnitud del faltante
<i>Costo especificado (B_2v) por cada unidad faltante</i>	Se carga una fracción del valor unitario denominada B_2 que se cobra por unidad de faltante, de esta forma se tiene que el valor unitario de faltante es B_2v
<i>Costo especificado (B_3v) por cada unidad faltante por unidad de tiempo</i>	Se carga una fracción del valor unitario denominada B_3 que se cobra por unidad de faltante por unidad de tiempo, se aplica normalmente para casos de faltantes de repuestos donde se paran las máquinas hasta que llega el repuesto

Fuente: Adaptado de (Vidal, 2010)

- Costo total relevante CTR

El costo total relevante es el costo representativo de los sistemas de control, puesto que en él se incluyen los costos de ordenar, costos de mantener y costos de faltantes, es utilizado como un factor de decisión entre los sistemas de control.

Estructura de cálculo de CTR

$$CTR = \text{Costo de ordenar} + \text{costo de mantener} + \text{costo por faltante}$$

Como se observa en la estructura del CTR se incluyen los costos por faltantes y como se mencionó antes, hay 3 clasificaciones para los costos de faltantes, por este motivo se tiene las siguientes variantes para el CTR

Para B_1

$$CTR = \frac{AD}{Q} + \left(\frac{Q}{2} + k\hat{\sigma}_L \right) vr + \frac{D}{Q} B_1 p_z(k)$$

Para B_2

$$CTR = \frac{AD}{Q} + \left(\frac{Q}{2} + k\hat{\sigma}_L \right) vr + \frac{D}{Q} (B_2 v) \hat{\sigma}_L G_z(k)$$

5.3.3. Inventarios de seguridad

Cómo se mencionó anteriormente, los inventarios de seguridad se tienen para responder a la demanda en el tiempo de reposición, y para el cálculo de estos existen diferentes métodos los cuales dependen de la información con la que se cuenta.

- Inventario de seguridad basado en factores constantes

Esta es la forma más común del cálculo de inventarios de seguridad, para estimarlos se tiene en cuenta la demanda promedio durante el tiempo de reposición y la desviación estándar de la misma, sin embargo, con este método no se tiene en cuenta la variabilidad de la demanda de los ítems como lo menciona (Wild, 1997) *basar la variabilidad de la demanda en cálculos de cubrimiento de inventario (promedio) es una práctica común pero incorrecta.*

Retomando el cálculo de inventario de seguridad mencionado, se tiene que para los sistemas de control de inventario (continuo y periódico) se determina de la siguiente forma:

$$IS = k\sigma_L \text{ (para sistemas continuos)}$$

$$IS = k\sigma_{R+L} \text{ (para sistemas de revisión periodica)}$$

Donde:

k = Factor de seguridad

σ_L

= Desviación estandar de los errores de pronostico sobre un periodo de duración L

σ_{R+L}

= Desviación estandar de los errores de pronostico sobre un periodo de duración $R + L$

- Inventario de seguridad basado en el costo de faltantes

Este método se basa en el cálculo del factor de seguridad k a partir de un costo de faltantes conocido, de esta manera, el factor de seguridad se determina así:

Para casos de costo por faltante B_1 conocido:

$$k = \sqrt{2 \ln \left(\frac{DB_1}{\sqrt{2\pi} Q v \hat{\sigma}_L r} \right)}$$

Para casos de costo por faltante B_2 conocido:

Se calcula a partir de $p_z(k)$

$$p_z(k) = \frac{Qr}{DB_2}$$

Con el valor obtenido de $p_z(k)$ se busca el valor correspondiente de k en las tablas de distribución.

Para casos de costo por faltante B_3 conocido:

Se calcula a partir de $G_z(k)$

$$G_z(k) = \frac{Q}{\hat{\sigma}_L} \left(\frac{r}{B_3 + r} \right)$$

Con el valor obtenido de $G_z(k)$ se busca el valor correspondiente de k en las tablas de distribución.

5.3.4. Tamaño de pedido

Para determinar el tamaño de pedido Q se utiliza inicialmente el cálculo de cantidad económica de pedido (EOQ por sus siglas en inglés):

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{vr}}$$

Donde:

A = Costo de alistamiento

D = Demanda promedio

v = Valor unitario del ítem

r = tasa de mantener inventario

Este valor de Q se establece como la cantidad de pedido en las políticas de inventario, sin embargo, este valor puede ser optimizado a partir de un método de iteraciones que plantea (Vidal, 2010) con la finalidad de tener valores más acertados para la aplicación de las políticas:

En la tabla 4 se observan los pasos para calcular Q

Tabla 4. Cálculo de Q corregido

Paso	Actividad
1	Calcular valor de Q usando la formula del EOQ
2	Calcular la probabilidad de que no ocurran faltantes (P_1) $P_1 = 1 - p_z(k) = 1 - \frac{Qr}{DB_2}$ Con el valor hallado de $p_z(k)$ se establece el valor de $G_z(k)$ y k a partir de las tablas de distribución

3	Calcular el valor de Q corregido a partir de la ecuación:
	$Q = \sqrt{\frac{2D[A + (B_2v)\hat{\sigma}_L G_z(k)]}{vr}}$
4	Repetir los pasos 2 y 3 hasta que los cambios en Q y k sean despreciables
5	Calcule el punto de reorden

Fuente: Adaptado de (Vidal, 2010)

5.3.5. Niveles de servicio

El objetivo de mantener inventario es garantizar altos niveles de servicio que se traducen en altos niveles de satisfacción de los clientes, teniendo esto en cuenta, se tiene dos clasificaciones para el nivel de servicio como se observa en la tabla 5:

Tabla 5. Clasificación de niveles de servicio

Clasificación	Descripción
P_1	Es la probabilidad de no ocurrencia de faltantes de inventario, es decir que este nivel de servicio depende de la cantidad de veces que se presentan faltantes.
P_2	Probabilidad de que la demanda sea satisfecha, es decir la probabilidad de que la demanda sea satisfecha en su totalidad, por lo tanto, este depende de las cantidades totales de faltante y las cantidades totales de demanda

Fuente: Adaptado de (Vidal, 2010)

6. DESARROLLO METODOLÓGICO

En este capítulo se desarrolla la propuesta de gestión de inventarios para una empresa de producción de fertilizantes, para lo cual primero se contextualiza en el método actual utilizado por la empresa, posteriormente se clasifican los productos para establecer en cuales se enfocará el desarrollo, una vez seleccionado los productos se realiza el análisis de históricos de ventas con los cuales se realizan pronósticos que serán utilizados en el desarrollo de la propuesta la cual finalmente será evaluada con la metodología actual de la empresa con el ánimo de comparar los resultados esperados de cada una.

6.1. CASO DE ESTUDIO

Este trabajo es desarrollado a partir de la información suministrada por una empresa de producción de fertilizantes, la información relacionada a costos (costos involucrados en el sistema de gestión de inventarios) es suministrada por la empresa, en algunos casos como se verá a continuación se establecen costos estandarizados ya sea para el total de productos o por familias de productos.

Actualmente la empresa emplea una metodología para la gestión de inventarios, semanalmente se revisan los niveles de inventario y se pone en práctica la metodología la cual consiste en:

Datos iniciales:

Es la información de arranque que se tiene establecida para llevar a cabo el proceso.

- Ventas de 4 semanas anteriores
- Desviación estándar de las ventas en esas 4 semanas
- Existencias de inventario

Con la información inicial se realiza el siguiente proceso matemático para determinar la cantidad a pedir de cada producto:

$$\text{Cantidad de pedido} = P_{uv} + 1,5\sigma_{uv} - I_f$$

Donde:

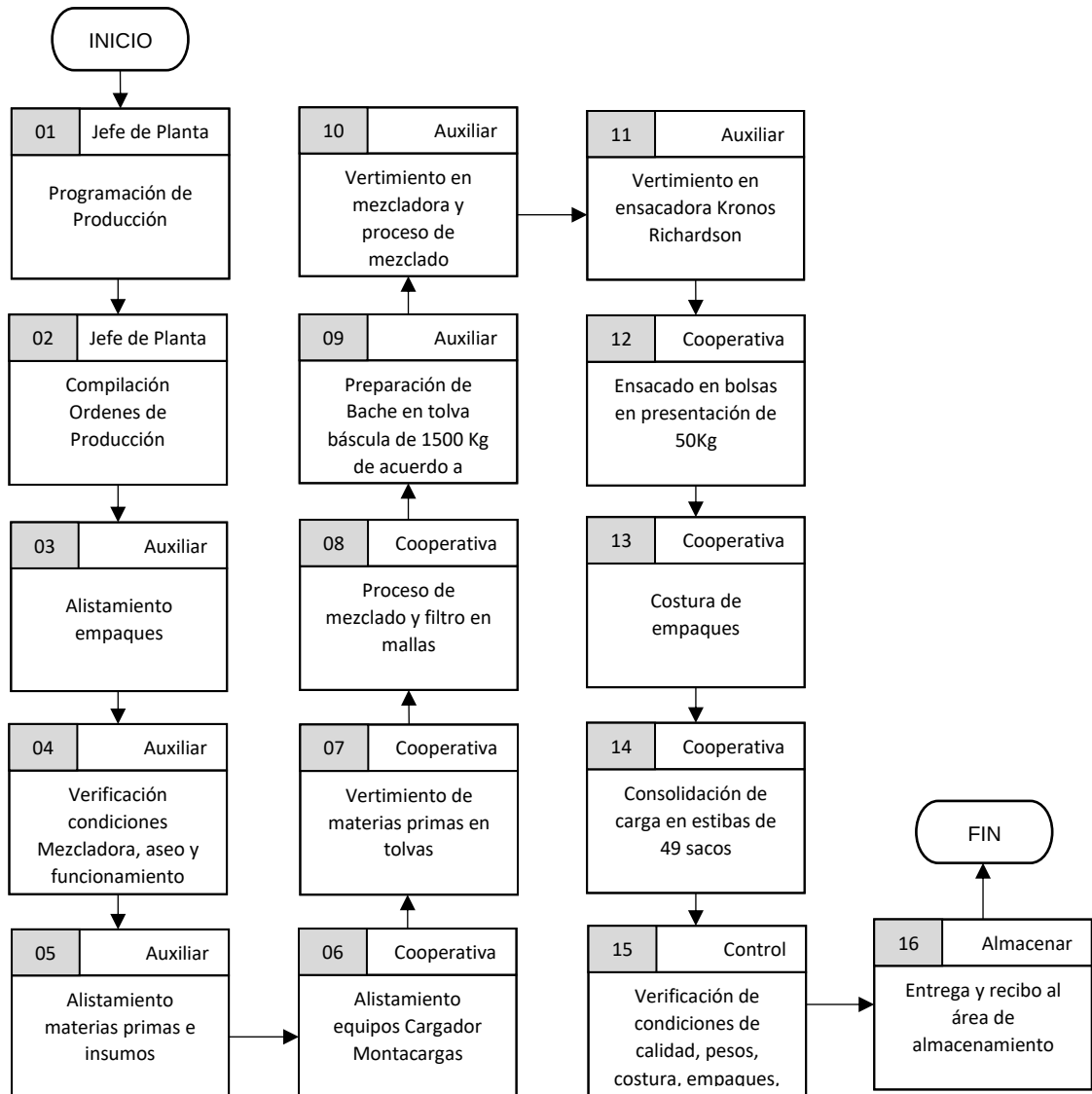
P_{uv} = Promedio de ventas de las últimas 4 semanas

σ_{uv} = Desviación estandar de las ventas de las últimas 4 semanas

I_f = Inventario efectivo

En la gráfica 1 observa el flujograma de producción de la empresa, allí se contemplan las actividades realizadas desde el momento en que se ingresan las ordenes de producción hasta que los productos terminados son dispuestos en el área de almacenamiento de producto terminado.

Gráfica 1. Flujograma de producción de la empresa



Fuente: Información suministrada por la empresa

6.2. CLASIFICACIÓN ABC

A partir de la información de ventas semanal del último año se realiza la clasificación de los productos utilizando la metodología de clasificación ABC, esto se hace con dos propósitos, el primero es establecer la importancia de cada producto y su participación en el total de ventas x costo unitario, el segundo

motivo es establecer de acuerdo a la clasificación de los productos aquellos en los cuales se realizará el desarrollo de la propuesta de gestión de inventarios.

De acuerdo con lo mencionado, se inicia con una totalización de las ventas x costo unitario del total de referencias, con el total de las referencias se establece el nivel de participación de cada producto para su clasificación en cada categoría, finalmente para determinar la participación acumulada se reorganizan los productos (de mayor participación a menor participación) como se observa en las tablas 6, 7 y 8.

Por último, se determinan los intervalos para cada clasificación, de manera teórica estos se determinan como:

- A (0 – 80% participación)
- B (80 – 95% participación)
- C (95 – 100% participación)

En la tabla 9 se realiza un resumen de la clasificación ABC allí se identifican los intervalos utilizados de manera práctica.

Tabla 6. Clasificación ABC categoría A

PRODUCTO	COSTO UNITARIO	TONELADAS VENDIDAS	VENTAS X COSTO UNITARIO	% PART	PARTICIPACIÓN ACUMULADA
UREA GRANULADA SACOX50KG	\$ 995.000	28660,25	\$ 28.516.948.750	26,461%	26,461%
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	\$ 1.145.000	8606,75	\$ 9.854.728.750	9,144%	35,605%
KCL SACOX50KG	\$ 1.045.000	8766,90	\$ 9.161.410.500	8,501%	44,105%
MEZCLAS EZ	\$ 1.245.000	5870,15	\$ 7.308.336.750	6,781%	50,887%
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	\$ 1.095.000	4460,25	\$ 4.883.973.750	4,532%	55,418%
DAP SACOX50KG	\$ 1.045.000	4102,80	\$ 4.287.426.000	3,978%	59,397%
MEZCLAS AC	\$ 1.195.000	3498,45	\$ 4.180.647.750	3,879%	63,276%
MEZCLA INCAUCA	\$ 1.195.000	3292,90	\$ 3.935.015.500	3,651%	66,927%
UREA GRANEL GRANULADA	\$ 945.000	3233,46	\$ 3.055.621.921	2,835%	69,762%
MEZCLA D M.	\$ 1.195.000	2550,42	\$ 3.047.751.900	2,828%	72,590%
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	\$ 1.145.000	2630,45	\$ 3.011.865.250	2,795%	75,385%
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	\$ 1.145.000	2625,45	\$ 3.006.140.250	2,789%	78,174%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Clasificación ABC categoría B

PRODUCTO	COSTO UNITARIO	TONELADAS VENDIDAS	VENTAS X COSTO UNITARIO	% PART	PARTICIPACIÓN ACUMULADA
NAXTROM SACO X 50KG	\$ 1.245.000	1982,00	\$ 2.467.590.000	2,290%	80,464%
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	\$ 1.145.000	1980,30	\$ 2.267.443.500	2,104%	82,568%
MEZCLA 2 ING	\$ 1.195.000	1655,45	\$ 1.978.262.750	1,836%	84,404%
SOLUCION UAN CIA1	\$ 1.295.000	1403,84	\$ 1.817.972.800	1,687%	86,090%
MAP SACOX50KG	\$ 1.045.000	1715,70	\$ 1.792.906.500	1,664%	87,754%
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	\$ 1.145.000	1544,85	\$ 1.768.853.250	1,641%	89,395%
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	\$ 1.145.000	1117,40	\$ 1.279.423.000	1,187%	90,583%
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	\$ 1.295.000	879,30	\$ 1.138.693.500	1,057%	91,639%
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	\$ 1.145.000	733,25	\$ 839.571.250	0,779%	92,418%
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	\$ 1.145.000	688,45	\$ 788.275.250	0,731%	93,150%
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	\$ 1.145.000	670,95	\$ 768.237.750	0,713%	93,862%
UREA GRANULAR SACOX1000KG	\$ 995.000	746,30	\$ 742.568.500	0,689%	94,551%
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	\$ 1.145.000	590,20	\$ 675.779.000	0,627%	95,178%
KCL STANDAR SACOX50KG	\$ 1.045.000	610,60	\$ 638.077.000	0,592%	95,771%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Clasificación ABC categoría C

PRODUCTO	COSTO UNITARIO	TONELADAS VENDIDAS	VENTAS X COSTO UNITARIO	% PART	PARTICIPACIÓN ACUMULADA
NUTRIKIMIA 15-15-15-9(S) SACO X 50 KG	\$ 1.145.000	534,50	\$ 612.002.500	0,568%	96,338%
MEZCLAS CENTRO VALLE	\$ 1.195.000	444,05	\$ 530.639.750	0,492%	96,831%
FORKAMIX MEZCLA 13-26-10	\$ 1.145.000	449,00	\$ 514.105.000	0,477%	97,308%
FORKAMIX MEZCLA 10 - 20 - 30	\$ 1.145.000	387,05	\$ 443.172.250	0,411%	97,719%
FORKAMIX MEZCLA 34-5-5 ES	\$ 1.145.000	377,80	\$ 432.581.000	0,401%	98,120%
MEZCLA ANTIOQUIA	\$ 1.195.000	300,25	\$ 358.798.750	0,333%	98,453%
MEZCLA 24-0-17	\$ 1.145.000	281,55	\$ 322.374.750	0,299%	98,752%

MEZCLA 31-8-8	\$ 1.145.000	211,05	\$ 241.652.250	0,224%	98,977%
MEZCLAS ZONA QUINDIO	\$ 1.195.000	166,00	\$ 198.370.000	0,184%	99,161%
KIESERITA	\$ 1.195.000	161,85	\$ 193.410.750	0,179%	99,340%
MEZCLAS ZONA ORIENTE ANTIOQUIA	\$ 1.195.000	140,50	\$ 167.897.500	0,156%	99,496%
MEZCLA CUNDINAMARCA	\$ 1.195.000	137,50	\$ 164.312.500	0,152%	99,648%
MEZCLAS ZONA CAUCA - NARIÑO - SUR	\$ 1.195.000	93,95	\$ 112.270.250	0,104%	99,753%
MEZCLA TOLIMA	\$ 1.195.000	56,00	\$ 66.920.000	0,062%	99,815%
FORKAMIX MEZCLA 25 - 15 - 0	\$ 1.145.000	57,45	\$ 65.780.250	0,061%	99,876%
MEZCLAS ZONA CALDAS	\$ 1.195.000	31,80	\$ 38.001.000	0,035%	99,911%
MEZCLA NAXTROM (S)	\$ 1.245.000	30,50	\$ 37.972.500	0,035%	99,946%
FORKAMIX MEZCLA 12 - 34 - 12	\$ 1.145.000	26,20	\$ 29.999.000	0,028%	99,974%
UREA GRANULADA SACO X 25KG	\$ 845.000	11,00	\$ 9.295.000	0,009%	99,983%
BARREDURA FERTILIZANTES	\$ 195.000	38,25	\$ 7.458.750	0,007%	99,990%
DAP SACO X 25KG	\$ 1.045.000	7,00	\$ 7.315.000	0,007%	99,996%
VINAZA	\$ 1.245.000	3,06	\$ 3.809.700	0,004%	100,000%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la información obtenida de la clasificación ABC se tiene que los productos que corresponden a la categoría C en su gran mayoría son productos que venden bajo pedido específico, incluyendo productos que se realizan con mezclas especiales pedidas por clientes, es decir, son productos que son para un solo cliente, los otros productos de la categoría C son productos de bajo movimiento en comparación con los productos de categorías A y B.

Por este motivo, se decide tomar los productos pertenecientes a las categorías A y B para los desarrollos metodológicos (métodos de pronósticos y políticas de control de inventario) ya que estos representan la mayor proporción de las ventas.

6.3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HISTÓRICA (PRONÓSTICOS DE DEMANDA)

6.3.1. Análisis de tendencia

Como paso preliminar a la aplicación de los métodos de pronóstico en el desarrollo del trabajo, se procede a realizar el cálculo del coeficiente de variación de los productos que se tomaron en consideración (categorías A y B según clasificación), de esta manera se identifican los posibles comportamientos erráticos en la demanda, como lo menciona (Vidal, 2010) si el coeficiente de variación es mayor a uno se puede considerar errática la demanda.

De acuerdo a la ecuación del coeficiente de variación:

$$CV = \frac{\text{desviación estándar de la muestra}}{\text{demanda promedio}}$$

A modo de ejemplo se realiza el cálculo de coeficiente de variación para el producto FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7

$$CV = \frac{102,80}{215,52} = 0,48$$

El resultado de los coeficientes de variación se puede observar en las tablas 9 y 10

Tabla 9. Coeficiente de variación ítems A

PRODUCTOS	CV
UREA GRANULADA SACOX50KG	0,41
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	0,48
KCL SACOX50KG	0,81
MEZCLAS EZ	0,66
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	1,49
DAP SACOX50KG	0,88
MEZCLAS AC	0,82
MEZCLA INCAUCA	0,67
MEZCLA D M.	0,69
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	1,31
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	0,61
PROMEDIO	0,80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Coeficiente de variación ítems B

PRODUCTOS	CV
NAXTROM SACO X 50KG	1,08
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	1,24
MEZCLA 2 ING	0,90
SOLUCION UAN CIA1	1,86
MAP SACOX50KG	1,10
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	0,53
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	0,73
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	1,89
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	0,52
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	1,45
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	0,66
UREA GRANULAR SACOX1000KG	2,21
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	2,03
KCL STANDAR SACOX50KG	1,30
PROMEDIO	1,25

Fuente: Elaboración propia

Del cálculo de los coeficientes de variación se puede notar que los productos correspondientes a la categoría B tienen un coeficiente de variación significativamente mayor a los productos de la categoría A, de manera más clara en las tablas 9 y 10 se observa el resultado del promedio de coeficiente de variación de ambas categorías.

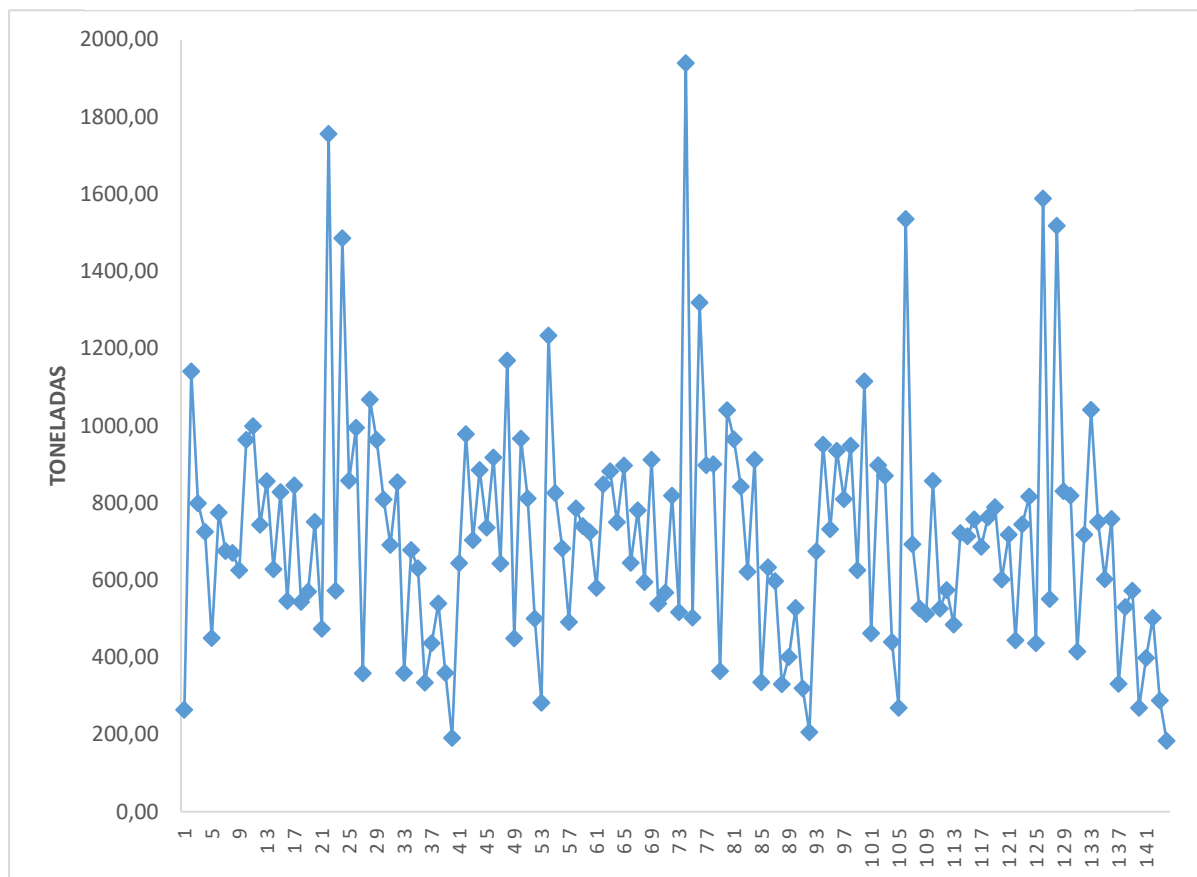
Estos valores significativamente altos del coeficiente de variación pueden dar una primera impresión de que se presenta demanda (comportamiento de ventas) errático, sin embargo, este comportamiento corresponde a un comportamiento estacional con picos de ventas marcados por diferentes tiempo, lo cual puede ser observado en la gráfica 2, donde se evidencia el comportamiento del producto UREA GRANULADA SACOX50KG, el cual presenta picos de ventas que de primera impresión para un solo año pueden parecer datos atípicos, sin embargo al observar el comportamiento de varios años se aprecia como se tiene una tendencia de venta en diferentes épocas del año.

Para confirmar el comportamiento de ventas de los productos se analiza la tendencia de manera gráfica, para estos análisis se toma la información correspondiente a 3 años. El horizonte de tiempo de 3 años es de utilidad para la confirmación de tendencias estacionales de los productos, los cuales como se puede observar en las grafica 3, presentan comportamientos estacionales con picos de ventas, con periodos de tendencias crecientes o decrecientes y periodos de comportamiento uniforme.

De acuerdo a ese comportamiento se decide utilizar los siguientes métodos de pronóstico:

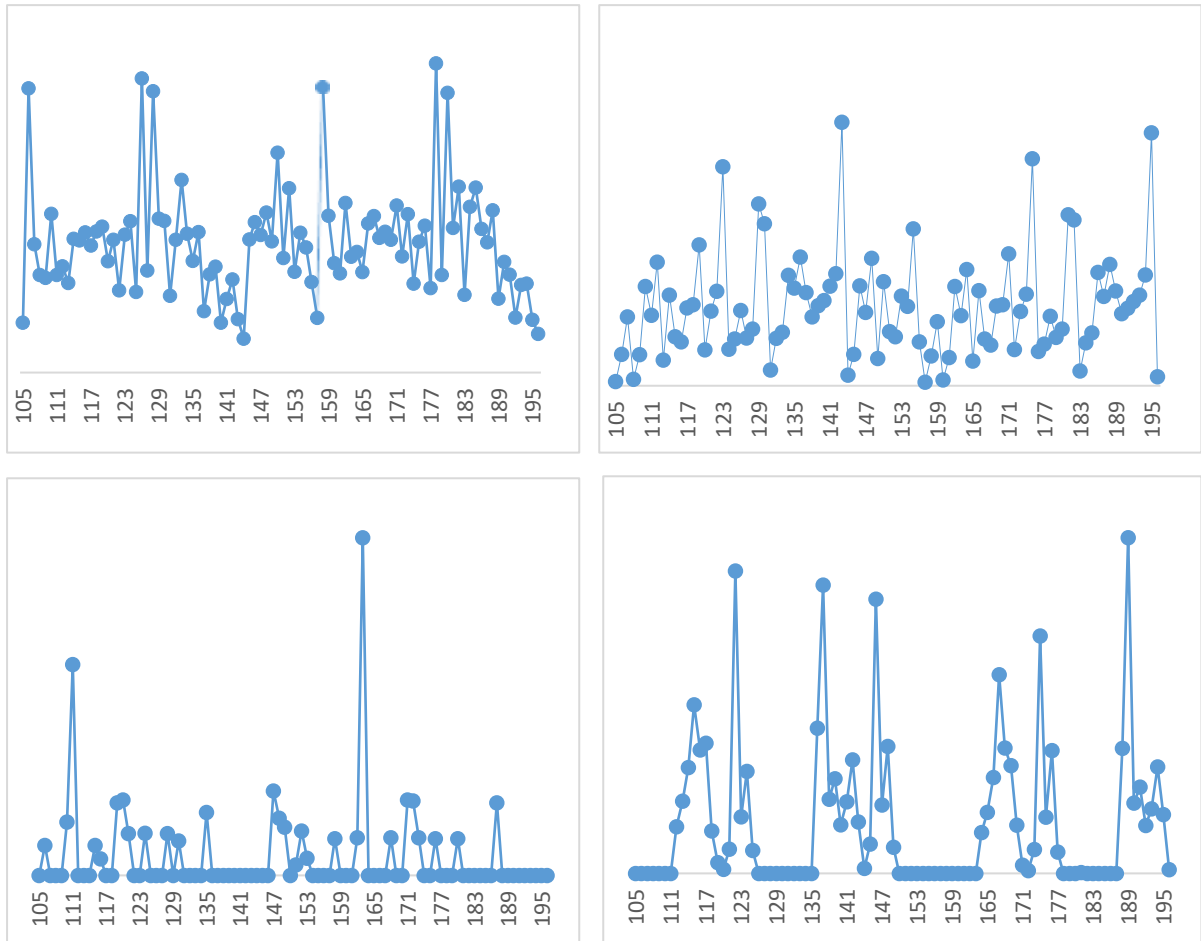
- Suavización exponencial simple (SES)
- Suavización exponencial doble (SED)
- Método multiplicativo de Winters (WINTERS)
- Método de Croston (CROSTON)

Gráfica 2. Ejemplo de comportamiento de ventas del producto UREA GRANULADA SACOX50KG



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3. Ejemplos de comportamiento de patrón de ventas.



Fuente: Elaboración propia

6.3.2. Métodos de pronósticos

Cómo se mencionó se decide usar métodos de pronóstico acordes a los patrones de comportamiento, en este caso se aclara que se realizan pronósticos de ventas, dado que la información con la que se cuenta está totalizada en ventas por semana. Para el desarrollo de los pronósticos se define como periodo a pronosticar el último año registrado (últimas 40 semanas) tomando como periodo de inicialización la información del año anterior (inicialización de dos semanas) a excepción de los casos que requieren más información para el periodo de arranque como lo es el método de Winters.

Los resultados de los métodos de pronósticos utilizados se comparan de dos formas, la primera comparación se basa en la medición del ECM, esta comparación se realiza producto a producto y su finalidad es escoger el mejor método de pronóstico para cada producto. La segunda comparación es llevada a cabo con el propósito de comparar los métodos de manera global con el ánimo de hacer una comparación de la efectividad de los métodos de pronósticos en la totalidad de los productos analizados, para este fin se determina que la métrica

de comparación será la MAPE. Se decide utilizar esta métrica porque no depende de los volúmenes tratados en los pronósticos, lo que permite comparar resultados como se verá más adelante en la gráfica 5 y la tabla 21 usadas como herramientas de comparación.

- Suavización exponencial simple

Para desarrollar este método se toma un periodo de inicialización de 52 semanas (periodo de inicialización que también será utilizado en los otros métodos) y un valor inicial de α de 0,15 (el cual después es optimizado mediante la utilización de solver en Excel)

Para mostrar el proceso de suavización exponencial simple se tomará como ejemplo el producto UREA GRANULADA SACOX50KG

Para el primer dato de pronóstico se toma el promedio de los datos de inicialización:

$$S_0 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}; d_i = \text{datos de ventas por periodo}$$

$$S_0 = \frac{35957,32}{52} = 691,49$$

Los datos siguientes se calculan con la ecuación presentada de suavización exponencial simple

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

$$S_1 = (0,166)(296,30) + (1 - 0,166)(691,49) = 625,99$$

En la Tabla 11 se observan los resultados de la aplicación del método en Excel

Tabla 11. Resultados suavización exponencial simple UREA GRANULADA SACOX50KG

SUACIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE (ALPHA OPTIMIZADO)							
			ALPHA		0,166		
Semana	Per. T	Datos	pronóstico	ECM	MAD	MAPE	MAPE'
185	29	999,30	838,76	25.773,87	160,54	16,07%	19,14%
186	30	775,70	865,37	8.039,85	89,67	11,56%	10,36%
187	31	703,75	850,50	21.536,88	146,75	20,85%	17,25%
188	32	877,05	826,18	2.587,55	50,87	5,80%	6,16%
189	33	399,25	834,61	189.540,63	435,36	109,05%	52,16%
190	34	597,90	762,46	27.079,14	164,56	27,52%	21,58%
191	35	528,20	735,18	42.842,52	206,98	39,19%	28,15%
192	36	297,85	700,88	162.432,86	403,03	135,31%	57,50%
193	37	473,80	634,08	25.690,68	160,28	33,83%	25,28%
194	38	480,90	607,52	16.032,23	126,62	26,33%	20,84%
195	39	285,85	586,53	90.410,41	300,68	105,19%	51,26%
196	40	209,60	536,70	106.993,90	327,10	156,06%	60,95%
197	41		456,19				
				100.184,33	228,15	0,40	0,32

Fuente: Elaboración propia

- Suavización exponencial doble

Para determinar los parámetros de inicialización a_1 y b_2 se utilizaron las fórmulas de intersección (*INTERSECCIÓN.EJE*) y pendiente (*PENDIENTE*) de Excel respectivamente.

$$a_1 = 852,2$$

$$b_2 = -1,23$$

$$b_1 = 852,50 + (52 * -1,23) = 788,34$$

Con los parámetros de inicialización establecidos se calculan los operadores iniciales S_0 y $S_0^{[2]}$ se realiza el pronóstico para los periodos siguientes en la tabla 12

Se utiliza la ecuación del ECM (aplicada en Excel) para calcular el ECM de cada método de pronóstico realizado

$$ECM = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{n}$$

- Método multiplicativo de Winters

Para iniciar el método se deben calcular los valores de arranque, de este modo, lo primera que se realiza es determinar el número de estaciones m , este valor se establece a través de la revisión de la gráfica, de la revisión también se obtiene el valor de longitud de periodos L

Teniendo el producto UREA GRANULADA SACOX50KG como ejemplo de la aplicación del método, a partir de la observación se determina que:

$$m = 3$$

$$L = 52$$

Se establecen los valores de j (estos valores van desde 1 hasta L) y se repiten en el número de estaciones m

Se calculan los valores x_1, x_2, x_3 que corresponden al valor promedio de los datos en cada estación:

$$x_1 = 735,189; x_2 = 735,084; x_3 = x_m = 691,487$$

Se estiman los valores de $a_1(0)$ y $b_2(0)$

$$b_2(0) = \frac{x_m - x_1}{(m - 1)L} = \frac{691,487 - 735,189}{(2)(52)} = -0,420$$

$$a_1(0) = x_1 - \frac{L}{2} b_2(0) = 735,189 - \frac{52}{2} (-0,420) = 746,114$$

Tabla 12. Método suavización exponencial doble Excel UREA GRANULADA SACOX50KG

SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL DOBLE (ALPHA OPTIMIZADO)										
ALPHA 0,30										
SIMULACIÓN DEL PRONOSTICO	Semana	Per. T	Datos	St	St[2]	pronóstico	EC	EAB	MAPE	MAPE'
	162	6	916,50	780,15	786,63	770,89	21.203,57	145,61	15,89%	18,89%
	163	7	625,25	733,68	770,75	680,73	3.077,49	55,48	8,87%	8,15%
	164	8	652,45	709,31	752,32	647,87	20,94	4,58	0,70%	0,71%
	165	9	543,55	659,58	724,50	566,85	542,82	23,30	4,29%	4,11%
	166	10	804,80	703,15	718,09	681,80	15.129,19	123,00	15,28%	18,04%
	167	11	844,90	745,67	726,37	773,26	5.132,98	71,64	8,48%	9,27%
	168	12	728,00	740,37	730,57	754,38	695,72	26,38	3,62%	3,50%
	169	13	759,85	746,21	735,26	761,86	4,05	2,01	0,26%	0,26%
	170	14	716,70	737,36	735,89	739,46	517,97	22,76	3,18%	3,08%
	171	15	902,25	786,83	751,17	837,76	4.158,55	64,49	7,15%	7,70%
	172	16	628,30	739,27	747,60	727,37	9.814,08	99,07	15,77%	13,62%
	173	17	856,00	774,29	755,61	800,98	3.027,70	55,02	6,43%	6,87%
	174	18	480,50	686,15	734,77	616,70	18.549,44	136,20	28,34%	22,08%
	175	19	706,55	692,27	722,02	649,77	3.223,76	56,78	8,04%	8,74%
	176	20	793,85	722,74	722,24	723,47	4.953,50	70,38	8,87%	9,73%
	177	21	457,00	643,02	698,47	563,80	11.407,26	106,80	23,37%	18,94%
	178	22	1669,65	951,01	774,23	1.203,55	217.252,10	466,10	27,92%	38,73%
	179	23	527,10	823,84	789,12	873,44	119.951,28	346,34	65,71%	39,65%
	180	24	1511,00	1029,99	861,38	1.270,86	57.668,77	240,14	15,89%	18,90%
	181	25	781,50	955,44	889,60	1.049,50	71.826,13	268,00	34,29%	25,54%
182	26	1003,55	969,87	913,68	1.050,15	2.171,63	46,60	4,64%	4,44%	
183	27	419,35	804,72	880,99	695,75	76.398,95	276,40	65,91%	39,73%	
184	28	896,10	832,13	866,33	783,27	12.730,01	112,83	12,59%	14,40%	
185	29	999,30	882,28	871,12	898,23	10.214,85	101,07	10,11%	11,25%	
186	30	775,70	850,31	864,87	829,50	2.894,17	53,80	6,94%	6,49%	
187	31	703,75	806,34	847,31	747,81	1.940,93	44,06	6,26%	5,89%	
188	32	877,05	827,55	841,39	807,79	4.796,65	69,26	7,90%	8,57%	
189	33	399,25	699,06	798,69	556,74	24.802,66	157,49	39,45%	28,29%	
190	34	597,90	668,71	759,70	538,74	3.500,10	59,16	9,89%	10,98%	
191	35	528,20	626,56	719,76	493,42	1.209,45	34,78	6,58%	7,05%	
192	36	297,85	527,95	662,21	336,14	1.465,98	38,29	12,85%	11,39%	
193	37	473,80	511,70	617,06	361,19	12.680,40	112,61	23,77%	31,18%	
194	38	480,90	502,46	582,68	387,86	8.655,68	93,04	19,35%	23,99%	
195	39	285,85	437,48	539,12	292,28	41,30	6,43	2,25%	2,20%	
196	40	209,60	369,11	488,12	199,11	110,04	10,49	5,00%	5,27%	
	197	41				169,24				
							ECM	MAD	MAPE	MAPE'
							26.167,03	116,85	17,41%	15,57%

Fuente: Elaboración propia

*Aclaración:

EC: error cuadrático

EAB: error absoluto

Para los valores de $\hat{c}_t$

$$\hat{c}_t = \frac{x_t}{x_i - \left[\frac{L+1}{2-j} \right] \hat{b}_2(0)}, \text{ Para } t = 1, 2, \dots, mL$$

Se utiliza Excel para calcular los valores estacionales para después normalizar los datos. Ver tablas 13 y 14

Tabla 13. Ejemplo de cálculo de valores estacionales

m		L	
3		52	
SEMANAS	VALOR DE j	DATOS	EST. VALORES c_j
1	1	264,03	0,349
2	2	1141,12	1,552
3	3	799,08	1,121
4	4	725,07	1,001
5	5	450,05	0,618
6	6	775,08	1,062
7	7	676,07	0,925
8	8	671,07	0,917
9	9	626,06	0,855
10	10	963,08	1,315

x_1	735,189
x_2	735,084
$x_3 = x_m$	691,487

$b_2(0)$	-0,420
$a_1(0)$	746,114

Fuente: Elaboración propia

Al calcular los valores estacionales de las m estaciones, se procede a normalizar estos datos, ya que estos serán los datos utilizados en la ejecución del pronóstico.

La normalización consiste en hallar el promedio de valor estacional para cada valor de j , una vez hallado el promedio por cada valor de j , se divide el nuevo valor estacional entre el promedio de todos los nuevos valores estacionales.

En la tabla 14 se muestra el resultado de la normalización en Excel.

Con los datos de inicialización se procede a realizar el pronóstico, los valores de α, β, γ son optimizados utilizando el componente solver en Excel teniendo como función objetivo minimizar el ECM.

Tabla 14. Ejemplo de normalización de factores estacionales

SEM	PROMEDIO	NORMAL	SEM	PROMEDIO	NORMAL	SEM	PROMEDIO	NORMAL	SEM	PROMEDIO	NORMAL
1	0,366435	0,3734493	14	0,9238899	0,941575	27	0,5166976	0,5265882	40	0,2637541	0,2688029
2	1,773578	1,8075279	15	1,0883813	1,1092152	28	1,2825803	1,3071315	41	0,924342	0,9420358
3	1,0625433	1,0828826	16	0,7911863	0,8063312	29	1,3470172	1,3728019	42	1,2434039	1,2672052
4	0,8827715	0,8996696	17	1,1236173	1,1451257	30	1,0900195	1,1108847	43	0,9882053	1,0071216
5	0,6615986	0,6742629	18	0,6934558	0,70673	31	0,8690049	0,8856394	44	1,2174958	1,2408011
6	1,0993158	1,1203589	19	0,8542156	0,8705671	32	1,1454314	1,1673573	45	1,0226618	1,0422376
7	0,8832474	0,9001545	20	1,0829913	1,103722	33	0,4658342	0,4747512	46	1,3849888	1,4115003
8	0,8951902	0,9123259	21	0,6479575	0,6603607	34	0,8357599	0,851758	47	0,8561521	0,8725406
9	0,7682225	0,7829278	22	2,3978547	2,4437546	35	0,8170768	0,8327173	48	1,4873817	1,5158532
10	1,1503083	1,1723275	23	0,7387461	0,7528872	36	0,4239914	0,4321075	49	0,6604821	0,6731251
11	1,1783292	1,2008848	24	1,9620015	1,9995582	37	0,5611482	0,5718898	50	1,1882761	1,2110221
12	1,0226253	1,0422005	25	1,1736049	1,1960701	38	0,7126658	0,7263076	51	1,0698985	1,0903786
13	1,1075085	1,1287084	26	1,2314405	1,2550128	39	0,4393931	0,447804	52	0,6486312	0,6610473

Fuente: Elaboración propia

Ejemplo de cálculo primeros datos del pronóstico:

$$\begin{aligned}\hat{a}_1(T) &= \alpha \frac{x_t}{\hat{c}_t(T-L)} + (1-\alpha)[\hat{a}_1(T-1) + \hat{b}_2(T-1)] \\ &= 0,132 \frac{488,48}{0,631} + (1-0,132)[691,426 - 0,381] = 702,044 \\ \hat{b}_2(T) &= \beta[\hat{a}_1(T) - \hat{a}_1(T-1)] + (1-\beta)\hat{b}_2(T-1) \\ &= 0,01(702,044 - 691,426) + (1-0,01)(-0,381) = -0,271 \\ \hat{c}_t(T) &= \gamma \frac{x_t}{\hat{a}_1(T)} + (1-\gamma)\hat{c}_t(T-L) = 0,665 \frac{488,48}{702,044} + (1-0,665)(0,631) \\ &= 0,674\end{aligned}$$

Para calcular el primer dato de pronóstico se tiene:

$$\hat{x}_{T+\tau}(T) = [\hat{a}_1(T) + \tau \hat{b}_2(T)]\hat{c}_{T+\tau}(T + \tau - L) = (702,044 - 0,271)(0,373) = 262$$

Los siguientes datos del pronóstico son calculados en Excel como se observa en la tabla 15.

Tabla 15. Ejemplo método Winters Excel UREA GRANULADA SACOX50KG

WINTERS										
	Semana	Datos	a1(T)	b2(T)	ct(T)	pronóstico	EC	EAB	MAPE	MAPE'
SIMULACIÓN DEL PRONOSTICO	161	535,35	744,770	0,158	0,710	512,69	513,43	22,66	4,23%	4,42%
	162	916,50	752,770	0,237	1,191	848,72	4.593,99	67,78	7,40%	7,99%
	163	625,25	754,233	0,249	0,826	617,62	58,25	7,63	1,22%	1,24%
	164	652,45	753,910	0,243	0,867	656,22	14,24	3,77	0,58%	0,58%
	165	543,55	751,611	0,218	0,729	557,82	203,66	14,27	2,63%	2,56%
	166	804,80	748,100	0,181	1,088	836,26	989,78	31,46	3,91%	3,76%
	167	844,90	747,861	0,176	1,131	848,51	13,03	3,61	0,43%	0,43%
	168	728,00	737,031	0,066	1,024	819,48	8.368,12	91,48	12,57%	11,16%
	169	753,85	731,506	0,010	1,057	806,25	2.153,04	46,40	6,11%	5,76%
	170	716,70	726,329	-0,041	1,003	757,45	1.660,41	40,75	5,69%	5,38%
	171	902,25	736,375	0,059	1,191	816,24	7.396,91	86,01	9,53%	10,54%
	172	628,30	738,065	0,076	0,847	617,92	107,77	10,38	1,65%	1,68%
	173	856,00	743,484	0,129	1,134	811,44	1.985,66	44,56	5,21%	5,49%
	174	480,50	738,557	0,079	0,661	506,64	683,10	26,14	5,44%	5,16%
	175	706,55	738,263	0,075	0,958	709,26	7,35	2,71	0,38%	0,38%
	176	793,85	734,037	0,032	1,096	830,55	1.346,97	36,70	4,62%	4,42%
	177	457,00	731,442	0,006	0,630	469,76	162,71	12,76	2,79%	2,72%
	178	1669,65	727,934	-0,029	2,319	1.732,79	3.986,68	63,14	3,78%	3,64%
	179	527,10	723,388	-0,075	0,739	553,14	678,02	26,04	4,94%	4,71%
	180	1511,00	725,591	-0,052	2,068	1.475,74	1.243,22	35,26	2,33%	2,39%
	181	781,50	717,024	-0,137	1,121	857,88	5.834,64	76,38	9,77%	8,90%
	182	1003,55	732,645	0,021	1,313	860,12	20.572,82	143,43	14,29%	16,68%
	183	419,35	735,987	0,054	0,564	405,41	194,43	13,94	3,33%	3,44%
	184	896,10	740,133	0,095	1,197	859,84	1.314,76	36,26	4,05%	4,22%
	185	999,30	734,593	0,038	1,385	1.060,54	3.750,25	61,24	6,13%	5,77%
	186	775,70	730,817	0,000	1,074	807,51	1.011,89	31,81	4,10%	3,94%
	187	703,75	740,793	0,100	0,924	637,71	4.361,23	66,04	9,38%	10,36%
	188	877,05	744,073	0,132	1,168	849,39	765,12	27,66	3,15%	3,26%
	189	399,25	756,133	0,251	0,511	355,97	1.873,39	43,28	10,84%	12,16%
	190	597,90	753,052	0,218	0,802	618,57	427,30	20,67	3,46%	3,34%
	191	528,20	736,659	0,052	0,759	634,31	11.260,02	106,11	20,09%	16,73%
	192	297,85	733,001	0,015	0,411	309,68	139,94	11,83	3,97%	3,82%
	193	473,80	743,223	0,117	0,620	428,53	2.049,35	45,27	9,55%	10,56%
	194	480,90	730,848	-0,008	0,686	551,17	4.937,49	70,27	14,61%	12,75%
	195	285,85	720,254	-0,114	0,411	321,14	1.245,11	35,29	12,34%	10,99%
	196	209,60	725,270	-0,063	0,285	198,85	115,50	10,75	5,13%	5,40%
ANÁLISIS	197					730,54				
	198					897,01				
	199					764,31				
	200					912,71				
							ECM	MAD	MAPE	MAPE'
							3.500,96	45,10	6,44%	6,50%

Fuente: Elaboración propia

*Aclaración: EC: error cuadrático, EAB: error absoluto

- Método de Croston

Para ejemplificar el uso de este método se utiliza la información del producto NAXTROM SACO X 50KG para iniciar el método se debe calcular el valor de n_0 y z_0 para el cálculo de n_0

$= 1$ si hay demanda en ese periodo, si no hay demanda entonces toma el valor de la cantidad de periodos desde que ocurrió la última demanda mayor a cero

En la tabla 16 se muestra un ejemplo del conteo de los periodos de demanda.

Tabla 16. Ejemplo de inicialización método Croston

Semana	Datos	Calc. n_0	Cal. $No(2)$
105	1,00	1	
106	40,00	1	1
107	28,00	1	1
108	3,75	1	1
109	37,60	1	1
110	53,05	1	1
111	44,30	1	1
112	63,05	1	1
113	79,15	1	1
114	13,30	1	1
115	13,75	1	1
116	0,00	2	0
117	0,00	3	0
118	0,00	4	0
119	259,25	1	4
120	0,00	2	0
121	114,85	1	2

Fuente: Elaboración propia

$$\hat{n}_o = \frac{\sum n_o(2) > 0}{\text{número de veces que } n_o(2) > 0}$$

Para el caso del NAXTROM SACO X 50KG se tiene que:

$$\hat{n}_o = \frac{51}{46} = 1,109$$

Para el caso de $\hat{z}_0$ se tiene que:

$$\hat{z}_o = \frac{\sum x_t > 0}{\text{número de veces que } x_t > 0} = \frac{2855}{47} = 60,745$$

Finalmente, en la tabla 17 se aprecia el pronóstico, en los casos en los que $x_t = 0$ el valor del pronóstico es igual al valor del pronóstico anterior con $x_t > 0$.

Al finalizar el desarrollo de los métodos de pronóstico se comparan los ECM y se selecciona el de valor más bajo, después de seleccionado se procede a suavizar el error cuadrático medio de ese método.

De acuerdo con la metodología lo primero que se debe hacer para la suavización de errores es una regresión lineal de los datos de inicialización, para obtener los residuos de la regresión (que es el equivalente a calcular el error en un método de pronóstico)

Para realizar la regresión se requieren los valores de $a(0)$ y $b(0)$ que corresponden a la intersección y pendiente de los datos respectivamente, con estos datos se calcula la regresión:

$$Reg = a(0) + (t * b(0))$$

Tabla 17. Método Croston Excel NAXTROM SACO X 50KG

Semana	Datos	Calc. n0	Cal. No(2)	nt	zt	Cont. nt	pronóstico	EC	EAB	MAPE	MAPE'
157	0,00			1,109	60,745	1	53,662	2879,607	53,662	0%	100%
158	33,00			1,287	55,196	2	42,112	83,022	9,112	28%	22%
159	24,50			1,230	49,057	1	39,247	217,472	14,747	60%	38%
160	2,95			1,184	39,835	1	33,114	909,861	30,164	1023%	91%
161	27,50			1,147	37,368	1	32,135	21,483	4,635	17%	14%
162	42,15			1,118	38,325	1	33,927	67,613	8,223	20%	24%
163	37,75			1,094	38,210	1	34,626	9,759	3,124	8%	9%
164	49,00			1,075	40,368	1	37,300	136,895	11,700	24%	31%
165	59,80			1,060	44,254	1	41,544	333,268	18,256	31%	44%
166	10,00			1,048	37,403	1	35,525	651,540	25,525	255%	72%
167	12,00			1,039	32,323	1	30,995	360,799	18,995	158%	61%
168	0,00			2,977	32,188	1	10,812	116,894	10,812	0%	100%
169	0,00			2,977	32,188	2	10,812	116,894	10,812	0%	100%
170	0,00			2,977	32,188	3	10,812	116,894	10,812	0%	100%
171	241,90			3,182	74,131	4	23,299	47786,459	218,601	90%	938%
172	0,00			2,582	74,131	1	28,714	824,468	28,714	0%	100%
173	108,00			2,465	80,905	2	32,816	5652,605	75,184	70%	229%
174	47,75			2,172	74,274	1	34,191	183,843	13,559	28%	40%
175	26,50			1,938	64,719	1	33,397	47,573	6,897	26%	21%
176	90,50			1,750	69,875	1	39,922	2558,102	50,578	56%	127%
177	95,50			1,600	75,000	1	46,869	2365,017	48,631	51%	104%
178	221,55			1,480	104,310	1	70,471	22824,768	151,079	68%	214%
179	80,50			1,384	99,548	1	71,920	73,610	8,580	11%	12%
180	59,00			1,307	91,438	1	69,944	119,766	10,944	19%	16%
181	46,90			1,246	82,531	1	66,244	374,209	19,344	41%	29%
182	57,55			1,197	77,535	1	64,791	52,438	7,241	13%	11%
183	80,75			1,157	78,178	1	67,549	174,262	13,201	16%	20%
184	10,00			1,126	64,542	1	57,326	2239,767	47,326	473%	83%
185	76,00			1,101	66,834	1	60,719	233,501	15,281	20%	25%
186	0,00			2,564	66,834	1	26,064	679,331	26,064	0%	100%
187	69,50			2,451	67,367	2	27,481	1765,570	42,019	60%	153%
188	35,50			2,161	60,994	1	28,223	52,949	7,277	20%	26%
189	22,75			1,929	53,345	1	27,656	24,068	4,906	22%	18%
190	2,00			1,743	43,076	1	24,712	515,843	22,712	1136%	92%
191	116,20			1,594	57,701	1	36,188	6401,963	80,012	69%	221%
192	2,00			1,476	46,561	1	31,554	873,436	29,554	1478%	94%
193	69,50			1,380	51,148	1	37,052	1052,905	32,448	47%	88%
194	58,10			1,304	52,539	1	40,279	317,592	17,821	31%	44%
195	57,40			1,244	53,511	1	43,033	206,423	14,367	25%	33%
196	8,00			1,195	44,409	1	37,168	850,796	29,168	365%	78%
								ECM	MAD	MAPE	MAPE'
								2.606,83	31,30	146,42%	93,02%

Fuente: Elaboración propia

Ejemplo del primer dato de regresión para el producto UREA GRANULADA SACOX50KG

$$Reg = a(0) + (t * b(0) = 852,5 + (1 * -1,234) = 851,27$$

De esta manera se calculó en Excel para todos los periodos siguientes.

Para iniciar con el cálculo de ECMS se requiere el valor de ECMS (0) dado por:

$$ECMS(0) = \frac{\sum_{t=1}^m (x_t - \hat{x}_t)^2}{m - 2} = \frac{5179384,9}{50} = 103587,7$$

El primer valor de ECMS se obtiene por:

$$ECMS(T) = we^2(T) + (1 - w)ECMS(T - 1) = 0,1(34,3)^2 + (1 - 0,1)(103587,7) = 93346,6$$

En la tabla 18 se puede observar el cálculo de los errores suavizados para el producto UREA GRANULADA SACOX50KG

Tabla 18. ECMS UREA GRANULADA SACOX50KG

Semana	Per. T	Datos	pronóstico	error	Inv. Max. Din.	Error suav.	MAD suav.	ECM suav.	SEÑAL RAS OUTLIERS	
				Et	Bas. ECMS(	Q(T)	MAD(T)	ECMS(T)	IQ(T)/MAD(T)	JeT/MAD(T)
156	0					0	274,575	103587,700		
157	1	296,30	262,00	34,30	892,824	3,430	250,548	93346,599	0,014	0,1369
158	2	1536,55	1369,81	166,74	1968,638	19,762	242,167	86792,317	0,082	0,6886
159	3	846,80	724,35	122,45	1301,779	30,030	230,195	79612,422	0,130	0,5319
160	4	591,40	598,10	-6,70	1151,128	26,357	207,846	71655,670	0,127	0,0322
161	5	535,35	512,69	22,66	1037,355	25,987	189,327	64541,445	0,137	0,1197
162	6	916,50	848,72	67,78	1346,659	30,167	177,172	58546,700	0,170	0,3826
163	7	625,25	617,62	7,63	1091,867	27,913	160,218	52697,856	0,174	0,0476
164	8	652,45	656,22	-3,77	1106,162	24,744	144,574	47429,494	0,171	0,0261
165	9	543,55	557,82	-14,27	984,676	20,843	131,544	42706,911	0,158	0,1085
166	10	804,80	836,26	-31,46	1241,307	15,613	121,535	38535,198	0,128	0,2589
167	11	844,90	848,51	-3,61	1233,266	13,690	109,743	34682,981	0,125	0,0329
168	12	728,00	819,48	-91,48	1184,495	3,173	107,916	32051,495	0,029	0,8477
169	13	759,85	806,25	-46,40	1157,148	-1,784	101,765	29061,649	0,018	0,4560
170	14	716,70	757,45	-40,75	1091,579	-5,680	95,663	26321,526	0,059	0,4260
171	15	902,25	816,24	86,01	1134,233	3,488	94,697	24429,064	0,037	0,9082
172	16	628,30	617,92	10,38	924,263	4,177	86,266	21996,935	0,048	0,1203
173	17	856,00	811,44	44,56	1102,134	8,216	82,095	19995,807	0,100	0,5428
174	18	480,50	506,64	-26,14	783,793	4,781	76,499	18064,537	0,062	0,3417
175	19	706,55	709,26	-2,71	972,694	4,031	69,121	16258,818	0,058	0,0392
176	20	793,85	830,55	-36,70	1080,471	-0,042	65,879	14767,633	0,001	0,5571
177	21	457,00	469,76	-12,76	707,939	-1,313	60,566	13307,141	0,022	0,2106
178	22	1669,65	1732,79	-63,14	1958,889	-7,496	60,824	12375,094	0,123	1,0381
179	23	527,10	553,14	-26,04	771,176	-9,350	57,345	11205,387	0,163	0,4541
180	24	1511,00	1475,74	35,26	1683,217	-4,889	55,137	10209,171	0,089	0,6395
181	25	781,50	857,88	-76,38	1055,924	-12,039	57,261	9771,718	0,210	1,3340
182	26	1003,55	860,12	143,43	1053,868	3,508	65,879	10851,828	0,053	2,1772
183	27	419,35	405,41	13,94	609,584	4,552	60,685	9786,088	0,075	0,2298
184	28	896,10	859,84	36,26	1053,733	7,723	58,242	8938,954	0,133	0,6226
185	29	999,30	1060,54	-61,24	1245,850	0,826	58,542	8420,084	0,014	1,0461
186	30	775,70	807,51	-31,81	987,362	-2,437	55,869	7679,264	0,044	0,5694
187	31	703,75	637,71	66,04	809,468	4,410	56,886	7347,461	0,078	1,1609
188	32	877,05	849,39	27,66	1017,395	6,735	53,964	6689,227	0,125	0,5126
189	33	399,25	355,97	43,28	516,271	10,390	52,895	6207,643	0,196	0,8183
190	34	597,90	618,57	-20,67	772,997	7,284	49,673	5629,609	0,147	0,4161
191	35	528,20	634,31	-106,11	781,373	-4,056	55,317	6192,651	0,073	1,9183
192	36	297,85	309,68	-11,83	463,919	-4,833	50,968	5587,380	0,095	0,2321
193	37	473,80	428,53	45,27	575,038	0,177	50,398	5233,577	0,004	0,8982
194	38	480,90	551,17	-70,27	692,960	-6,867	52,385	5203,968	0,131	1,3414
195	39	285,85	321,14	-35,29	462,528	-9,709	50,675	4808,082	0,192	0,6963
196	40	209,60	198,85	10,75	334,760	-7,664	46,683	4338,824	0,164	0,2302

Fuente: Elaboración propia

Tal y como se menciona al inicio del capítulo, se realiza una comparativa de los ECM de cada pronóstico por producto, como se observa en la tabla 19, en la comparación de resultados se evidencia que en la mayoría de los casos el mejor método (resaltado en verde) es el método multiplicativo de Winters, esto a causa de tendencia estacional presente en el comportamiento de ventas de los productos.

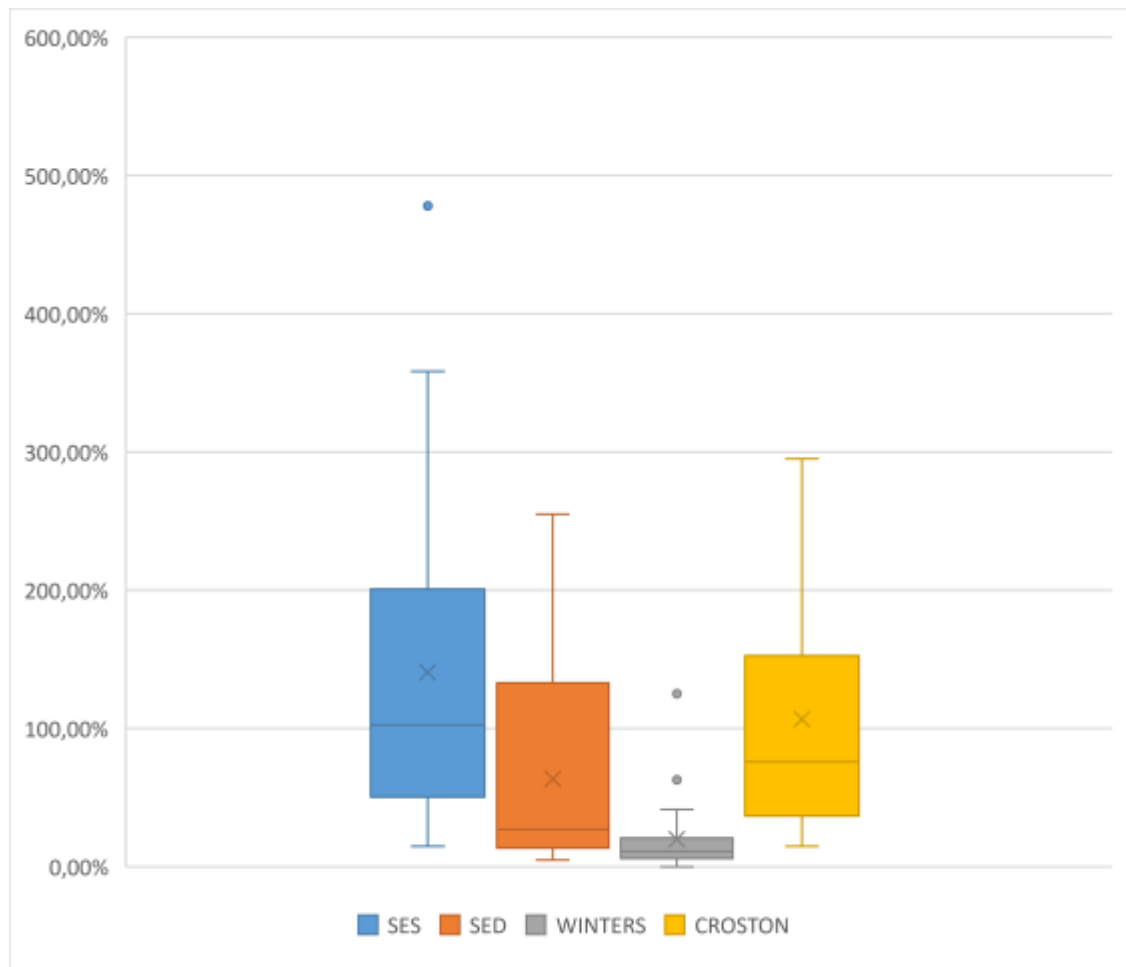
Al usar métricas de error relativo (en este caso se utiliza la MAPE) se comparan los resultados de los métodos de pronósticos aplicado como se observa en la tabla 20 donde se confirma que el método más efectivo resulta ser el método de Winters teniendo como resultado el porcentaje de error promedio más bajo, en la gráfica 4 se puede observar como el método de pronóstico Winters ofrece porcentajes de error más bajos en comparación con los otros métodos utilizados.

Tabla 19. Comparación ECM métodos de pronóstico por producto

PRODUCTOS	SES	SED	WINTERS	CROSTON
UREA GRANULADA SACOX50KG	100184,333	26167,029	3500,958	70463,790
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	9558,307	663,175	191,309	6115,514
KCL SACOX50KG	24027,335	6496,585	285,515	16005,201
MEZCLAS EZ	10193,064	557,226	24,294	9304,859
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	25842,560	17775,881	2329,258	26189,986
DAP SACOX50KG	7682,035	3063,636	47,457	5833,765
MEZCLAS AC	4935,296	527,854	49,370	4197,636
MEZCLA INCAUCA	3009,133	228,167	122,625	3173,612
MEZCLA D M.	1938,285	155,093	32,133	1721,234
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	4322,425	3039,650	58,934	2832,311
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	1557,075	95,474	31,516	984,683
NAXTROM SACO X 50KG	2867,612	1575,050	53,530	2606,832
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	2159,372	1416,014	27,831	1352,811
MEZCLA 2 ING	1302,188	345,159	1540,063	1166,644
SOLUCION UAN CIA1	3808,647	228,435	1780,304	3643,817
MAP SACOX50KG	2117,394	872,839	430,976	1587,984
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	297,103	13,312	22,012	197,873
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	353,076	22,121	2,405	217,596
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	1563,502	104,089	215,109	1730,086
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	82,867	6,031	12,959	76,308
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	494,586	34,860	446,320	431,506
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	119,904	6,319	5,195	100,384
UREA GRANULAR SACOX1000KG	2822,356	2373,487	393,610	2331,258
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	576,580	165,653	367,353	710,760
KCL STANDAR SACOX50KG	367,662	35,315	78,181	353,062

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. Comparación porcentaje de error MAPE en métodos de pronóstico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Comparación de métrica MAPE en métodos de pronóstico

PRODUCTOS	SES	SED	WINTERS	CROSTON
UREA GRANULADA SACOX50KG	39,65%	17,41%	6,44%	28,25%
KCL SACOX50KG	477,97%	148,00%	62,76%	295,12%
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	48,00%	10,99%	4,32%	34,81%
MEZCLAS EZ	159,94%	26,96%	3,73%	136,08%
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	289,99%	254,94%	12,38%	228,76%
DAP SACOX50KG	358,25%	158,97%	5,81%	279,90%
MEZCLAS AC	200,13%	49,77%	6,12%	124,09%
MEZCLA INCAUCA	52,95%	17,39%	7,98%	44,07%
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	175,37%	143,50%	9,43%	161,47%
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	201,56%	32,75%	7,91%	143,02%
MEZCLA D M.	134,64%	30,57%	5,22%	118,22%
NAXTROM SACO X 50KG	247,97%	127,87%	12,12%	147,05%
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	175,14%	137,78%	14,52%	158,36%
MAP SACOX50KG	325,87%	219,35%	39,51%	223,70%

MEZCLA 2 ING	20,94%	16,36%	41,41%	27,22%
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	64,40%	9,91%	10,02%	51,38%
SOLUCION UAN CIA1	19,36%	5,93%	0,00%	14,73%
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	102,61%	22,52%	5,63%	75,89%
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	16,87%	4,80%	11,12%	18,84%
UREA GRANULAR SACOX1000KG	14,68%	9,39%	17,29%	16,87%
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	54,17%	11,01%	18,85%	40,98%
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	68,54%	24,71%	125,21%	38,95%
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	79,80%	16,10%	10,96%	68,52%
KCL STANDAR SACOX50KG	125,34%	51,54%	36,60%	114,85%
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	58,47%	39,59%	22,73%	75,51%
PROMEDIO	140,50%	63,52%	19,92%	106,66%

Fuente: elaboración propia

6.4. SISTEMAS DE CONTROL DE INVENTARIO

En el desarrollo de este capítulo se propone la utilización de políticas de revisión continua teniendo en cuenta el comportamiento observado de los productos donde se tienen ciertas tendencias a comportamientos erráticos debido a la variabilidad de estos, por lo tanto como lo plantea (Ballou, 2004) para este tipo de comportamiento es una ventaja la naturaleza de los sistemas continuos ya que se revisan los niveles de inventario después de cada transacción.

se establecen los factores que intervienen en los sistemas de control de inventario.

6.4.1. Factores de costos

Los costos relacionados a los sistemas de control (valores unitarios, tasa de mantener, costos de alistamiento), fueron suministrados por la empresa.

- Tasa de mantener inventario r

La información de tasas de mantener se establece con la empresa. Expresada en porcentajes anuales a partir de información de costos totales de mantenimiento (los cuales por confidencialidad no se permiten poner en el documento), de acuerdo con esto se establecen diferentes conceptos en los cuales se incurre por mantener inventario, en la tabla 21 se observan los conceptos establecidos y su respectiva tasa anual.

La tasa de mantener inventario se establece como un valor constante para todos los productos.

Tabla 21. Tasa de mantener inventario *r*

Concepto	Tasa
<i>Inversión en MP</i>	32,551%
<i>Impuestos y tasas</i>	0,005%
<i>Arrendamiento</i>	0,043%
<i>Seguros</i>	0,082%
<i>Servicios</i>	1,463%
<i>Mantenimiento</i>	0,004%
<i>Personal</i>	0,534%
<i>Honorarios</i>	0,008%
<i>Contribuciones</i>	0,004%
<i>Provisiones</i>	0,054%
<i>Diversos</i>	0,265%
TOTAL	35%

Fuente: Información suministrada por la empresa

- Valor unitario *v*

El valor unitario de los productos lo estiman como el costo de producción de cada tonelada de producto (costo maquila de producción + costo de materia prima), acorde a la clasificación que se ha manejado de productos tipo A y tipo B, en la tabla 22 se observan los valores unitarios de los productos establecidos por tonelada de las categorías A y B.

De la tabla de valores unitarios se puede observar que muchos productos tienen el mismo valor unitario, esto se da debido a la clasificación que tienen estos por familias o grupos de productos, clasificados en mezclas simples, mezclas estándar y mezclas especiales, estableciendo así un valor unitario para cada grupo.

- Costos de alistamiento A

Al ser el caso de una empresa productora se tienen en cuenta los costos de manejo de información (papeleo) de las ordenes como también los costos de alistamiento de maquinaria e insumos para la realización de las ordenes, estos costos al igual que los costos anteriores son suministrados por la empresa como costos estandarizados por productos (familias de productos) como se observa en la tabla 23, donde se puede apreciar los costos que se tienen en cuenta dentro del alistamiento como lo son los costos de manejo de información o papeleo, costos de alistamiento de empaques y de puesta en marcha de maquinaria y equipos involucrados en el proceso de producción estos últimos siendo un valor estándar para las diferentes referencias tomadas en consideración.

Tabla 22. Valores unitarios por tonelada

PRODUCTO	COSTO UNITARIO
UREA GRANULADA SACOX50KG	\$ 995.000
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	\$ 1.145.000
KCL SACOX50KG	\$ 1.045.000
MEZCLAS EZ	\$ 1.245.000
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	\$ 1.095.000
DAP SACOX50KG	\$ 1.045.000
MEZCLAS AC	\$ 1.195.000
MEZCLA INCAUCA	\$ 1.195.000
MEZCLA D M.	\$ 1.195.000
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	\$ 1.145.000
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	\$ 1.145.000
NAXTROM SACO X 50KG	\$ 1.245.000
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	\$ 1.145.000
MEZCLA 2 ING	\$ 1.195.000
SOLUCION UAN CIA1	\$ 1.295.000
MAP SACOX50KG	\$ 1.045.000
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	\$ 1.145.000
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	\$ 1.145.000
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	\$ 1.295.000
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	\$ 1.145.000
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	\$ 1.145.000
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	\$ 1.145.000
UREA GRANULAR SACOX1000KG	\$ 995.000
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	\$ 1.145.000
KCL STANDAR SACOX50KG	\$ 1.045.000

Fuente: Información suministrada por la empresa

Tabla 23. Costos de alistamiento A

PRODUCTOS	COSTO DE ALISTAMIENTO			
	Documentos	Empaques e insumos	Maquinaria y equipo	A
UREA GRANULADA SACOX50KG	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
KCL SACOX50KG	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
MEZCLAS EZ	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
DAP SACOX50KG	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
MEZCLAS AC	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000

MEZCLA INCAUCA	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
MEZCLA D M.	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
NAXTROM SACO X 50KG	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
MEZCLA 2 ING	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
SOLUCION UAN CIA1	\$ 30.000	\$ 200.000	\$ 300.000	\$ 530.000
MAP SACOX50KG	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	\$ 30.000	\$ 200.000	\$ 300.000	\$ 530.000
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
UREA GRANULAR SACOX1000KG	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000
KCL STANDAR SACOX50KG	\$ 20.000	\$ 150.000	\$ 300.000	\$ 470.000

Fuente: Información suministrada por la empresa

6.4.2. Aplicación de sistemas de control de inventario

Cómo ya se mencionó, se van a trabajar con sistemas de control de revisión continua, sin embargo, para el desarrollo del trabajo se tomarán variantes de estas políticas de control, en ese orden de ideas se tiene la siguiente clasificación de políticas y su abreviatura a utilizar:

- Políticas estáticas

Este grupo hace mención a las políticas de revisión continua (s,Q) y (s,S) desarrolladas con parámetros fijos, es decir, un valor de pedido Q fijo determinado por el EOQ y un factor de seguridad k fijo hallado con el valor de Q.

- Políticas estáticas optimizadas

Son las variantes de las políticas (s,Q) y (s,S) en las cuales se desarrolla el método iterativo para la determinación simultanea de Q y k establecidos como valores óptimos de estos parámetros, de este modo, estas variantes serán nombradas como (s,Q) opt y (s,S) opt.

- Política de pedido dinámico

Consiste en una política de simulación que actualiza sus parámetros periodo a periodo, es decir, cada periodo se calcula el Q y k óptimos utilizando el método iterativo de determinación simultánea, para este caso en particular se utiliza la raíz del error cuadrático medio suavizado de cada periodo, siendo así la desviación del pronóstico en cada periodo para determinar el punto de reorden específico para cada periodo.

Para efectos prácticos de ejemplificación, se mostrarán los desarrollos aplicados en el producto MEZCLAS AC

- Sistemas (s,Q)

Para iniciar se calcula la cantidad de pedido Q, esta cantidad se determina a partir de la utilización de la formula del EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{vr}}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2(470000)(92,71)}{(1195000)\left(\frac{35}{52}\right)}} = 105$$

Donde:

A = 470000 que corresponde al costo de alistamiento

D

= 92,71 que corresponde al promedio de los pronosticos observados en la tabla

v = 1195000 que corresponde al valor unitario

r

= $\frac{35}{52}$ que corresponde a la tasa anual dividido en 52 para tener un valor semanal

Tabla 24. Pronósticos producto MEZCLAS AC

N°	PRONOSTICOS	N°	PRONOSTICOS	N°	PRONOSTICOS	N°	PRONOSTICOS
1	37,24	10	92,41	19	36,72	28	190,23
2	34,30	11	184,79	20	67,85	29	8,95
3	75,28	12	132,16	21	58,89	30	10,88
4	45,65	13	141,37	22	62,69	31	24,53
5	61,13	14	74,93	23	8,46	32	243,52
6	111,48	15	315,35	24	134,53	33	199,59
7	80,56	16	146,03	25	142,12	34	34,62
8	23,28	17	41,05	26	56,55	35	47,92
9	70,33	18	155,06	27	160,87	36	26,32

Fuente: elaboración propia

El valor de la tasa r se divide en 52 para trabajar en la unidad de medida de semanas. Conociendo el valor de Q se determina el valor de k ya que se utiliza la determinación de k por el método del valor B_2 conocido.

Se determina un valor B_2 como lo menciona (Landeta, Ynzunza, & Sarmiento, 2012) donde se establece que el valor de B_2 puede manejarse desde 0,5 hasta 1, de acuerdo con el manejo de la empresa, en la mayoría de los casos el costo de los faltantes se asume como la mitad del costo unitario del ítem, por este motivo para estandarizar dicho costo se trabajará con un valor de $B_2 = 0,5$,

Para determinar el valor de k se halla el valor de $p_z(k)$:

$$p_z(k) = \frac{Qr}{DB_2} = \frac{(105) \left(\frac{35}{52}\right)}{(92,71)(0,5)} = 0,01525$$

Según las tablas de distribución el correspondiente valor de k para $p_z(k) = 0,01525$ es de 2,16

Al trabajar con el supuesto de Lead time de una semana, los valores para la demanda y desviación durante el tiempo de reposición son iguales a la demanda promedio y desviación estándar del error (para el cálculo se está utilizando la desviación estándar del ECMS)

De acuerdo con lo anterior se calcula el punto de reorden s :

$$s = d + k\hat{\sigma}_L = 92,71 + (2,16)(17,39) = 131$$

El paso siguiente es calcular el costo total relevante CTR y nivel de servicio P_2 o *fill rate* teórico.

$$\begin{aligned} CTR &= \frac{AD}{Q} + \left(\frac{Q}{2} + k\hat{\sigma}_L\right)vr + \frac{D}{Q}(B_2v)\hat{\sigma}_L G_z(k) \\ &= \frac{(470000)(92,71)}{105} + \left[\frac{105}{2} + (2,16)(17,39)\right] \left((1195000) \left(\frac{35}{52}\right)\right) \\ &\quad + \left(\frac{92,71}{105}((0,5)(1195000))((17,39)(0,00547))\right) = \$1.189926 \end{aligned}$$

El valor de $G_z(k)$ se determina a partir de las tablas de distribución.

El nivel de servicio P_2 está especificado por:

$$P_2 = 1 - \frac{\hat{\sigma}_L G_z(k)}{Q} = 1 - \frac{(17,39)(0,00547)}{105} = 0,99909 = 99,91\%$$

Es decir, se espera satisfacer la demanda total en un 99,91% o análogamente, se espera una probabilidad del 0,09% de que no cumplir con el total de la demanda por no contar con inventario disponible.

- Sistema (s,S)

Para determinar los valores del sistemas de mínimos y máximos se utilizan como base los valores determinados en el sistema anterior, es decir el valor Q usado en el sistema (s,Q) en este sistema se utiliza para determinar la cantidad máxima de inventario a tener determinando así la cantidad de pedido por diferencia entre valor máximo de inventario y total de existencias.

El valor S consiste en la suma de la cantidad de pedido Q y el punto de reorden, es decir:

$$S = s + Q = 131 + 105 = 236$$

Lo que quiere decir que el inventario máximo a tener es de 236 unidades.

- Determinación simultanea de s y Q

En este punto se utiliza la metodología mencionada en la tabla 4, para determinar los valores corregidos de Q y k y por ente el valor de s, esta determinación se realiza con el objetivo de reducir los parámetros de costos (reducir CTR) y mejorar niveles de servicio.

De acuerdo con la metodología de la tabla 4

A partir del valor conocido de Q se determina la probabilidad de no ocurrencia de faltantes o P_1

$$P_1 = 1 - p_z(k) = 1 - \frac{Qr}{DB_2} = 1 - \frac{(105) \left(\frac{35}{52}\right)}{(92,71)(0,5)} = 1 - 0,01525 = 0,98475$$

Con el valor de $p_z(k)$ se halla el valor de $G_z(k)$ y k, los cuales son:

$$G_z(k) = 0,00547; k = 2,16$$

Se calcula el nuevo valor de Q mediante la ecuación:

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{\frac{2D[A + (B_2v)\hat{\sigma}_L G_z(k)]}{vr}} \\ &= \sqrt{\frac{2(92,71) \left(470000 + ((0,5)(1195000))((17,39)(0,00547))\right)}{(1195000) \left(\frac{35}{52}\right)}} \\ &= 111 \end{aligned}$$

Este procedimiento se realiza hasta que no haya cambios (o sean cambios despreciables) en Q y k como se observa en la tabla 25.

Cuando los cambios sean despreciables en Q y k se procede a calcular el nuevo punto de reorden:

$$s = 92,71 + (2,14)(17,39) = 131$$

Y se calcula el nuevo valor de S para el sistema (s,S)

$$S = 131 + 111 = 242$$

Aparentemente el valor de s no cambia, sin embargo, esto no es cierto, ya que para el desarrollo practico se redondeó al valor entero por encima para tener cifras exactas (por motivos de claridad en el momento de hacer un pedido)

Tabla 25. Determinación simultanea de Q y k

Q	p1	Pz(K)	k	Gz(k)	CTR
105,00	0,984748312	0,015251688	2,160	0,00547237	\$ 1.189.926
111	0,983876786	0,016123214	2,140	0,00578795	\$ 1.188.859
111	0,983876786	0,016123214	2,140	0,00578795	\$ 1.188.859
111	0,983876786	0,016123214	2,140	0,00578795	\$ 1.188.859
111	0,983876786	0,016123214	2,140	0,00578795	\$ 1.188.859
111	0,983876786	0,016123214	2,140	0,00578795	\$ 1.188.859
111	0,983876786	0,016123214	2,140	0,00578795	\$ 1.188.859
111	0,983876786	0,016123214	2,140	0,00578795	\$ 1.188.859
111	0,983876786	0,016123214	2,140	0,00578795	\$ 1.188.859
111	0,983876786	0,016123214	2,140	0,00578795	\$ 1.188.859

Fuente: Elaboración propia

Una vez se aplican los sistemas en todos los productos en consideración, se realiza una comparación de los resultados teóricos obtenidos, es decir, se compararán los resultados de tener un Q fijo establecido por el EOQ y los resultados de una determinación simultanea de Q y k, en la tabla 26 se observan los resultados obtenidos con las políticas realizadas con Q determinado por EOQ.

Al observar los valores de CTR de ambas políticas, se puede notar que se tiene el mismo valor, esto se debe a la utilización de los mismo parámetros para el cálculo, es decir, el valor Q y el valor k, por lo cual la diferencia entre las políticas se encuentra en el inventario máximo que se maneja pues en el sistema (s,S) el principio se basa en pedir una cantidad x obtenida de la diferencia entre inventario máximo e inventario existente, modo que se tenga nuevamente una cantidad máxima específica.

Tabla 26. Resultados teóricos con Q por EOQ

PRODUCTOS	Política (s,Q)			Política (s,S)			
	Q	k	CTR	Q	k	S	CTR
UREA GRANULADA SACOX50KG	316	2,51	\$ 3.364.427	316	2,51	1192	\$ 3.364.427
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	163	2,32	\$ 1.642.692	163	2,32	425,00	\$ 1.642.692
KCL SACOX50KG	177	2,32	\$ 1.734.732	177	2,32	472,00	\$ 1.734.732

MEZCLAS EZ	134	2,28	\$ 1.569.196	134	2,28	340,00	\$ 1.569.196
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	155	2,28	\$ 2.361.606	155	2,28	487,00	\$ 2.361.606
DAP SACOX50KG	123	2,18	\$ 1.123.198	123	2,18	269,00	\$ 1.123.198
MEZCLAS AC	105	2,16	\$ 1.189.926	105	2,16	236,00	\$ 1.189.926
MEZCLA INCAUCA	97	2,13	\$ 1.014.037	97	2,13	203,00	\$ 1.014.037
MEZCLA D M.	87	2,09	\$ 843.181	87	2,09	168,00	\$ 843.181
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	92	2,09	\$ 941.673	92	2,09	188,00	\$ 941.673
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	91	2,09	\$ 827.315	91	2,09	173,00	\$ 827.315
NAXTROM SACO X 50KG	79	2,06	\$ 858.805	79	2,06	155,00	\$ 858.805
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	83	2,05	\$ 811.059	83	2,05	159,00	\$ 811.059
MEZCLA 2 ING	70	2,00	\$ 850.894	70	2,00	143,00	\$ 850.894
SOLUCION UAN CIA1	49	1,82	\$ 1.201.958	49	1,82	143,00	\$ 1.201.958
MAP SACOX50KG	76	1,98	\$ 866.967	76	1,98	160,00	\$ 866.967
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	71	1,99	\$ 616.734	71	1,99	121,00	\$ 616.734
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	57	1,89	\$ 529.164	57	1,89	95,00	\$ 529.164
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	52	1,86	\$ 745.567	52	1,86	103,00	\$ 745.567
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	51	1,84	\$ 452.223	51	1,84	80,00	\$ 452.223
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	36	1,67	\$ 639.968	36	1,67	86,00	\$ 639.968
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	47	1,80	\$ 408.148	47	1,80	71,00	\$ 408.148
UREA GRANULAR SACOX1000KG	45	1,73	\$ 648.181	45	1,73	103,00	\$ 648.181
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	38	1,70	\$ 510.374	38	1,70	74,00	\$ 510.374
KCL STANDAR SACOX50KG	46	1,75	\$ 459.668	46	1,75	78,00	\$ 459.668
PROMEDIO	\$ 1.048.468			\$ 1.048.468			

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 27 se tienen los resultados obtenidos con la determinación simultanea de Q y k, al igual que como se observó en la tabla anterior, en este caso los valores de CTR de ambos sistemas tienen el mismo valor, esto se debe a que al igual que en el caso anterior, en ambos casos se usan los mismo parámetros, sin embargo, al comparar los resultados de las tablas 26 y 27 se puede notar como con la determinación simultanea de Q y k se disminuyen los valores del CTR.

Con los resultados obtenidos de la comparación de los sistemas con Q fijo y determinación simultanea se podría decir que la mejor opción es utilizar sistemas de control de inventario con determinación simultanea de Q y k, sin embargo, para no tomar decisiones apresuradas se realizan simulaciones de las dos variaciones de los sistemas, se hace con dos propósitos, el primero confirmar la suposición planteada de cual variante es mejor y segundo además alineado con el objetivo principal es validar el comportamiento de cada sistema en torno a la ocurrencia de faltantes, ya que los niveles de faltantes serán un factor decisivo.

Tabla 27. Resultados teóricos con determinación simultanea de Q y k

PRODUCTOS	Política (s,Q) (Q y k óptimos) (Q y k óptimos)			Política (s,S) (Q y k óptimos) (Q y k óptimos)			
	Q	k	CTR	Q	k	S	CTR
UREA GRANULADA			\$				\$
SACOX50KG	338	2,49	3.359.853	338	2,49	1213	3.359.853
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	169	2,31	1.641.897	169	2,31	431,00	1.641.897
KCL SACOX50KG	186	2,30	1.733.390	186	2,30	480,00	1.733.390
MEZCLAS EZ	141	2,26	1.567.936	141	2,26	347,00	1.567.936
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	178	2,23	2.351.093	178	2,23	507,00	2.351.093
DAP SACOX50KG	129	2,16	1.122.497	129	2,16	275,00	1.122.497
MEZCLAS AC	111	2,14	1.188.859	111	2,14	242,00	1.188.859
MEZCLA INCAUCA	101	2,12	1.013.507	101	2,12	207,00	1.013.507
MEZCLA D M.	90	2,08	842.889	90	2,08	171,00	842.889
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	96	2,08	941.059	96	2,08	192,00	941.059
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	93	2,08	827.190	93	2,08	175,00	827.190

NAXTROM SACO X 50KG	82	2,05	\$ 858.365	82	2,05	158,00	\$ 858.365
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	86	2,03	\$ 810.746	86	2,03	162,00	\$ 810.746
MEZCLA 2 ING	76	1,96	\$ 849.325	76	1,96	148,00	\$ 849.325
SOLUCION UAN CIA1	68	1,67	\$ 1.179.998	68	1,67	156,00	\$ 1.179.998
MAP SACOX50KG	84	1,94	\$ 864.556	84	1,94	167,00	\$ 864.556
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	72	1,98	\$ 616.687	72	1,98	122,00	\$ 616.687
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	59	1,87	\$ 529.031	59	1,87	97,00	\$ 529.031
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	59	1,80	\$ 742.864	59	1,80	109,00	\$ 742.864
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	53	1,83	\$ 452.181	53	1,83	82,00	\$ 452.181
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	47	1,54	\$ 631.331	47	1,54	94,00	\$ 631.331
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	48	1,79	\$ 408.157	48	1,79	72,00	\$ 408.157
UREA GRANULAR SACOX1000KG	57	1,61	\$ 640.796	57	1,61	112,00	\$ 640.796
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	44	1,63	\$ 507.648	44	1,63	79,00	\$ 507.648
KCL STANDAR SACOX50KG	50	1,72	\$ 458.815	50	1,72	82,00	\$ 458.815
PROMEDIO	\$ 1.045.627			\$ 1.045.627			

Fuente: Elaboración propia

6.4.3. Simulación de sistemas de inventario

Se realizan simulaciones de los sistemas de control tratados con sus respectivas variantes, Se realiza también una simulación de carácter dinámico, con la finalidad de buscar mejores resultados en el propósito principal que es reducir las cantidades de faltantes en el máximo posible.

Las políticas simuladas se nombran de acuerdo a las características principales (parámetros fijos, Q y k optimizados y pedido dinamico) como: (s,Q), (s,S), (s,Q) opt, (s,S) opt y Ped. Din.

De esta manera, a modo de ejemplo se mostrarán las simulaciones realizadas con el producto FORKAMIX MEZCLA 25-4-24

El cálculo de cantidades de pedido y demás factores se realiza de la misma forma que se planteó en el punto anterior, por este motivo se mostrarán solo los resultados de la simulación en Excel, ya que la finalidad de esta es validar el

comportamiento y resultados de los sistemas en un periodo de tiempo. Los resultados de las simulaciones estáticas (s,Q) y (s,S) se observan en las tablas 28 y 29 respectivamente, en las tablas 30 y 31 se observan las simulaciones de las políticas (s,Q) opt y (s,S) opt respectivamente.

El nivel de servicio (fill rate) calculado en las simulaciones es uno de los factores a tener en cuenta en la selección de las mejores políticas de control. Los costos que se tienen en cuenta en las simulaciones corresponden a los costos de mantener inventario (inventario promedio por el valor unitario por la tasa r), los costos por faltantes de inventario (faltantes por costo de faltante) y los costos de ordenar (total de pedidos por costo de ordenar).

Estos costos y nivel de servicio en las simulaciones se calculan como:

$$P_2 = \left(1 - \frac{\text{Total faltantes}}{\text{Total pronósticos}}\right) * 100$$

$$Cm = (\text{inventario total}) * vr$$

$$C.\text{ordenar} = (\text{total pedidos}) * A$$

$$C.\text{faltante} = (\text{total faltantes}) * B_2v$$

Tabla 28. Ejemplo simulación (s,Q) FORKAMIX MEZCLA 25-4-24

POLITICA DE INVENTARIO (s,Q)			PRON	INV. NETO	INV.EFFECT.	PEDIDO	Cant. Ped	Faltante
desv dem	12,58			200,00	200,00			
d	68,27 ton/sem		2,83	197,17	197,17	0	0,00	0,00
A	\$ 470.000		2,15	195,03	195,03	0	0,00	0,00
L	1 semana		4,04	190,98	190,98	0	0,00	0,00
v	\$ 1.145.000		5,27	185,72	185,72	0	0,00	0,00
r	0,67%		1,21	184,51	184,51	0	0,00	0,00
Pz(k)	0,018147751		8,64	175,86	175,86	0	0,00	0,00
k	2,09		4,16	171,71	171,71	0	0,00	0,00
Gz(k)	0,006649172		28,46	143,25	143,25	0	0,00	0,00
B2	0,5		15,26	127,98	127,98	0	0,00	0,00
			3,73	124,26	124,26	0	0,00	0,00
			11,26	113,00	113,00	0	0,00	0,00
			26,92	86,08	178,08	1	92,00	0,00
			97,06	81,02	173,02	1	92,00	0,00
			0,18	172,84	172,84	0	0,00	0,00
			87,37	85,47	177,47	1	92,00	0,00
			118,69	58,78	150,78	1	92,00	0,00
			91,63	59,14	151,14	1	92,00	0,00
			197,80	-46,65	92,00	1	92,00	46,65
			66,45	25,55	117,55	1	92,00	0,00
			232,28	-114,73	92,00	1	92,00	114,73
			128,01	-36,01	92,00	1	92,00	36,01
			92,07	-0,07	92,00	1	92,00	0,07
			84,00	8,00	100,00	1	92,00	0,00
			95,70	4,29	96,29	1	92,00	0,00
			166,84	-70,55	92,00	1	92,00	70,55
			305,95	-213,95	92,00	1	92,00	213,95
			39,31	52,69	144,69	1	92,00	0,00
			172,21	-27,52	92,00	1	92,00	27,52
			84,17	7,83	99,83	1	92,00	0,00
			57,97	41,85	133,85	1	92,00	0,00
			40,99	92,86	184,86	1	92,00	0,00
			4,75	180,11	180,11	0	0,00	0,00
			42,53	137,58	137,58	0	0,00	0,00
			18,88	118,70	118,70	0	0,00	0,00
			103,41	15,29	107,29	1	92,00	0,00
			15,52	91,76	183,76	1	92,00	0,00
						PEDIDOS 21	FALTANTES 509,48	

Q 92,00

Desv durar 12,58
Pronostico 69

P. reorden 96

COSTOS	
Cm	\$ 24.126.093
C.Orden	\$ 9.870.000
C. Faltante	\$ 291.678.581
T. Costos	\$ 325.674.674

NIVEL DE SERVICIO	
P1 Simulad	66,67%
P2 Teorico	99,91%
P2 Simulac	79,27%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Ejemplo simulación (s,S) FORKAMIX MEZCLA 25-4-24

POLITICA DE INVENTARIO (s,S)			PRON	INV. NETO	INV.EFFECT.	PEDIDO	Cant. Ped	Faltante
desv dem	12,58			200,00	200,00			
d	68,27 ton/sem		2,83	197,17	197,17	0	0,00	0,00
A	\$ 470.000		2,15	195,03	195,03	0	0,00	0,00
L	1 semana		4,04	190,98	190,98	0	0,00	0,00
v	\$ 1.145.000		5,27	185,72	185,72	0	0,00	0,00
r	0,67%		1,21	184,51	184,51	0	0,00	0,00
Pz(k)	0,018147751		8,64	175,86	175,86	0	0,00	0,00
k	2,09		4,16	171,71	171,71	0	0,00	0,00
Gz(k)	0,006649172		28,46	143,25	143,25	0	0,00	0,00
B2	0,5		15,26	127,98	127,98	0	0,00	0,00
			3,73	124,26	124,26	0	0,00	0,00
			11,26	113,00	113,00	0	0,00	0,00
			26,92	86,08	188,00	1	101,92	0,00
			97,06	90,94	188,00	1	97,06	0,00
			0,18	187,82	187,82	0	0,00	0,00
			87,37	100,45	100,45	0	0,00	0,00
			118,69	-18,24	188,00	1	188,00	18,24
			91,63	96,37	96,37	0	0,00	0,00
			197,80	-101,43	188,00	1	188,00	101,43
			66,45	121,55	121,55	0	0,00	0,00
			232,28	-110,73	188,00	1	188,00	110,73
			128,01	59,99	188,00	1	128,01	0,00
			92,07	95,93	188,00	1	92,07	0,00
			84,00	104,00	104,00	0	0,00	0,00
			95,70	8,29	188,00	1	179,71	0,00
			166,84	21,16	188,00	1	166,84	0,00
			305,95	-117,95	188,00	1	188,00	117,95
			39,31	148,69	148,69	0	0,00	0,00
			172,21	-23,52	188,00	1	188,00	23,52
			84,17	103,83	103,83	0	0,00	0,00
			57,97	45,85	188,00	1	142,15	0,00
			40,99	147,01	147,01	0	0,00	0,00
			4,75	142,25	142,25	0	0,00	0,00
			42,53	99,72	99,72	0	0,00	0,00
			18,88	80,85	188,00	1	107,15	0,00
			103,41	84,59	188,00	1	103,41	0,00
			15,52	172,48	172,48	0	0,00	0,00
						PEDIDOS	14	FALTANTES
								371,87

Q 92,00

Desv durar 12,58
Pronostico 69

P. reorden 96

S 188,00

COSTOS	
Cm	\$ 29.353.348
C.Orden	\$ 6.580.000
C. Faltante	\$ 212.895.353
T. Costos	\$ 248.828.701

NIVEL DE SERVICIO	
P1 Simulad	64,29%
P2 Teorico	99,91%
P2 Simulac	84,87%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Ejemplo simulación (s,Q) OPT FORKAMIX MEZCLA 25-4-24

POLITICA DE INVENTARIO (s,Q) OPT			PRON	INV. NETO.	INV.EFFECT.	PEDIDO	Cant. Ped	Faltante
desv dem	12,58			200,00	200,00			
d	68,27 ton/sem		2,83	197,17	197,17	0	0,00	0,00
A	\$ 470.000		2,15	195,03	195,03	0	0,00	0,00
L	1 semana		4,04	190,98	190,98	0	0,00	0,00
v	\$ 1.145.000		5,27	185,72	185,72	0	0,00	0,00
r	0,67%		1,21	184,51	184,51	0	0,00	0,00
Pz(k)	0,018936784		8,64	175,86	175,86	0	0,00	0,00
k	2,08		4,16	171,71	171,71	0	0,00	0,00
Gz(k)	0,006834522		28,46	143,25	143,25	0	0,00	0,00
B2	0,5		15,26	127,98	127,98	0	0,00	0,00
			3,73	124,26	124,26	0	0,00	0,00
			11,26	113,00	113,00	0	0,00	0,00
			26,92	86,08	182,08	1	96,00	0,00
			97,06	85,02	181,02	1	96,00	0,00
			0,18	180,84	180,84	0	0,00	0,00
			87,37	93,47	189,47	1	96,00	0,00
			118,69	70,78	166,78	1	96,00	0,00
			91,63	75,14	171,14	1	96,00	0,00
			197,80	-26,65	96,00	1	96,00	26,65
			66,45	29,55	125,55	1	96,00	0,00
			232,28	-106,73	96,00	1	96,00	106,73
			128,01	-32,01	96,00	1	96,00	32,01
			92,07	3,93	99,93	1	96,00	0,00
			84,00	15,92	111,92	1	96,00	0,00
			95,70	16,22	112,22	1	96,00	0,00
			166,84	-54,62	96,00	1	96,00	54,62
			305,95	-209,95	96,00	1	96,00	209,95
			39,31	56,69	152,69	1	96,00	0,00
			172,21	-19,52	96,00	1	96,00	19,52
			84,17	11,83	107,83	1	96,00	0,00
			57,97	49,85	145,85	1	96,00	0,00
			40,99	104,86	104,86	0	0,00	0,00
			4,75	100,11	100,11	0	0,00	0,00
			42,53	57,58	153,58	1	96,00	0,00
			18,88	134,70	134,70	0	0,00	0,00
			103,41	31,29	127,29	1	96,00	0,00
			15,52	111,76	111,76	0	0,00	0,00
			PEDIDOS		20	FALTANTES	449,48	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 32 contiene el ejemplo de la metodología de pedido dinámico, que consiste en calcular de manera simultánea los valores de Q y k periodo a periodo a partir del método iterativo mostrado con anterioridad. Para el cálculo de estos factores periodo a periodo es necesaria la utilización de los ECMS de los pronósticos de cada periodo ya que la raíz de estos es la desviación estándar del pronóstico de cada periodo, una vez son calculados los valores de Q y k se calcula el punto de reorden también dinámico para finalmente establecer el valor máximo de inventario S para cada periodo.

Tabla 31. Ejemplo simulación (s,S) OPT FORKAMIX MEZCLA 25-4-24

POLITICA DE INVENTARIO (s,S) OPT			PRON	INV. NETO.	INV.EFFECT.	PEDIDO	Cant. Ped	Faltante
desv dem	12,58			200,00	200,00			
d	68,27 ton/sem		2,83	197,17	197,17	0	0,00	0,00
A	\$ 470.000		2,15	195,03	195,03	0	0,00	0,00
L	1 semana		4,04	190,98	190,98	0	0,00	0,00
v	\$ 1.145.000		5,27	185,72	185,72	0	0,00	0,00
r	0,67%		1,21	184,51	184,51	0	0,00	0,00
Pz(k)	0,018936784		8,64	175,86	175,86	0	0,00	0,00
k	2,08		4,16	171,71	171,71	0	0,00	0,00
Gz(k)	0,006834522		28,46	143,25	143,25	0	0,00	0,00
B2	0,5		15,26	127,98	127,98	0	0,00	0,00
			3,73	124,26	124,26	0	0,00	0,00
			11,26	113,00	113,00	0	0,00	0,00
			26,92	86,08	192,00	1	105,92	0,00
			97,06	94,94	192,00	1	97,06	0,00
			0,18	191,82	191,82	0	0,00	0,00
			87,37	104,45	104,45	0	0,00	0,00
			118,69	-14,24	0,00	1	192,00	14,24
			91,63	100,37	100,37	0	0,00	0,00
			197,80	-97,43	0,00	1	192,00	97,43
			66,45	125,55	125,55	0	0,00	0,00
			232,28	-106,73	0,00	1	192,00	106,73
			128,01	63,99	192,00	1	128,01	0,00
			92,07	99,93	99,93	0	0,00	0,00
			84,00	15,92	192,00	1	176,08	0,00
			95,70	96,30	96,30	0	0,00	0,00
			166,84	-70,55	0,00	1	192,00	70,55
			305,95	-113,95	0,00	1	192,00	113,95
			39,31	152,69	152,69	0	0,00	0,00
			172,21	-19,52	0,00	1	192,00	19,52
			84,17	107,83	107,83	0	0,00	0,00
			57,97	49,85	192,00	1	142,15	0,00
			40,99	151,01	151,01	0	0,00	0,00
			4,75	146,25	146,25	0	0,00	0,00
			42,53	103,72	103,72	0	0,00	0,00
			18,88	84,85	192,00	1	107,15	0,00
			103,41	88,59	192,00	1	103,41	0,00
			15,52	176,48	176,48	0	0,00	0,00
					PEDIDOS	13	FALTANTES	422,42

Fuente: Elaboración propia

La política de pedido dinámico, aunque más compleja en su ejecución muestra una gran mejora en el aspecto que se busca disminuir, es decir, con este método se reducen en gran medida la cantidad de faltantes presentados por ende se reducen los costos asociados a estos como se puede ver en la gráfica 5. También se comparan los niveles de servicio esperado con estas políticas, resultado que se observa en la gráfica 6.

Tabla 32. Simulación de sistema de pedido dinámico FORKAMIX MEZCLA 25-4-24

			OPTIMIZACIÓN DE Q Y k						POLITICA DE PEDIDO DINAMICO						
T	pron	ECMS	Q Opt	p1	p2(k)	k	Gz(k)	CTR	s	\$	I.NETO	I. EFECT.	PEDIDO	Cant. Ped	Faltante
	5,33	4187,362									200	200			
1	2,83	3768,702	97	0,54	0,462	0,10	0,3509	\$ 794.441	9,00	106,00	197,17	197,17	0	0,00	0,00
2	2,15	3391,905	88	0,45	0,552	0,00	0,3989	\$ 675.140	3,00	91,00	195,03	195,03	0	0,00	0,00
3	4,04	3052,765	75	0,75	0,250	0,67	0,1503	\$ 855.993	42,00	117,00	190,98	190,98	0	0,00	0,00
4	5,27	2747,665	67	0,83	0,171	0,95	0,0916	\$ 895.231	56,00	123,00	185,72	185,72	0	0,00	0,00
5	1,21	2472,920	61	0,32	0,679	0,00	0,3989	\$ 469.760	2,00	63,00	184,51	184,51	0	0,00	0,00
6	8,64	2225,671	63	0,90	0,098	1,29	0,0465	\$ 948.875	70,00	133,00	175,86	175,86	0	0,00	0,00
7	4,16	2003,116	60	0,81	0,194	0,86	0,1080	\$ 752.314	43,00	103,00	171,71	171,71	0	0,00	0,00
8	28,46	1805,874	79	0,96	0,037	1,78	0,0150	\$ 1.188.584	105,00	184,00	143,25	143,25	0	0,00	0,00
9	15,26	1626,684	64	0,94	0,056	1,59	0,0238	\$ 984.229	80,00	144,00	127,98	127,98	0	0,00	0,00
10	3,73	1464,044	52	0,81	0,188	0,89	0,1023	\$ 657.407	38,00	90,00	124,26	124,26	0	0,00	0,00
11	11,26	1317,646	57	0,93	0,068	1,49	0,0300	\$ 852.596	66,00	123,00	113,00	113,00	0	0,00	0,00
12	26,92	1186,829	73	0,96	0,037	1,79	0,0146	\$ 1.036.639	89,00	162,00	86,08	162,00	1	75,92	0,00
13	97,06	1068,485	121	0,98	0,017	2,13	0,0060	\$ 1.469.579	167,00	288,00	64,94	288,00	1	223,06	0,00
14	0,18	961,640	19	-0,46	1,458	0,00	0,3989	\$ 143.019	1,00	20,00	287,82	287,82	0	0,00	0,00
15	87,37	876,766	115	0,98	0,018	2,10	0,0065	\$ 1.363.115	150,00	265,00	200,45	200,45	0	0,00	0,00
16	118,69	793,131	131	0,99	0,015	2,17	0,0053	\$ 1.479.712	180,00	311,00	81,76	311,00	1	229,24	0,00
17	91,63	742,275	116	0,98	0,017	2,12	0,0061	\$ 1.339.137	150,00	266,00	219,37	219,37	0	0,00	0,00
18	197,80	670,965	165	0,99	0,011	2,28	0,0039	\$ 1.723.821	257,00	422,00	21,57	422,00	1	400,43	0,00
19	66,45	608,026	100	0,98	0,020	2,05	0,0074	\$ 1.157.122	118,00	218,00	355,55	355,55	0	0,00	0,00
20	232,28	583,990	177	0,99	0,010	2,32	0,0035	\$ 1.794.025	289,00	466,00	123,27	466,00	1	342,73	0,00
21	128,01	530,071	134	0,99	0,014	2,19	0,0050	\$ 1.417.571	179,00	313,00	337,99	337,99	0	0,00	0,00
22	92,07	477,949	115	0,98	0,017	2,12	0,0061	\$ 1.238.269	139,00	254,00	245,92	245,92	0	0,00	0,00
23	84,00	430,378	109	0,98	0,017	2,11	0,0063	\$ 1.177.464	128,00	237,00	161,92	161,92	0	0,00	0,00
24	95,70	387,611	116	0,98	0,016	2,14	0,0058	\$ 1.213.584	138,00	254,00	66,21	254,00	1	187,79	0,00
25	166,84	370,332	150	0,99	0,012	2,25	0,0042	\$ 1.486.727	211,00	361,00	87,16	361,00	1	273,84	0,00
26	305,95	432,232	201	0,99	0,009	2,37	0,0030	\$ 1.924.040	356,00	557,00	55,05	557,00	1	501,95	0,00
27	39,31	389,056	78	0,97	0,027	1,93	0,0102	\$ 889.208	78,00	156,00	517,69	517,69	0	0,00	0,00
28	172,21	351,198	152	0,99	0,012	2,26	0,0041	\$ 1.494.985	215,00	367,00	345,48	345,48	0	0,00	0,00
29	84,17	329,021	109	0,98	0,017	2,11	0,0063	\$ 1.128.663	123,00	232,00	261,30	261,30	0	0,00	0,00
30	57,97	296,164	91	0,98	0,021	2,03	0,0078	\$ 968.711	93,00	184,00	203,33	203,33	0	0,00	0,00
31	40,99	266,857	78	0,97	0,026	1,95	0,0097	\$ 840.934	73,00	151,00	162,34	162,34	0	0,00	0,00
32	4,75	240,171	33	0,91	0,093	1,32	0,0436	\$ 408.415	26,00	59,00	157,58	157,58	0	0,00	0,00
33	42,53	216,230	78	0,98	0,025	1,97	0,0092	\$ 822.505	72,00	150,00	115,06	115,06	0	0,00	0,00
34	18,88	194,621	55	0,96	0,039	1,76	0,0158	\$ 605.871	44,00	99,00	96,18	96,18	0	0,00	0,00
35	103,41	175,753	118	0,98	0,015	2,16	0,0055	\$ 1.123.944	133,00	251,00	-7,23	251,00	1	251,00	7,23
36	15,52	158,273	50	0,96	0,043	1,71	0,0178	\$ 544.439	38,00	88,00	235,48	235,48	0	0,00	0,00
														FALTANT	7,23

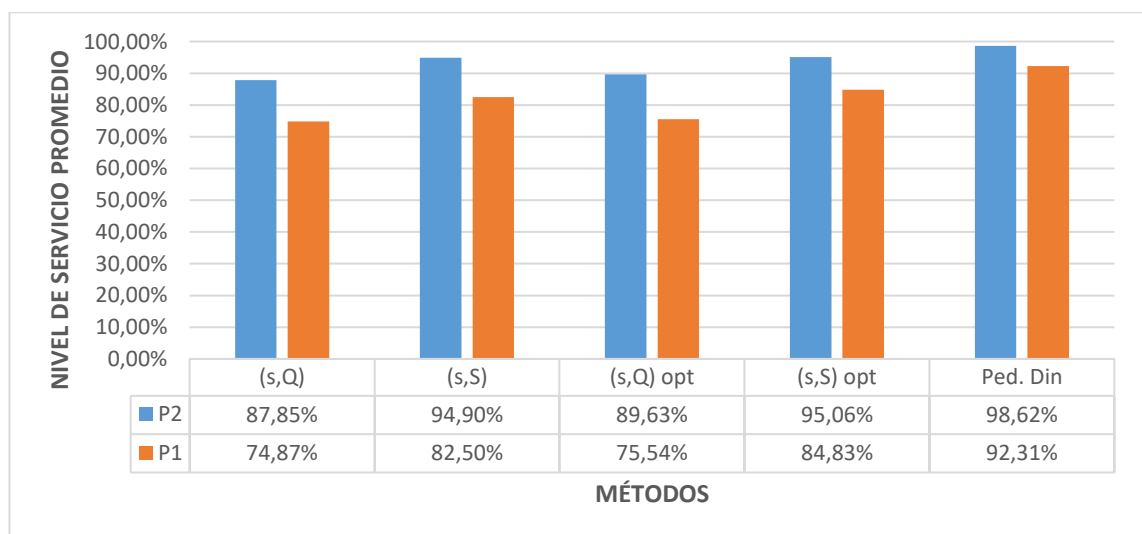
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. Comparación de costos (mantener, ordenar, faltantes) de las políticas de control evaluadas



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 6. Comparación niveles de servicio políticas abordadas



Fuente: Elaboración propia

6.4.1. Comparación de resultados y selección de política de inventario

Al finalizar las simulaciones de los sistemas en todos los productos se comparan los resultados de estos, teniendo como medidas de comparación las cantidades de faltantes, el *fill rate* y los costos totales.

En las tablas 33 y 34 se observa la comparación de los resultados de las variantes de los sistemas (s,Q) y (s,S), donde se tiene en cuenta el nivel de servicio, el nivel de faltante y los costos totales para seleccionar los mejores resultados (casillas sombreadas) por producto.

De la primera fase de comparaciones de políticas se observan dos resultados importantes, primero, las políticas (s,Q) como se menciona en (Vidal, 2010) se quedan cortas cuando las cantidades que se manejan son muy altas (como pasa en los primeros productos). Segundo, de acuerdo con el comportamiento de los productos el sistema de que mejor se adapta logrando mejores resultados es el sistema de control (s,S) en su gran mayoría con la variante (s,S) opt.

Tabla 33. Comparación de resultados de simulación variantes de sistemas (s,Q) y (s,S) parte 1

PRODUCTOS	Política (s,Q)				Política (s,S)			
	Faltantes	Fill Rate	P1	C. Total	Faltantes	Fill Rate	P1	C. Total
UREA GRANULADA SACOX50KG	13598,26	46,76%	8,33%	\$ 6.786.147.770	824,53	96,77%	94,12%	\$ 544.727.384
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	1905,45	75,50%	58,82%	\$ 1.128.416.815	136,21	98,25%	96,30%	\$ 144.291.179
KCL SACOX50KG	2922,52	65,06%	60,00%	\$ 1.573.817.163	782,03	90,65%	79,17%	\$ 478.420.642
MEZCLAS EZ	24,85	99,56%	73,53%	\$ 60.522.157	288,04	94,95%	87,50%	\$ 242.794.755
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(s)	778,87	80,75%	55,00%	\$ 497.077.270	265,99	93,43%	83,33%	\$ 242.794.144
DAP SACOX50KG	697,82	82,85%	64,00%	\$ 403.571.836	299,65	92,63%	78,95%	\$ 202.330.308
MEZCLAS AC	508,78	84,76%	74,07%	\$ 340.763.883	247,35	92,59%	83,33%	\$ 190.413.315
MEZCLA INCAUCA	184,90	93,53%	77,78%	\$ 143.137.909	69,37	97,57%	77,78%	\$ 79.391.713
MEZCLA D M.	241,16	89,63%	73,91%	\$ 173.079.283	98,28	95,78%	82,35%	\$ 90.999.022
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	509,48	79,27%	66,67%	\$ 325.674.674	371,87	84,87%	64,29%	\$ 248.828.701
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	232,01	90,34%	69,57%	\$ 160.346.422	119,79	95,01%	83,33%	\$ 101.468.569
NAXTROM SACO X 50KG	310,70	84,17%	65,00%	\$ 222.631.760	178,28	90,92%	87,50%	\$ 145.393.096
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	341,12	82,85%	52,63%	\$ 224.103.224	254,61	87,20%	69,23%	\$ 176.443.916
MEZCLA 2 ING	0,00	100,00%	100,00%	\$ 29.927.472	10,38	99,30%	92,86%	\$ 35.834.478
SOLUCION UAN CIA1	249,42	63,98%	37,50%	\$ 195.933.936	13,92	97,99%	57,14%	\$ 50.585.316
MAP SACOX50KG	166,70	89,16%	82,35%	\$ 117.145.431	44,67	97,10%	92,31%	\$ 56.797.232
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	18,10	98,76%	94,74%	\$ 34.334.101	40,50	97,23%	69,23%	\$ 45.905.082
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	3,04	99,68%	93,75%	\$ 20.989.565	32,44	96,54%	90,91%	\$ 37.585.269
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	188,28	76,33%	63,64%	\$ 149.513.152	189,44	76,19%	71,43%	\$ 150.716.692
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	0,00	100,00%	100,00%	\$ 18.827.916	3,98	99,48%	90,00%	\$ 21.595.124
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	0,00	100,00%	100,00%	\$ 25.599.639	0,00	100,00%	100,00%	\$ 25.714.350
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	0,78	99,88%	90,00%	\$ 19.785.048	0,00	100,00%	100,00%	\$ 19.685.112
UREA GRANULAR SACOX1000KG	0,00	100,00%	100,00%	\$ 23.168.063	0,00	100,00%	100,00%	\$ 23.304.985
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	18,21	95,63%	85,71%	\$ 29.048.441	0,00	100,00%	100,00%	\$ 21.598.685
KCL STANDAR SACOX50KG	27,17	95,16%	75,00%	\$ 31.120.335	12,00	97,86%	33,33%	\$ 24.816.462
PROMEDIOS	388,72	88,62%	75,57%	\$ 247.855.646	171,33	94,89%	82,58%	\$ 136.097.421

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos de la primera fase de comparaciones se procede a la siguiente fase, la cual consiste en realizar la comparación entre los mejores resultados de la fase uno y la política dinámica de pedido.

Tabla 34. Comparación de resultados de simulación variantes de sistemas parte 2

PRODUCTOS	Política (s,Q) (Q y k optimos)				Política (s,S) (Q y k optimos)			
	Faltantes	Fill Rate	P1	C. Total	Faltantes	Fill Rate	P1	C. Total
UREA GRANULADA SACOX50KG	12867,13	49,62%	11,11%	\$ 6.422.928.335	782,53	96,94%	94,12%	\$ 526.323.773
FORAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	1882,45	75,80%	54,55%	\$ 1.117.522.694	130,21	98,33%	96,30%	\$ 142.001.775
KCL SACOX50KG	2724,52	67,43%	63,33%	\$ 1.477.487.281	742,03	91,13%	79,17%	\$ 458.644.899
MEZCLAS EZ	1093,56	80,82%	64,52%	\$ 722.320.799	267,04	95,32%	87,50%	\$ 231.482.703
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	621,68	84,63%	63,16%	\$ 420.142.942	396,43	90,20%	80,00%	\$ 316.136.556
DAP SACOX50KG	709,48	82,56%	62,50%	\$ 409.367.066	277,17	93,19%	70,59%	\$ 189.950.024
MEZCLAS AC	364,78	89,07%	77,78%	\$ 256.907.587	229,35	93,13%	82,35%	\$ 180.684.948
MEZCLA INCAUCA	96,90	96,61%	85,19%	\$ 92.096.590	53,37	98,13%	77,78%	\$ 70.797.282
MEZCLA D M.	271,16	88,34%	72,73%	\$ 190.334.875	101,07	95,66%	75,00%	\$ 92.307.573
FORAMIX MEZCLA 25-4-24	449,48	81,71%	70,00%	\$ 290.822.116	422,42	82,81%	53,85%	\$ 277.626.995
FORAMIX MEZCLA 14-4-23-4	202,01	91,59%	69,57%	\$ 144.651.692	113,79	95,26%	83,33%	\$ 98.686.888
NAXTROM SACO X 50KG	259,70	86,77%	65,00%	\$ 191.772.867	191,05	90,27%	80,00%	\$ 153.132.975
FORAMIX MEZCLA TRIPLE 18	385,12	80,64%	50,00%	\$ 248.491.705	242,61	87,80%	69,23%	\$ 170.105.888
MEZCLA 2 ING	8,94	99,40%	88,89%	\$ 33.783.260	5,38	99,64%	92,86%	\$ 33.891.465
SOLUCION UAN CIA1	116,42	83,19%	37,50%	\$ 114.952.370	0,00	100,00%	100,00%	\$ 45.418.843
MAP SACOX50KG	134,11	91,28%	81,25%	\$ 101.812.578	56,62	96,32%	83,33%	\$ 63.348.497
FORAMIX MEZCLA TRIPLE 15	44,52	96,96%	88,89%	\$ 49.235.503	36,50	97,51%	69,23%	\$ 43.815.536
FORAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	10,90	98,84%	86,67%	\$ 24.897.599	30,44	96,76%	90,91%	\$ 36.933.692
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	184,28	76,83%	70,00%	\$ 146.526.630	177,44	77,69%	71,43%	\$ 143.574.514
FORAMIX MEZCLA 10-20-20	18,54	97,56%	90,91%	\$ 29.291.560	1,98	99,74%	90,00%	\$ 20.835.611
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	0,00	100,00%	100,00%	\$ 25.792.676	0,00	100,00%	100,00%	\$ 25.991.721
FORAMIX MEZCLA 10-30-10	2,84	99,55%	90,00%	\$ 20.797.413	0,00	100,00%	100,00%	\$ 19.862.436
UREA GRANULAR SACOX1000KG	0,00	100,00%	100,00%	\$ 22.690.345	0,00	100,00%	100,00%	\$ 22.632.798
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	12,21	97,07%	83,33%	\$ 26.731.648	0,00	100,00%	100,00%	\$ 22.607.838
KCL STANDAR SACOX50KG	11,17	98,01%	75,00%	\$ 24.547.581	1,49	99,73%	83,33%	\$ 19.911.980
PROMEDIOS	400,20	89,36%	74,61%	\$ 257.624.057	170,36	95,02%	84,41%	\$ 136.268.288

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 35 se realiza la fase 2 de comparaciones de políticas, allí se comparan los resultados de la fase uno con la política dinámica de pedido, seleccionando los mejores resultados por producto (casillas sombreadas) de acuerdo a los parámetros establecidos.

Con la selección de estos resultados se establece la política de control establecida de la propuesta de gestión de inventarios (ver tabla 36), la cual se procede a comparar con la metodología actual para validar los resultados obtenidos.

Tabla 35. Comparación de resultados políticas de pedido

PRODUCTOS	Mejor Política					Política pedido dinamico			
	Política	Faltantes	Fill Rate	P1	C. Total	Faltantes	Fill Rate	P1	C. Total
UREA GRANULADA SACOX50KG	(s,S) opt	782,53	96,94%	94,12%	\$ 526.323.773	684,55	97,32%	96,00%	\$ 525.950.439
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	(s,S) opt	130,21	98,33%	96,30%	\$ 142.001.775	135,36	98,26%	90,00%	\$ 151.840.001
KCL SACOX50KG	(s,S) opt	742,03	91,13%	79,17%	\$ 458.644.899	0,00	100,00%	100,00%	\$ 106.356.127
MEZCLAS EZ	(s,S) opt	267,04	95,32%	87,50%	\$ 231.482.703	66,24	98,84%	87,50%	\$ 149.264.899
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	(s,S)	265,99	93,43%	83,33%	\$ 242.794.144	129,36	96,80%	66,67%	\$ 210.696.169
DAP SACOX50KG	(s,S) opt	277,17	93,19%	70,59%	\$ 189.950.024	32,85	99,19%	91,67%	\$ 80.894.390
MEZCLAS AC	(s,S)	247,35	92,59%	83,33%	\$ 190.413.315	0,00	100,00%	100,00%	\$ 77.799.321
MEZCLA INCAUCA	(s,S) opt	53,37	98,13%	77,78%	\$ 70.797.282	43,97	98,46%	83,33%	\$ 88.577.689
MEZCLA D M.	(s,S)	98,28	95,78%	82,35%	\$ 90.999.022	0,00	100,00%	100,00%	\$ 47.319.204
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	(s,S)	371,87	84,87%	64,29%	\$ 248.828.701	7,23	99,71%	88,89%	\$ 56.934.903
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	(s,S) opt	113,79	95,26%	83,33%	\$ 98.686.888	41,73	98,26%	92,86%	\$ 62.212.993
NAXTROM SACO X 50KG	(s,S) opt	191,05	90,27%	80,00%	\$ 153.132.975	125,28	93,62%	75,00%	\$ 135.305.537
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	(s,S) opt	242,61	87,80%	69,23%	\$ 170.105.888	0,00	100,00%	100,00%	\$ 48.481.330
MEZCLA 2 ING	(s,Q)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 29.927.472	0,00	100,00%	100,00%	\$ 39.392.810
SOLUCION UAN CIA1	(s,S) opt	0,00	100,00%	100,00%	\$ 45.418.843	0,00	100,00%	100,00%	\$ 74.251.069
MAP SACOX50KG	(s,S)	44,67	97,10%	92,31%	\$ 56.797.232	0,57	99,96%	85,71%	\$ 45.423.684
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	(s,Q)	18,10	98,76%	94,74%	\$ 34.334.101	29,53	97,98%	91,67%	\$ 44.282.123
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	(s,Q)	3,04	99,68%	93,75%	\$ 20.989.565	0,00	100,00%	100,00%	\$ 28.266.668
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	(s,S) opt	177,44	77,69%	71,43%	\$ 143.574.514	90,11	88,67%	75,00%	\$ 102.636.213
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	(s,Q)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 18.827.916	8,66	98,86%	75,00%	\$ 24.504.547
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	(s,Q)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 25.599.639	0,00	100,00%	100,00%	\$ 21.834.739
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	(s,S)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 19.685.112	0,00	100,00%	100,00%	\$ 22.506.149
UREA GRANULAR SACOX1000KG	(s,S) opt	0,00	100,00%	100,00%	\$ 22.632.798	0,00	100,00%	100,00%	\$ 33.300.513
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	(s,S) opt	0,00	100,00%	100,00%	\$ 22.607.838	0,00	100,00%	100,00%	\$ 40.992.065
KCL STANDAR SACOX50KG	(s,S) opt	1,49	99,73%	83,33%	\$ 19.911.980	0,00	100,00%	100,00%	\$ 29.707.475
PROMEDIOS		161,12	95,44%	87,47%	\$ 130.978.736	55,82	98,64%	91,97%	\$ 89.949.242

Fuente: Elaboración propia

6.5. SISTEMA DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PROPUESTO

De acuerdo con los resultados obtenidos en los pasos anteriores, en la tabla 36 se plantea como política de control de inventarios un sistema híbrido donde se establece por producto la política de mejor desempeño, la cual se constituye de política de pedido dinámico para la mayor parte de los ítems clase A y variantes de los sistemas (s,Q) y (s,S) para los ítems clase B en su mayoría.

Una característica importante del sistema propuesto está ligada a los pronósticos de realizados y los patrones de comportamiento de los productos, puesto que además de la revisión continua de los inventarios se debe tener presente e involucrar como factor de decisión los patrones de estacionalidad de cada producto.

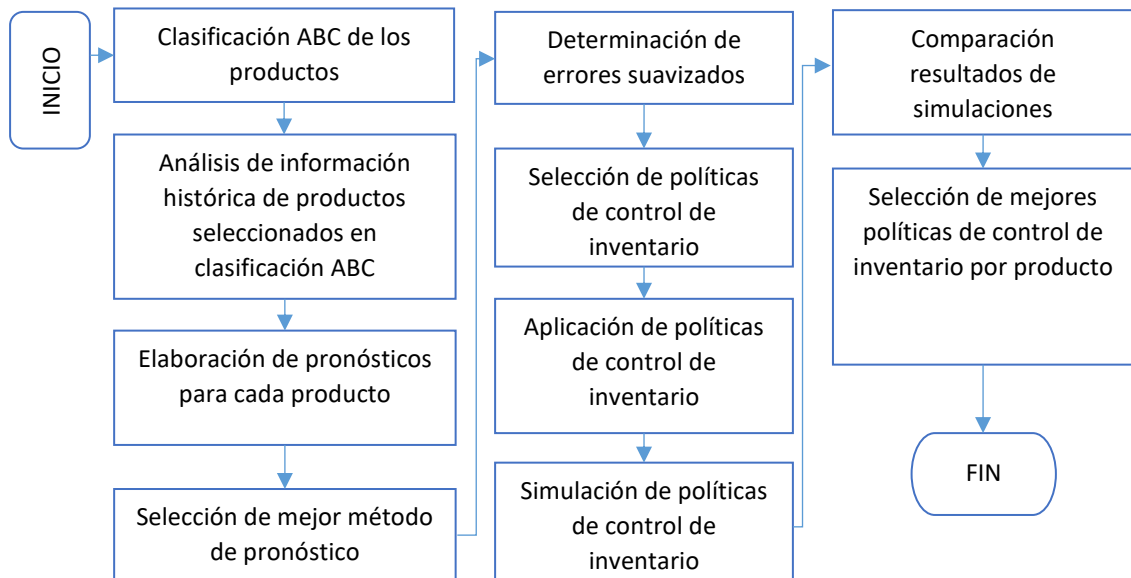
El sistema de gestión propuesto se contextualiza como se muestra en la gráfica 7 donde se establecen los pasos a seguir de la propuesta.

Tabla 36. Política de control de inventario propuesta

PRODUCTOS	PROPUESTA				
	Política	Faltantes	Fill Rate	P1	C. Total
UREA GRANULADA SACOX50KG	Ped. Din	684,55	97,32%	96,00%	\$ 525.950.439
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	(s,S) opt	130,21	98,33%	96,30%	\$ 142.001.775
KCL SACOX50KG	Ped. Din	0,00	100,00%	100,00%	\$ 106.356.127
MEZCLAS EZ	Ped. Din	66,24	98,84%	87,50%	\$ 149.264.899
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	Ped. Din	129,36	96,80%	66,67%	\$ 210.696.169
DAP SACOX50KG	Ped. Din	32,85	99,19%	91,67%	\$ 80.894.390
MEZCLAS AC	Ped. Din	0,00	100,00%	100,00%	\$ 77.799.321
MEZCLA INCAUCA	(s,S) opt	53,37	98,13%	77,78%	\$ 70.797.282
MEZCLA D M.	Ped. Din	0,00	100,00%	100,00%	\$ 47.319.204
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	Ped. Din	7,23	99,71%	88,89%	\$ 56.934.903
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	Ped. Din	41,73	98,26%	92,86%	\$ 62.212.993
NAXTROM SACO X 50KG	Ped. Din	125,28	93,62%	75,00%	\$ 135.305.537
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	Ped. Din	0,00	100,00%	100,00%	\$ 48.481.330
MEZCLA 2 ING	(s,Q)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 29.927.472
SOLUCION UAN CIA1	(s,S) opt	0,00	100,00%	100,00%	\$ 45.418.843
MAP SACOX50KG	Ped. Din	0,57	99,96%	85,71%	\$ 45.423.684
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	(s,Q)	18,10	98,76%	94,74%	\$ 34.334.101
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	(s,Q)	3,04	99,68%	93,75%	\$ 20.989.565
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	(s,S) opt	90,11	88,67%	75,00%	\$ 102.636.213
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	(s,Q)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 18.827.916
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	(s,Q)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 21.834.739
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	(s,S)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 19.685.112
UREA GRANULAR SACOX1000KG	(s,S) opt	0,00	100,00%	100,00%	\$ 22.632.798
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	(s,S) opt	0,00	100,00%	100,00%	\$ 22.607.838
KCL STANDAR SACOX50KG	(s,S) opt	1,49	99,73%	83,33%	\$ 19.911.980
PROMEDIOS		55,37	98,68%	92,21%	\$ 84.729.785

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 7. Contextualización diseño de propuesta



Fuente: Elaboración propia

6.6.COMPARACIÓN DE MÉTODO PROPUESTO CON MÉTODO ACTUAL

6.6.1. Metodología actual

Para realizar la comparación se realiza la simulación de la metodología actual manejada por la empresa, esta se lleva a cabo de acuerdo a la forma explicada en la sección 6.1 donde se contextualiza la metodología y se explica el modelo matemático. Esta metodología presenta buenos resultados, sin embargo, no tiene buena respuesta a grandes cambios en el comportamiento de ventas.

En la tabla 37 se muestra un ejemplo del desarrollo de la metodología actual con el producto FORKAMIX MEZCLA 25-4-24, para contextualizar se realiza el ejemplo del cálculo del primer dato:

$$\begin{aligned} Previsión &= \frac{269,3 + 1536,55 + 846 + 591}{4} \\ &+ 1,5desviación\ estandar(269,3; 1536,55; 846; 591) \\ &= 4,26 + 1,5(5,06) = 11,86 \end{aligned}$$

6.6.1. Comparación de resultados

Para validar los resultados de la propuesta realizada, en la tabla 38 se realiza una comparación simulada entre la propuesta y la metodología actual, allí se calculan los factores de comparación usados en las simulaciones anteriores (costos, faltantes y niveles de servicio). Con los resultados de la tabla se puede observar que la propuesta de una metodología híbrida ofrece mejores resultados que los obtenidos con la metodología actual. Un hecho que resalta es que la mayor cantidad de faltantes se refleja en los productos clase A, los cuales en ambas metodologías representan la mayoría de faltantes, siendo significativamente menores en los resultados de la metodología propuesta.

Se puede observar una disminución en los parámetros decisivos, pasando de un promedio de 252,02 toneladas faltantes con la metodología actual a un promedio de 55,37 toneladas con la propuesta. La disminución de faltantes afecta directamente el nivel de servicio, el cual se puede observar que pasa de un servicio promedio de 90,09% con la metodología actual a un promedio de 98,68%

Los resultados de la comparación de costos dispuestos en la gráfica 8 donde se desglosa el costo total en los componentes tenidos en cuenta, es decir, costo de mantener, costo por ordenar y costo por faltantes. La primera conclusión que se tiene de acuerdo con los resultados de la comparación es que con la metodología propuesta el costo total se disminuye en un 45%, con una revisión más detallada se observa que se aumenta el costo de mantener aumenta en un 51,06%

mientras que los costos de ordenar y de faltante disminuyen en 38,96 y 22,49% respectivamente.

Tabla 37. Ejemplo de desarrollo método actual FORKAMIX MEZCLA 25-4-24

t	Datos reales	PREVISION	INV	PEDIDO	FALTANTE
	10,00				
	0,00				
	0,00				
	7,05		200		
1	3,70	11,86	196,30	0,00	0,00
2	3,00	7,77	193,30	0,00	0,00
3	4,75	7,78	188,55	0,00	0,00
4	6,60	7,28	181,95	0,00	0,00
5	0,75	6,86	181,20	0,00	0,00
6	9,30	7,52	171,90	0,00	0,00
7	4,50	10,74	167,40	0,00	0,00
8	34,00	10,70	133,40	0,00	0,00
9	19,00	34,62	114,40	0,00	0,00
10	3,20	36,22	111,20	0,00	0,00
11	11,00	36,85	100,20	0,00	0,00
12	30,00	36,53	70,20	0,00	0,00
13	98,90	32,98	-28,70	32,98	28,70
14	0,00	101,12	32,98	68,14	0,00
15	98,00	101,55	3,12	98,43	0,00
16	125,05	131,30	-23,50	131,30	23,50
17	108,50	163,15	22,80	140,35	0,00
18	203,20	167,44	-40,05	167,44	40,05
19	72,90	205,18	94,54	110,64	0,00
20	251,45	209,93	-46,27	209,93	46,27
21	134,70	282,90	75,23	207,67	0,00
22	89,10	282,82	193,80	89,02	0,00
23	85,50	257,99	197,32	60,68	0,00
24	97,35	256,41	160,64	95,77	0,00
25	181,50	135,53	74,91	60,62	0,00
26	337,40	181,91	-201,87	181,91	201,87
27	40,00	349,62	141,91	207,72	0,00
28	175,45	358,08	174,17	183,91	0,00
29	95,55	365,96	262,53	103,43	0,00
30	57,30	356,22	308,66	47,56	0,00
31	42,75	182,43	313,47	0,00	0,00
32	4,75	181,94	308,72	0,00	0,00
33	43,40	106,40	265,32	0,00	0,00
34	18,50	70,88	246,82	0,00	0,00
35	105,85	55,86	140,97	0,00	0,00
36	16,50	110,28	124,47	0,00	0,00
FALTANTE:					340,40

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la empresa

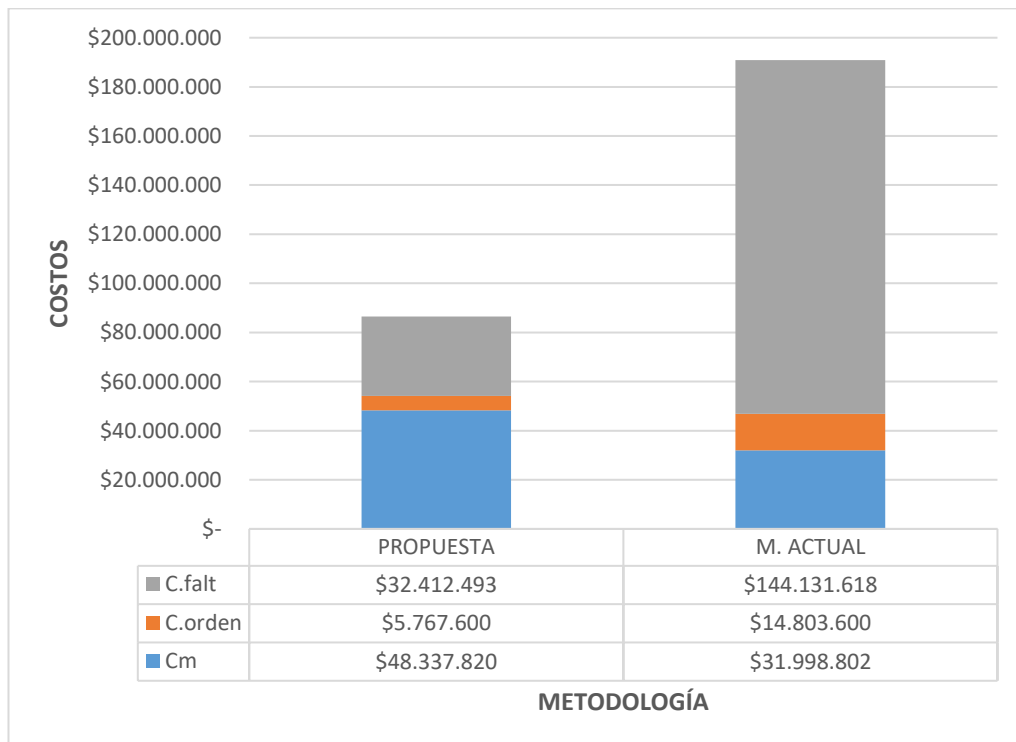
El comportamiento de los costos se interpreta como una mejora en el proceso de pedido de producción y niveles de inventario, ya que se observa que se disminuye el costo de ordenar, es decir, se propone hacer pedidos menos frecuentes, aumentando el nivel de inventario con lo cual se afronta mejor los cambios de comportamiento de ventas disminuyendo el valor más representativo de costos de la metodología actual el cual se tiene que es el costo por faltantes.

Tabla 38. Comparación de propuesta vs metodología actual

	PROPUESTA					Metodologia actual			
PRODUCTOS	Política	Faltantes	Fill Rate	P1	C. Total	Faltantes	Fill Rate	P1	C. Total
UREA GRANULADA SACOX50KG	Ped. Din	684,55	97,32%	96,00%	\$ 525.950.439	754,99	97,03%	94,44%	\$ 493.218.550
FORKAMIX MEZCLA 17-6-18-6-7-7	(s,S) opt	130,21	98,33%	96,30%	\$ 142.001.775	632,98	91,92%	80,00%	\$ 412.628.370
KCL SACOX50KG	Ped. Din	0,00	100,00%	100,00%	\$ 106.356.127	818,26	90,22%	77,42%	\$ 492.827.671
MEZCLAS EZ	Ped. Din	66,24	98,84%	87,50%	\$ 149.264.899	20,12	99,65%	78,79%	\$ 70.274.138
SULFATO DE AMONIO GRANULADO 21-0-0-24(S)	Ped. Din	129,36	96,80%	66,67%	\$ 210.696.169	889,24	80,06%	68,75%	\$ 602.962.304
DAP SACOX50KG	Ped. Din	32,85	99,19%	91,67%	\$ 80.894.390	494,29	87,93%	76,00%	\$ 311.239.212
MEZCLAS AC	Ped. Din	0,00	100,00%	100,00%	\$ 77.799.321	290,05	91,39%	74,19%	\$ 216.026.189
MEZCLA INCAUCA	(s,S) opt	53,37	98,13%	77,78%	\$ 70.797.282	224,87	92,34%	81,82%	\$ 175.863.485
MEZCLA D M.	Ped. Din	0,00	100,00%	100,00%	\$ 47.319.204	216,86	90,78%	81,82%	\$ 163.813.892
FORKAMIX MEZCLA 25-4-24	Ped. Din	7,23	99,71%	88,89%	\$ 56.934.903	340,40	86,97%	72,22%	\$ 247.631.464
FORKAMIX MEZCLA 14-4-23-4	Ped. Din	41,73	98,26%	92,86%	\$ 62.212.993	235,07	90,28%	84,85%	\$ 165.018.938
NAXTROM SACO X 50KG	Ped. Din	125,28	93,62%	75,00%	\$ 135.305.537	293,98	84,70%	84,00%	\$ 224.731.673
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 18	Ped. Din	0,00	100,00%	100,00%	\$ 48.481.330	143,99	92,68%	78,26%	\$ 120.947.886
MEZCLA 2 ING	(s,Q)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 29.927.472	79,76	94,49%	90,63%	\$ 80.652.208
SOLUCION UAN CIA1	(s,S) opt	0,00	100,00%	100,00%	\$ 45.418.843	157,40	84,07%	80,00%	\$ 179.234.138
MAP SACOX50KG	Ped. Din	0,57	99,96%	85,71%	\$ 45.423.684	141,76	91,74%	78,26%	\$ 109.532.344
FORKAMIX MEZCLA TRIPLE 15	(s,Q)	18,10	98,76%	94,74%	\$ 34.334.101	51,01	96,50%	80,00%	\$ 53.065.666
FORKAMIX MEZCLA 22-3-20 ES	(s,Q)	3,04	99,68%	93,75%	\$ 20.989.565	66,27	93,03%	80,65%	\$ 60.111.974
NAXTROM INGENIOS SACO X50KG	(s,S) opt	90,11	88,67%	75,00%	\$ 102.636.213	207,93	77,45%	78,57%	\$ 175.851.404
FORKAMIX MEZCLA 10-20-20	(s,Q)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 18.827.916	59,73	91,91%	80,77%	\$ 58.112.440
NUTRIKIMIA 12-24-12 – 2(S) SACO X 50 KG	(s,Q)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 21.834.739	59,15	91,46%	64,71%	\$ 63.102.656
FORKAMIX MEZCLA 10-30-10	(s,S)	0,00	100,00%	100,00%	\$ 19.685.112	35,21	94,49%	78,26%	\$ 46.930.551
UREA GRANULAR SACOX1000KG	(s,S) opt	0,00	100,00%	100,00%	\$ 22.632.798	183,50	74,20%	50,00%	\$ 134.051.312
NUTRIKIMIA 16-16-16 SACO X 50 KG	(s,S) opt	0,00	100,00%	100,00%	\$ 22.607.838	38,16	93,53%	87,50%	\$ 62.989.318
KCL STANDAR SACOX50KG	(s,S) opt	1,49	99,73%	83,33%	\$ 19.911.980	40,56	93,34%	86,67%	\$ 52.532.731
PROMEDIOS		55,37	98,68%	92,21%	\$ 84.729.785	259,02	90,09%	78,74%	\$ 190.934.020

Fuente: elaboración propia

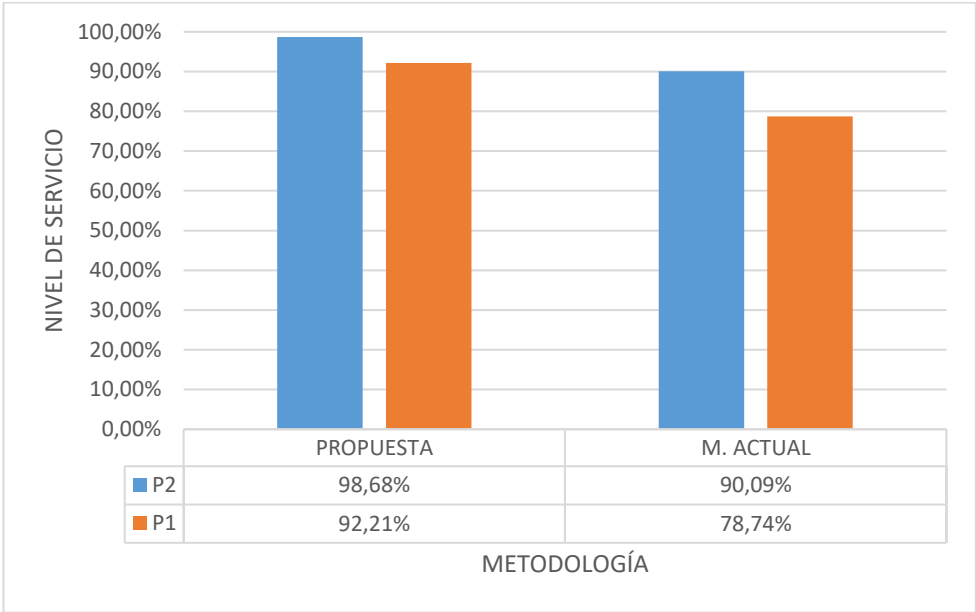
Gráfica 8. Comparación de costos metodología propuesta vs metodología actual



Fuente: Elaboración propia

Por otro parte, en la gráfica 9 se comparan los niveles de servicio (por ocasión de faltante P1 y por unidad de faltante P2 o fill rate) de la propuesta y la metodología actual, donde se puede ver de manera más clara el aumento en el nivel de servicio ya mencionado.

Gráfica 9. Comparación de nivel de servicio de las diferentes políticas



Fuente: Elaboración propia

7. CONCLUSIONES

- A partir del análisis de datos históricos, se determinan los patrones de comportamiento de los productos, estableciendo que se tienen comportamientos estacionales, los cuales tienen tendencias crecientes y decrecientes entre estaciones, como también comportamientos de naturaleza errática, se determina utilizar los métodos de pronóstico suavización exponencial simple, suavización exponencial doble, Winters y Croston, los cuales son aplicados en todos los productos y evaluados sus resultados seleccionando el mejor método, el cual por métodos comparativos utilizando la métrica de error MAPE factor de comparación que el método de Winters tiene un mejor desempeño teniendo un error promedio de 19,92%, con los resultados de los mejores métodos se determinan los errores suavizados que se utilizan para la aplicación de políticas de inventario, siendo de gran importancia en el cálculo de valores óptimos de la política de pedido dinámico por representar la desviación estándar de los pronósticos en cada periodo.
- Para la selección de la política de control adecuada para el caso en cuestión, se decide comparar políticas de revisión continua (s,Q) y (s,Q) y sus variantes con parámetros Q y k optimizados adicional a estas políticas se decide abordar una política de pedido dinámico la cual consiste en aplicar los métodos iterativos de optimización de Q y k periodo a periodo adaptándose a los cambios de demanda de los pronósticos, al comparar las metodologías se observó a la política de pedido dinámico se ajusta de una mejor manera a los comportamientos de los productos de clasificación A, mientras que en los productos de clase B se obtienen mejores resultados con variaciones de las políticas de revisión continua, esto se refleja y la reducción de niveles de faltantes, motivo por el cual la política seleccionado en la propuesta de gestión de inventario es un sistema híbrido con el cual en las simulaciones se obtiene un nivel de servicio promedio del 98,68%, los faltantes se reducen a 55,37 toneladas promedio y costos promedio de \$84.729.785
- Con la selección de la política se procede a validar su efectividad, dicha validación se realiza por comparación con los resultados de la metodología actual, por este motivo se realizan simulaciones del comportamiento de ambas metodologías comparando los resultados en 3 aspectos (niveles de faltante, niveles de servicio y costos), de los resultados de la comparación se obtiene que con la política de la propuesta se logra reducir los niveles de faltante promedio de 252,02 toneladas faltantes con la metodología actual a un promedio de 55,37 toneladas, esto refleja una mejora del servicio el cual se puede observar que pasa de un servicio promedio de 90,09% con la metodología actual a

un promedio de 98,68% y finalmente en términos de costos se observa una reducción del 45% de los costos totales con la metodología propuesta pasando de \$190.034.920 de la metodología actual a \$84.729.785 de la metodología propuesta.

BIBLIOGRAFÍA

- Arango, j., Giraldo, J., & Castrillón, O. (2013). Inventory and buy management from Holt-Winters forecasting and service level. *Scientia et Technica*, 743-747.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Educación.
- Castro, C., uribe , D., & Castro , J. (2014). A Framework for the Development of a Decision. *Revista INGE CUC*, 32-44.
- Chakelson, C., & Errasti, A. (2010). Validation of an expert system for inventory replenishment using case studies. *Memoria de trabajos de difusión científica y técnica*, 23-32.
- Chevreur, L. (2010). A little of Everything can go a Long Way. *CSCMP Supply Chain Quarterly*.
- Douglas, C. M., Cheryl, L. J., & Murat, K. (2008). *Introduction to Time Series*. Wiley Interscience .
- Escobar, E. N., Díaz , J. J., & Taracena, L. F. (2010). Model for Adjustment of Aggregate Forecasts using Fuzzy Logic. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 289-302.
- Gutiérrez, E., Hurtado, M., Panteleeva, O., & González, C. (2013). An Inventory Model Application with Periodic Review. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 537-551.
- Higueta, D., Valencia, M., & Correa, J. C. (2018). Combination forecasting method using Bayesian models and a. *DYNA*, 85(207), 337-345.
- Landeta, J. M., Ynzunza, C. B., & Sarmiento, R. (2012). Determinación del costo del inventario con el método híbrido. *Conciencia tecnológica*.
- Lindsey, M., & Pavur, R. (2009). Prediction intervals for future demand of existing. *International Journal of Production Economics*, 75-89.
- Manotas, D., & Ramirez, G. (2014). Modelo de medición del impacto financiero del mantenimiento de inventario de suministros. *Scientia et Technica*, 251-260.
- Matsebatlela, M. G., & Mpofu, K. (2015). Inventory Management Framework to minimize supply and demand mismatch on a manufacturing organization. *IFAC-PapersOnLine* 48-3, 260-265.
- Mohammed, B., & Sahin, E. (2015). Evaluation of the Impact of Uncertain Advance Demand Information on production/Inventory Systems. *IFAC-PapersOnLine* 48-3, 1738-1743.

- Montgomery, D., Johnson, L., & Gardiner, J. (1990). *Forecasting & Time Series Analysis, 2nd Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Muller, M. (2003). *Essentials of inventory management*. New York: AMACOM, a division of American Management Association.
- Pinçe, Ç., & Dekker, R. (2011). An inventory model for slow moving items subject to obsolescence. *European Journal of Operational Research*, 83-95.
- Salas, K., & Mejía, H. (2017). *Inventory Management Methodology to determine the levels of*, 326-337.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory Mangement and Production Planning and Scheduling (Third Edition)*. New York: John Wiley & sons.
- Snyder, R. (2002). Forecasting sales of slow and fast moving inventories. *European Journal of Operational Research*, 684-699.
- Stock, J. R., & Lambert, D. M. (2001). *Strategic Logistics Management*. Boston: McGraw-Hill.
- Vidal, C. J. (2010). *Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios*. Cali, Colombia: Comité Editorial - Universidad del Valle.
- Wallström, P., & Segersted, A. (2010). Evaluation of forecasting error measurements and techniques for intermittent demand. *International Journal of Production Economics*, 625-636.
- Wild, T. (1997). *Best practice in inventory management*. New York: John Wiley & Sons.
- Willemain, T. R., Smart, C. N., & Schwarz, H. F. (2004). A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. *International Journal of Forecasting*, 375-387.