

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Política de Inventarios de una Empresa Multilatina comercializadora
de productos de consumo masivo

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Logística y Transporte

Presentado por:

David Eduardo Carrasco Cedeño

Pamela Giulyana Ordóñez Acosta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedicamos
a nuestras familias por habernos apoyado
durante el largo camino de nuestra
preparación profesional.

Los autores.

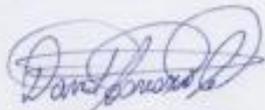
AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los docentes que nos formaron durante nuestra carrera universitaria. Además, a nosotros por haber prestado el esfuerzo y dedicación necesarias para la elaboración del presente.

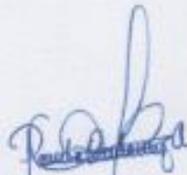
Los autores.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; David Carrasco y Pamela Ordóñez damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



David Eduardo Carrasco Cedeño



Pamela Gialyana Ordóñez Acosta

EVALUADORES

CARLOS
ALFREDO
RONQUILLO
FRANCO

Firmado digitalmente
por CARLOS ALFREDO
RONQUILLO FRANCO
Fecha: 2021.10.18
09:38:18 -05'00'

Carlos Alfredo Ronquillo Franco

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado digitalmente por
JOSE XAVIER
CABEZAS
GARCIA

José Xavier Cabezas García

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Para una empresa que terceriza el almacenaje de sus productos, cometer errores en la planificación de sus pedidos no solo provoca novedades en las recepciones de bodega, sino que también puede elevar sus costos totales. La falta de comunicación e integración entre las partes implicadas en este proceso ha provocado que a lo largo de 2020 la empresa involucrada perdiera mucho dinero en realizar pedidos no necesarios causando el aumento en los costos de almacenamiento. Tener una política de inventario ayuda a mitigar dichas pérdidas, por ello, este proyecto se enfoca en diseñar un modelo de inventario que determine el momento y cantidades correctas para realizar pedidos de productos de consumo masivo.

Utilizando el índice de rotación de las referencias despachadas durante un año se clasificó en tres grupos a los productos mencionados, para elegir la política que mejor se ajuste a su demanda. En base al coeficiente de variación se determinó que el modelo más eficaz para los productos de los grupos de mayor rotación es un sistema de loteo. Con ayuda del algoritmo de Wagner-Whitin se obtuvo una reducción de aproximadamente 50% sobre los costos totales, siempre y cuando se conozca la demanda. Los pronósticos de estas se obtuvieron mediante la aplicación del modelo de suavización exponencial simple, del cual se reflejó que es necesario calcular un stock de seguridad para cubrir los faltantes generados por las diferencias con la demanda real. Adicionalmente, para los productos de categoría C se recomienda usar un modelo de revisión periódico trimestral a favor de disminuir los esfuerzos humanos y económicos de controlar su inventario.

Palabras clave: Clasificación ABC, Demanda variable, Wagner-Whitin, Suavizamiento Exponencial Simple, Costos totales.

ABSTRACT

For a company that outsources warehousing operations, making mistakes in sales order planning cannot only cause unexpected situations in the process of goods receiving in the warehouse, but also can increase its total costs. Throughout 2020, the involved company lost a lot of money by making unnecessary orders and increasing their holding costs due to the lack of communication and integration between the related parts. It is well-known that inventory policies help reducing those losses. This project is focused in designing an inventory model that determine the correct time and quantity to order sales for fast moving consumer goods.

A three-group classification was made using the inventory turnover for the dispatched stock keeping units to choose the best adjusted policy according to their demands. Based on the coefficient of variation, the Lot Sizing was selected as the most effective inventory model for the two highest turnover categories. Applying the Wagner-Whitin algorithm with known demand, it was achieved a reduction of an approximately 50% in the total costs. Simple Exponential Smoothing was used to forecast the demand and by applying the model selected on these, it was reflected that calculating a security stock is necessary to meet the real demand. In addition, a periodic review policy is recommended to inventory control for C category products to reduce operative and economic efforts.

Key words: *ABC analysis, variable demand, Wagner-Whitin, Single exponential smoothing, Total costs*

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Marco conceptual	5
1.4.2 Estado del arte	19
CAPÍTULO 2.....	23
2. Metodología.....	23
2.1 Diseño de la solución	23
2.2 Plan de trabajo.....	24
2.3 Análisis de la información recopilada.....	25
2.3.1 Entrevista semiestructurada y visita técnica.....	26

2.3.2	Análisis de datos proporcionados.....	27
2.4	Análisis de los despachos por SKU	28
2.5	Proyecciones de las demandas para varios periodos.....	32
2.6	Uso de software.....	33
2.7	Modelo de gestión de inventario	33
2.7.1	Algoritmo de Wagner Whitin.....	34
2.7.2	Enfoque de programación lineal.....	35
2.8	Consideraciones éticas y legales	37
2.9	Cronograma de actividades	38
CAPÍTULO 3.....		39
3.	Resultados y análisis.....	39
3.1	Clasificación ABC de los despachos de 2020.....	39
3.2	Análisis de series de tiempo y elección de modelo de pronóstico	42
3.3	Análisis de coeficiente de variación y elección de modelo de inventario	46
3.4	Análisis de resultados del modelo de inventario utilizando los despachos reales	46
3.5	Análisis de resultados del modelo de inventario utilizando pronósticos	52
CAPÍTULO 4.....		58
4.	Discusión, conclusiones y recomendaciones	58
4.1	Discusión de resultados.....	58

4.2	Conclusiones	60
4.3	Recomendaciones.....	61
5.	Anexos	63
5.1	Anexo 1: Análisis de los despachos por SKU	63
5.2	Anexo 2: Series de tiempo por SKU.....	65
5.3	Anexo 3: Planificación de pedidos por SKU usando los despachos reales	68
5.4	Anexo 4: Planificación de pedidos por SKU usando los pronósticos.....	72
6.	BIBLIOGRAFÍA	76

ABREVIATURAS

FMCG	Fast-Moving Consumer Goods
EOQ	Economic Order Quantity
SKU	Stock Keeping Unit
ROI	Return over Investment
GMROI	Gross Margin Return over Investment

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de flujo de la gestión de inventario en bodega	3
Figura 2.1 Diagrama de Pareto del índice de rotación de los SKUs despachados en 2020 clasificados en tres grupos por su porcentaje de participación.....	28
Figura 2.2 Histograma de SKU 1.....	29
Figura 2.3 Histograma del SKU 8.	30
Figura 2.4 Histograma del SKU 5.	31
Figura 2.5 Histograma del SKU 6.	31
Figura 2.6 Cronograma de actividades.	38
Figura 3.1 Serie de tiempo de SKU 1.	42
Figura 3.2 Serie de tiempo de SKU 8.	43
Figura 3.3 Serie de tiempo de SKU 5	44
Figura 3.4 Serie de tiempo de SKU 6.	44
Figura 3.5 Diagrama de líneas para comparación de costos totales usando despachos reales.....	52
Figura 3.6 Diagrama de líneas para comparación de costos totales usando despachos pronosticados.	57
Figura 4.1 Demanda pronosticada usando el método de suavización exponencial para el SKU 1.	58
Figura 5.1 Histograma del SKU 2.	63
Figura 5.2 Histograma del SKU 3.	63
Figura 5.3 Histograma del SKU 4.	63
Figura 5.4 Histograma del SKU 7.	64

Figura 5.5 Histograma del SKU 9.	64
Figura 5.6 Histograma del SKU 10.	64
Figura 5.7 Serie de tiempo de SKU 2.	65
Figura 5.8 Serie de tiempo de SKU 3.	65
Figura 5.9 Serie de tiempo de SKU 4.	65
Figura 5.10 Serie de tiempo de SKU 7.	66
Figura 5.11 Serie de tiempo de SKU 9.	66
Figura 5.12 Serie de tiempo de SKU 10.	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Modelos de inventario sugeridos para clasificación ABC.....	8
Tabla 3.1 Clasificación ABC por índice de rotación de los SKUs despachados en 2020 y porcentaje de participación.	39
Tabla 3.2 Clasificación por familia para productos de categoría A.....	40
Tabla 3.3 Clasificación por familia para productos de categoría B.....	40
Tabla 3.4 Clasificación por familia para productos de categoría C.....	41
Tabla 3.5 Pronósticos de despachos mensuales para SKUs analizados.....	45
Tabla 3.6 Cálculo del coeficiente para cada SKU analizado.....	46
Tabla 3.7 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 1.	48
Tabla 3.8 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 1.	48
Tabla 3.9 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 8.	48
Tabla 3.10 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 8.	48
Tabla 3.11 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 5.	49
Tabla 3.12 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 5.	49
Tabla 3.13 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 6.	50
Tabla 3.14 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 6.	50
Tabla 3.15 Desglose de costos de la política de pedido actual y la política de inventario propuesta para cada SKU analizado usando despachos reales.	50
Tabla 3.16 Ahorro y porcentaje de mejora por SKU usando despachos reales.....	51
Tabla 3.17 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 1.	52

Tabla 3.18 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 1.	53
Tabla 3.19 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 8.	53
Tabla 3.20 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 8.	53
Tabla 3.21 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 5.	54
Tabla 3.22 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 5.	54
Tabla 3.23 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 6.	55
Tabla 3.24 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 6.	55
Tabla 3.25 Desglose de costos de la política de inventario propuesta con demanda pronosticada para cada SKU analizado versus despachos reales.....	56
Tabla 3.26 Ahorro y porcentaje de mejora por SKU usando despachos reales.....	56
Tabla 5.1 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 2.	68
Tabla 5.2 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 2.	68
Tabla 5.3 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 3.	68
Tabla 5.4 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 3.	68
Tabla 5.5 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 4.	69
Tabla 5.6 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 4.	69

Tabla 5.7 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 7.	69
Tabla 5.8 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 7.	69
Tabla 5.9 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 9.	70
Tabla 5.10 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 9.	70
Tabla 5.11 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 10.	70
Tabla 5.12 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 10.	71
Tabla 5.13 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 2.	72
Tabla 5.14 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 2.	72
Tabla 5.15 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 3.	72
Tabla 5.16 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 3.	72
Tabla 5.17 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 4.	73
Tabla 5.18 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 4.	73
Tabla 5.19 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 7.	73
Tabla 5.20 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 7.	73

Tabla 5.21 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 9.	74
Tabla 5.22 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 9.	74
Tabla 5.23 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 10.	74
Tabla 5.24 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 10.	74

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La comercialización de productos de consumo masivo (o conocido como FMCG por sus siglas en inglés *Fast-Moving Consumer Goods*) se relaciona estrechamente con una serie de procesos importantes dentro de la cadena de suministro. Y, aunque la distribución ocupa un papel crucial en ella, lograr una correcta gestión de almacenamiento es una tarea que tiene igual o mayor grado de complejidad e importancia.

Gestionar productos en bodega implica tomar en consideración varios factores, sean estos internos, como contar con la infraestructura adecuada para su almacenamiento, o externos, como conocer los tiempos de reabastecimiento del producto. Todo esto por la necesidad de generar mayor conocimiento sobre aquello que necesita ser almacenado. Y esta necesidad surge a raíz de que el producto se mantenga en buenas condiciones hasta el momento de su venta.

En el caso particular de los productos de consumo masivo, su administración es aún más valiosa, debido a que se debe considerar desde la infinidad de familias que lo integran, los proveedores que suministran, hasta la naturaleza de sus productos. Por lo tanto, para lograr la comercialización, no solo basta con contar con una bodega, puesto que, su almacenaje y constante abastecimiento implica realizar una serie de análisis que finalizarán en la correcta venta y satisfacción del cliente.

1.1 Descripción del problema

Una empresa comercializadora de productos de consumo masivo, con sede en Perú, se dedica a la venta y distribución de productos alimenticios, del cuidado del hogar y personal.

En la actualidad, realizan operaciones en 9 países de Latinoamérica, entre los cuales se incluyen Ecuador, Colombia, Bolivia y Brasil. La venta de productos de consumo masivo conforma una de sus 4 líneas de negocio e incluye más de 10 marcas propias.

En Ecuador, se encarga de abastecer a la mayoría de las cadenas de supermercados, ubicadas en distintos sectores de las principales ciudades del país. Entre una de sus estrategias para disminuir los costos operativos, está la tercerización del almacenaje y distribución de sus productos. Por lo tanto, el operador logístico que presta servicios a este cliente se encarga de cumplir con el bodegaje de los productos que exportan al país, además de la distribución y el despacho interno.

Actualmente, el ente encargado de generar las órdenes de compra a los proveedores es el departamento de ventas de la empresa comercializadora. Este equipo, en base a los históricos de ventas e información interna de los clientes, realiza la planificación de compra de manera mensual. Esto equivale a que en cada mes lleguen camiones con mercadería lista para ser almacenada a la bodega del operador logístico, tal como se muestra en la Figura 1.1.

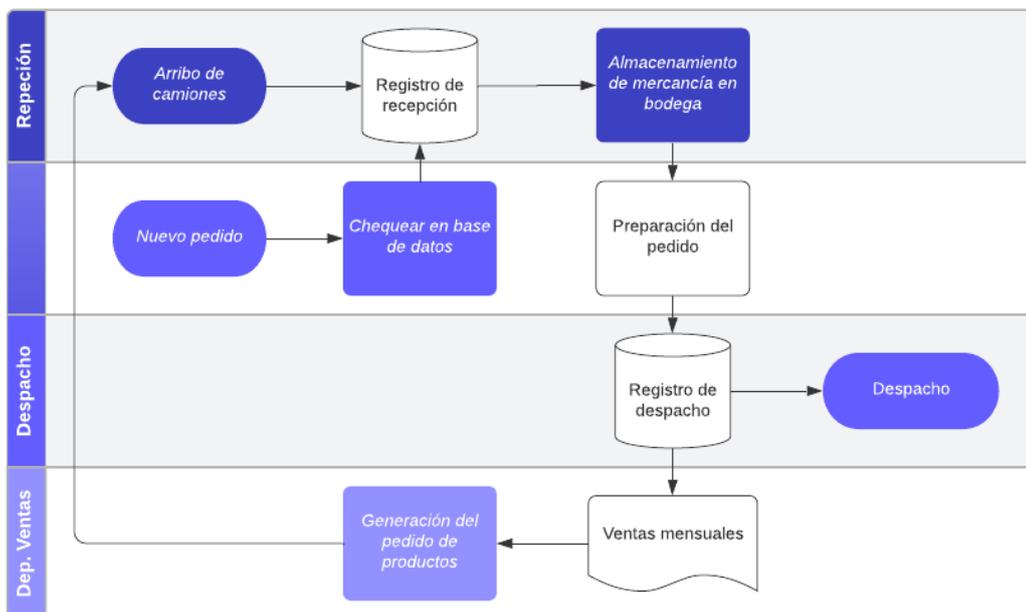


Figura 1.1 Diagrama de flujo de la gestión de inventario en bodega

Fuente: Elaborado por los autores.

El punto más relevante es que no solo este cronograma está desligado del proceso logístico realizado en bodega, sino también que se evidencia la falta de integración para la toma de decisiones. Producto de ello, en algunas ocasiones, esto ha causado pérdidas en ventas tanto por sobre abastecimiento como por quiebres de stock. En el primer caso, debido a la recepción de producto cuando ya existe inventario inicial provocando pérdidas por vigencia, o, en el segundo, por cantidades de pedido muy pequeñas que no logran satisfacer la demanda generando faltantes.

Considérese ahora el factor cantidad de productos, dado que al ser una comercializadora de FMCG posee más de 300 referencias en inventario. El problema se extiende a que, al prescindir de procesos logísticos importantes para la generación de pedidos, estos se realizan cada mes para la mayoría de sus productos sin considerar posibles ahorros en costos totales mediante una mejor planificación.

1.2 Justificación del problema

La falta de planificación de los procesos logísticos e integración entre las partes involucradas ha llevado a la empresa a tener una serie de novedades en sus despachos. Desde entregas incompletas por falta de stock, hasta devoluciones por fechas cortas en vigencia de productos, generando la insatisfacción de los clientes.

La empresa no requiere generar órdenes de compra cada mes para todos sus productos, por lo que es necesario realizar un análisis correcto, tanto a su demanda, como a los requerimientos de la mercancía. Todo esto, para realizar pedidos que no generen desperdicios ni faltantes.

Es así como se puede establecer que la empresa necesita el diseño de una política de inventario para gestionar de forma eficiente los productos que se almacenan en bodega. Este debería permitir guardar un inventario de seguridad para evitar quiebres constantes de stock, además, considerando la facturación real y la demanda con base a pronósticos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una política de inventarios que determine la cantidad de pedido óptimo por SKU para disminuir el sobre abastecimiento de las unidades de inventario, minimizando los costos totales y mejorando la eficiencia y ocupación en bodega, mediante un modelo de inventario para productos de consumo masivo.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Establecer el criterio de clasificación más adecuado que permita ubicar los productos en al menos tres categorías (ABC).
2. Analizar las ventas para determinar el modelo estadístico que mejor pronostique la demanda.
3. Determinar una política de inventario con el/los modelo/s de inventario que se ajusten correctamente a la demanda y necesidades de los SKUs de la empresa.
4. Comparar la política de inventario actual de la empresa con la política propuesta de acuerdo con los costos totales de inventario.

1.4 Marco teórico

Para cumplir con los objetivos establecidos, se requiere realizar una revisión sobre algunos conceptos necesarios, de tal forma que se facilite el entendimiento general sobre dichos

temas. De manera que, el objetivo de esta sección es proporcionar una visión general de los conceptos relacionados a las políticas de inventario por medio de la revisión bibliográfica y el estado del arte de trabajos previos.

1.4.1 Marco conceptual

1.4.1.1 Modelo de Inventario

¿Cuánto y cuándo pedir? Son unas de las interrogantes más importantes que se plantean las empresas a la hora de querer controlar el nivel de inventario. Taha, H. (2012) en su texto indica que, mientras el exceso de unidades de un producto hace que el costo de capital aumente, su escasez interfiere en la disminución de las ventas. Es así como, buscar un balance entre el exceso y escasez de existencias minimizando los costos, es el objetivo general de diseñar una política de inventario.

El modelo de inventario está basado en una función donde el *costo total del inventario* es el resultado de la suma del costo de compra, costo de escasez, costo de retención y costo de preparación, donde:

- El precio por cada unidad de artículo del inventario está representado por el *costo de compra*. El mismo puede variar ocasionalmente si existe una oferta de acuerdo con el número de unidades solicitadas. Esto se debe tomar en cuenta para decidir el tamaño del pedido.
- Existe un valor fijo cuando se realiza un pedido llamado *costo de preparación o costo de pedido*.
- Cuando se presentan unidades faltantes en las ventas, se incurre en una pérdida de ingresos. Esta penalidad es el *costo por escasez*.

- El *costo de retención* no es más que la suma del costo de almacenamiento, mantenimiento, y, manejo de las unidades dentro de una bodega. Aquí también se incluye el costo de oportunidad, muchas veces calculado como el interés sobre el capital por el precio de venta.

En extensión a lo expuesto, se introducen los *sistemas de inventario*. Se definen como los métodos que permiten el control de los artículos en bodega y se dividen en dos grupos principales: revisiones periódicas y continuas. Las mayores ventajas de realizar la revisión del inventario es que reducen los costos totales de bodega, dado que evita pérdidas por daños y facilita la planificación de las órdenes de compra (Taha, 2012).

Las *revisiones periódicas* se ejecutan generalmente cada mes, pero esto depende de las necesidades de la empresa. Es decir, que incluso se pueden realizar cada inicio o fin de semana, siempre y cuando se conserve una periodicidad.

Por otro lado, la *revisión continua* se la realiza cada vez que un producto sale del inventario. La ventaja de este segundo tipo es la facilidad de detectar el *punto de reorden*, que no es más que el número mínimo de existencias que indica que se debe realizar un nuevo pedido para evitar quiebres de stock.

Por otro lado, la clasificación presentada puede variar dependiendo del tipo de producto que se almacene. Esto restringe el tipo de revisión a uno más particular, a fin de dar control, pero de forma categorizada. A continuación, se explora el tema de clasificación de productos de inventario y cómo inciden en los sistemas de inventarios.

1.4.1.2 Sistemas de Inventario y Clasificación ABC

En un sistema de inventario, el número de unidades específicas que serán controladas es conocido como SKU, o, *stock-keeping unit* por sus siglas en inglés. A este término se lo puede definir como “*un artículo de existencias que es completamente especificado ya sea por su función, estilo, tamaño, color, o generalmente, ubicación*” (Silver, Pyke, & Thomas, 2017).

De acuerdo con los mismos autores, un minucioso análisis en los sistemas de inventario reveló una constancia estadística en las proporciones de uso de diferentes artículos. Normalmente, y utilizando el Principio de Pareto, el 20% de los SKU representan el 80% del capital total anual, por lo que no se pueden controlar todos los SKU de la misma forma (Minitab, 2020). Por lo tanto, identificar a los SKUs pertenecientes a ese 20% es importante, ya que son considerados prioridad para las gestiones y análisis dentro de una empresa.

Para ejemplificar el mismo caso, ese 20% estaría en el primer grupo (Grupo A), mientras que el 80% de las referencias restantes se deberían clasificar en los otros dos grupos, como:

- La categoría A (los más importantes) generalmente envuelve al 20% de los SKU representando el 80% del valor total del capital.
- La categoría B (los de importancia media) representada por el 30% de los SKU, sostiene un 15% del valor total del inventario.
- Por último, la categoría C (los de menor importancia) alberga el 50% del total de SKU considerándose que representa el 5% del valor total del inventario en dólares.

Cabe destacar que esta es una aplicación más del Principio de Pareto, no obstante, dichas proporciones pueden modificarse según preferencias o necesidades. Lo relevante es tener en claro que una pequeña proporción de una población analizada es la que aporta en mayor cantidad al efecto a estudiar (Silver, Pyke, & Thomas, 2017).

Retomando el tema de los sistemas de inventarios, realizar esta clasificación vuelve el proceso más eficiente, en vista de que se les da un tratamiento más particular a los productos. En el texto de Silver, Pyke, & Thomas (2017) proporcionan la siguiente tabla de los sistemas sugeridos para cada tipo de clasificación:

Tabla 1.1 Modelos de inventario sugeridos para clasificación ABC.

Fuente: Tomado de Silver, Pyke, & Thomas (2017). *Inventory and Production Management in Supply Chains*. (págs. 241-245)

	Revisión continua	Revisión periódica
A	(s, S)	(R, s, S)
B	(s, Q)	(R, S)
C	$(R, S), (s, Q)$;, o alguna revisión manual o más simple	

Donde:

(s, S) : Cuando se alcanza el punto de reorden s , se realiza un pedido que eleve el inventario a un nivel máximo S .

(s, Q) : Cuando se alcanza el punto de reorden s , se realiza un pedido de cantidad Q .

(R, S) : En cada revisión realizada en R unidades de tiempo, se realiza un pedido que eleve el inventario a un nivel máximo S .

(R, s, S) : Si en la revisión realizada en R unidades de tiempo se alcanza el punto de reorden s , se realiza un pedido que eleve el inventario a un nivel máximo S .

Aunque el punto de reorden es utilizado para evitar quiebres en inventarios hasta el momento de reabastecimiento, también puede servir para identificar la necesidad de contar con *inventario de seguridad*. Este servirá para atender a los picos de demanda, en los que normalmente no se puede cumplir con las necesidades del periodo (Vidal, 2005).

Vale destacar que la categorización mencionada no se realiza de forma trivial, puesto que, como se mencionó, detectar cada clase tiene su importancia para la operación. Dicho esto, se detallan algunos criterios que permiten realizar un ABC más conveniente y que mejor destaque la clasificación de los productos en inventarios.

1.4.1.3 Criterios de Clasificación ABC en Inventario

Índice de rotación en inventario

La rotación de inventario mide el número de veces que un SKU rota en un período de tiempo. Para este cálculo es necesario el número de unidades vendidas o despachadas, y, el número de unidades promedio hasta el último día de corte de inventario, en el período de tiempo requerido. Una vez que se obtiene estos datos, se procede a dividir las ventas totales para el promedio de inventario, y la razón entre estos dos factores será el indicador de rotación, como se indica en la ecuación (1.1) (Gerencie.com, 2020).

$$\text{Índice de rotación} = \frac{\text{total unidades vendidas}}{\text{inventario promedio}} \quad (1.1)$$

Retorno sobre la inversión

El ROI (por sus siglas en inglés *Return on Investment*) es una métrica o indicador usado para conocer el lucro de una organización a través de sus inversiones. Para obtener

su valor es necesario saber cuál es la utilidad de la empresa y dividirlo para la inversión realizada, como indica la ecuación (1.2 (Custodio, 2018).

$$ROI = \frac{\text{utilidad}}{\text{inversión}} = \frac{\text{ingreso} - \text{inversión}}{\text{inversión}} \quad (1.2)$$

Margen bruto del retorno sobre la inversión

Este indicador es una combinación entre el índice de rotación y el ROI. El GMROI (por sus siglas en inglés *Gross Margin Return on Investment*) proyecta el margen bruto que retorna por cada unidad monetario invertido en el inventario. En otras palabras, el GMROI indica el número de veces que se ha recuperado la inversión en un periodo de tiempo. La ecuación (1.3 muestra los parámetros necesarios para su cálculo (Valero, 2009).

$$GMROI = \frac{\text{utilidad}}{\text{inventario promedio}} \quad (1.3)$$

Una vez obtenida la clasificación ABC adecuada, el siguiente paso es definir el modelo de políticas de inventario que presente mejor ajuste con los datos. Además de los sistemas de inventario revisados en esta sección, existen modelos de cantidad económica de pedido comúnmente utilizados, sobre los cuales se realizará una breve revisión a continuación.

1.4.1.4 Cantidad Económica de Pedido

El modelo de cantidad económica de pedido (o conocido como EOQ por sus siglas en inglés *Economic Order Quantity*), es el modelo de inventario más sencillo de aplicar, y sus variaciones dependerán del tipo de demanda con la que se esté trabajando.

$$Q = \sqrt{\frac{2KD}{h}} \quad (1.4)$$

Para el cálculo del número de unidades a solicitar, se necesita del costo por ordenar K , la demanda D y el costo de almacenamiento h , tal como se muestra en la ecuación (1.4. En este caso particular, se asume que la demanda es determinística y estocástica, el lead-time es nulo, y, en general que los valores son constantes.

A partir del modelo básico, se pueden aplicar variaciones, como incluir reducciones de precios o descuentos por tamaño de compra, incluir un costo de preparación, entre otros. De forma similar, esto conllevará a que se generen modificaciones sobre la función de costos y también en la ecuación para calcular Q .

Vale destacar la importancia de la demanda en un modelo de inventario, puesto que se pueden asumir cuatro tipos a lo largo de un horizonte de planeación: *determinística y constante, determinística y variable, probabilística y estacionaria, o, probabilística y no estacionaria.*

Aunque para cada caso se detalla por si solo el tipo de demanda a utilizar también existe un criterio de selección importante llamado *Coefficiente de variación* (cálculo se describe posteriormente). Esta medida estadística se expresa como un porcentaje que representa en qué medida una variable se comporta a comparación de otra.

Siendo así, de acuerdo con el autor Taha, en su texto "*Investigación de Operaciones*" (2012), se detallan los tipos de demanda de la siguiente forma:

Demanda determinística y constante con el tiempo

Este tipo de demanda es la más ideal, debido a que se mantiene durante todos los periodos del horizonte de planeación. De forma aproximada, si a lo largo del tiempo es constante y tiene un coeficiente de variación menor al 20%, entonces pertenece a este grupo.

Demanda determinística y variable con el tiempo

Si resulta visible que la demanda a lo largo del tiempo varía, y el coeficiente de variación permanece por debajo del 20%, entonces pertenece a este grupo.

Demanda probabilística y estacionaria a lo largo del tiempo

Si se observa que la demanda aproximadamente es constante, pero su coeficiente de variación es mayor al 20%, entonces pertenece a este grupo.

Demanda probabilística y no estacionaria a lo largo del tiempo

Contrariamente a los tipos de demandas anteriores, si el promedio y coeficiente de variación son claramente variables en el tiempo, resulta ser de este grupo.

De forma análoga, cuando la demanda es conocida o puede ser calculada como un pronóstico, pero se muestra variable en el tiempo, se llama *demanda determinística dinámica*. Los inventarios que oscilan con este tipo de demanda se vuelven más complicados de manejar, sin embargo, existen diversos métodos, heurísticas o sistemas de loteo que permiten gestionarlos.

1.4.1.5 Algoritmo De Wagner Whitin

Este algoritmo es una extensión al problema del EOQ en donde la demanda es dinámica a comparación del modelo básico. El algoritmo Wagner Whitin es utilizado bajo varios supuestos (Winston, 2004):

1. Tasa de demanda conocida pero variable entre períodos.
2. Todos los pedidos deben estar disponibles al inicio de cada período.
3. No existe ningún tipo de descuento por realizar la compra.
4. La inflación es insignificante.
5. No se permite escasez.

6. Lead time conocido.
7. El costo de inventario solo se les aplica a los productos que se transfieren de un período a otro.

Y teniendo en cuenta las siguientes aclaraciones o propiedades:

- El reabastecimiento solo es efectivo cuando el nivel de inventario de dicho periodo es 0.
- Existe un límite o cota superior a cuánto antes de un período j se incluiría sus requisitos.
- Los costos de mantenimiento de inventario son tan altos que es menos costoso proceder con el reabastecimiento al comienzo del período j , que incluir los requisitos en un reabastecimiento varios períodos anteriores.

Al cumplir con dichos supuestos, la implementación del algoritmo resulta sencilla, proveyendo la solución óptima. Sin embargo, el algoritmo también tiene limitaciones respecto a su ejecución:

- Tiene una mayor complejidad de entendimiento con respecto a otros modelos de inventario.
- Existe la posible necesidad de establecer un punto final bien definido para el patrón de la demanda.

1.4.1.6 Heurística de Silver-Meal

La aplicación de la Heurística de Silver-Meal resulta ser de menor complejidad que el algoritmo de Wagner Whitin, y, al igual que este trabaja bajo ciertos supuestos (Winston, 2004):

1. Costo de mantenimiento de inventario y costo de ordenar constante.

2. Demanda variable entre períodos.
3. Períodos no constantes.
4. No se incluye descuentos en compras, ni costos por faltantes.
5. El tamaño de la orden en el primer período cubrirá los siguientes períodos.

Una desventaja, es que al tratarse de una heurística el resultado no asegura ser el óptimo. Esto se debe a que debido a la naturaleza de la heurística muchas veces dicho resultado se encuentra en la vecindad de la solución óptima.

Sin embargo, no siempre es necesaria la aplicación de una heurística. Aunque las ventajas computacionales de las heurísticas son mayores, se puede utilizar el criterio de selección del coeficiente de variación para determinar su aplicación o la utilización de un modelo de inventarios más sencillo.

1.4.1.7 Coeficiente de variación

Este coeficiente permite conocer y determinar si es factible la aplicabilidad de un modelo EOQ o si existe la necesidad de la implementación de un modelo heurístico para encontrar una mejor solución. Para determinar este coeficiente basta con realizar la división entre la desviación estándar y media de la demanda, tal como se muestra en la ecuación (1.5), y, una vez obtenida la respuesta se decide la selección del modelo. Si la división resulta menor al 20% es posible aplicar el modelo EOQ, caso contrario, se recomienda emplear otro modelo o método matemático que proporcione una mejor solución (Vidal, 2005).

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (1.5)$$

Donde,

C_v = Coeficiente de variación

σ = Desviación estándar de la demanda

\bar{x} = Media de la demanda

En el caso particular de tener demanda determinística dinámica, se introducen dos secciones importantes para la generación de pronósticos para la misma.

1.4.1.8 Modelo de pronóstico

Un pronóstico se lo puede definir como el estudio de datos, cualitativos o cuantitativos, recabados o históricos en un espacio de tiempo. Tiene la finalidad de analizar su tendencia o patrones para proyectar dichos datos a períodos futuros (Masini & Vázquez, 2014), donde dichas predicciones pueden ser para un día, semana, trimestre, año o estimaciones de varios años consecutivos, de acuerdo con la periodicidad que se desee. Esto permite a su vez analizar necesidades de información de un ente.

Antes de describir uno de los modelos de pronóstico es importante definir lo que es una serie de tiempo, para qué se utiliza y sus componentes.

1.4.1.9 Series de tiempo

Una serie de tiempo es una sucesión de datos u observaciones en uno o determinados períodos de tiempo, los cuales están ordenados cronológicamente y separados uniformemente, de tal forma que sean dependientes entre sí. Su principal función es analizar dicha sucesión para realizar pronósticos (Villavicencio, 2010).

Las series de tiempo se pueden clasificar en *estacionarias* y *no estacionarias*, en función al comportamiento de sus datos (Villavicencio, 2010).

- **Estacionarias:** Se dice que una serie es estacionaria cuando el comportamiento de sus datos es estable a lo largo del tiempo. Es decir, la media y la varianza presentan cierta constancia a lo largo del tiempo.
- **No estacionarias:** Las series de tiempo de este tipo son aquellas cuya tendencia y/o variabilidad no son constantes, es decir varían a lo largo del tiempo.

Para analizar una serie de tiempo se debe suponer que, a causa de tres componentes, los valores que toman aquellas variables de observación a utilizar actúan de forma conjunta:

- **Componente de tendencia:** La tendencia se define como un cambio de la media o un cambio producido en relación con el nivel medio en un largo plazo. Es identificada con un suave movimiento de la serie a largo plazo.
- **Componente estacional:** La estacionalidad se refiere a la periodicidad de un intervalo de tiempo. Por ejemplo, una empresa presenta estacionalidad cuando cada año presenta alzas en las ventas en determinados meses debido a temporalidades.
- **Componente aleatoria:** Esta componente se da cuando no existe ningún patrón en el comportamiento de sus datos, resultado de casos fortuitos o aleatorios.

Existen diversos modelos de pronósticos, como la regresión lineal, suavización exponencial, medias móviles, entre otros. En este caso se explorará el siguiente modelo de los mencionados.

Método de suavización exponencial

Este método utiliza datos de observaciones pasadas y datos de observaciones actuales, las cuales al combinarlas reciben una ponderación diferente según sea el caso. En general, se otorga mayor peso o ponderación a las observaciones más actuales.

El método más básico es el *método de suavizamiento exponencial simple*, el cual es empleado para series de tiempo que no cuentan con tendencia ni estacionalidad. Para encontrar el valor pronosticado en el periodo $t + 1$ se utiliza la ecuación (1.6, donde α es la constante que dará peso a las observaciones.

$$\widehat{Z}_{t+1} = \alpha Z_t + (1 - \alpha)\widehat{Z}_t \quad (1.6)$$

\widehat{Z}_{t+1} = pronóstico de la serie de tiempo para el periodo $t + 1$.

Z_t = valor real de la serie de tiempo en el periodo t .

\widehat{Z}_t = pronóstico de la serie de tiempo para el periodo t .

α = constante de suavizamiento, donde $0 \leq \alpha \leq 1$.

El *método lineal Holt o suavizamiento exponencial doble* es utilizado para series que tienen tendencia lineal, pero no presentan estacionalidad (Hanke & Wichern, 2010). De forma similar, para realizar los pronósticos de este modelo se utiliza la ecuación (1.9, pero debido a que se trata de una serie con tendencia es necesario estimar su nivel y tendencia.

$$\text{Nivel: } l_t = \alpha Z_t + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1}) \quad (1.7)$$

$$\text{Tendencia: } b_t = \beta(l_t - l_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (1.8)$$

$$\text{Pronóstico: } \widehat{Z}_{t+h|t} = l_t + b_t h \quad (1.9)$$

l_t = es una estimación para el nivel de la serie en el tiempo t .

b_t = estimación de la pendiente o tendencia de la serie en el tiempo t . Es una ponderación de las tendencias anteriores b_{t-1} y una estimación de las tendencias. Esta última se basa en las diferencias entre niveles consecutivos.

α = constante de suavizamiento, donde $0 \leq \alpha \leq 1$. Su valor varía dependiendo del peso que se desee dar a los datos más recientes. Es decir, si α es más cercano a 1, las observaciones recientes son más importantes que los más antiguos.

β = constante de suavizamiento, donde $0 \leq \beta \leq 1$. De manera análoga, mientras más lejano sea su valor a 1, se suavizará la tendencia actual dando mayor peso a las observaciones pasadas.

El *suavizamiento exponencial estacional* o *Método de Holt-Winters* es aplicable a series de tiempo que presentan estacionalidad y tendencia. Existen dos tipos para este modelo, el aditivo y el multiplicativo. Estos mayormente se diferencian en el cálculo de sus pronósticos. Mientras el primero postula que la serie es la suma de sus componentes, el segundo propone que es la multiplicación de ellas.

Cuando las observaciones no aumentan a lo largo del tiempo, se utiliza el *método aditivo* (Hanke & Wichern, 2010). Para su cálculo se utiliza la ecuación (1.12), donde el nivel y estacionalidad se calculan como la ecuación (1.10) y la ecuación (1.11), respectivamente. La tendencia se calcula como la ecuación (1.8).

$$\text{Nivel: } l_t = \alpha(Z_t - S_{t-m}) + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1}) \quad (1.10)$$

$$\text{Estacionalidad: } S_t = \gamma(Z_t - l_{t-1} - b_{t-1}) + (1 - \gamma)S_{t-m} \quad (1.11)$$

$$\text{Pronóstico: } \widehat{Z_{t+h}|t} = l_t + b_t h + S_{t-m+h}^* \quad (1.12)$$

Cuando las observaciones aumentan a lo largo del tiempo, se utiliza el *método multiplicativo* (Hanke & Wichern, 2010). Para su cálculo se utiliza la ecuación (1.15), donde el nivel y estacionalidad se calculan como la ecuación (1.13) y la ecuación (1.14), respectivamente. La tendencia se calcula como la ecuación (1.8).

$$\text{Nivel: } l_t = \alpha \frac{Z_t}{S_{t-m}} + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1}) \quad (1.13)$$

$$\text{Estacionalidad: } S_t = \gamma \frac{Z_t}{(l_{t-1} + b_{t-1})} + (1 - \gamma)S_{t-m} \quad (1.14)$$

$$\text{Pronóstico: } \widehat{Z_{t+h|t}} = (l_t + b_t h) * S_{t-m+h_m^+} \quad (1.15)$$

De las ecuaciones presentadas, se definen las nuevas variables utilizadas:

m = frecuencia de la estacionalidad.

S_t = componente estacional.

$h_m^+ = [(h - 1) \text{ mod } m] + 1$ (mod = módulo de la división).

1.4.2 Estado del arte

Durante el diseño de una política de inventario es común que surjan una serie de preguntas acerca de las asunciones que normalmente se realizan en los modelos de cantidad económica de pedido. Esto se debe a que mientras se desee conservar mayor similitud con la realidad en bodega, la complejidad de elaboración del diseño del modelo aumenta.

En la sección anterior, se detalla cómo la demanda juega un papel importante dentro de las políticas de inventario. Es por esta razón que su identificación tiene mucha incidencia en el tipo de modelo que se deberá escoger finalmente.

En el caso particular de los productos de consumo masivo conocer cómo se comporta su demanda, también es un paso crítico dentro de su proceso de venta. Al integrar diversas familias de productos, no solo se debe considerar lograr una correcta satisfacción del cliente, si no mantener la frescura y calidad del producto durante su almacenamiento y distribución (Tarallo et al., 2019).

Tarallo et al. (2019) citando a Arunraj y Ahrens (2015), en su investigación “*A hybrid seasonal autoregressive integrated moving average and quantile regression for daily food sales forecasting*”, menciona que la principal causa del desperdicio de productos y de la generación de quiebres de stock es precisamente la inexactitud de los pronósticos de ventas que provocan pedidos incorrectos. Partiendo de esa premisa, pronosticar la demanda adecuadamente es elemental para conocer los niveles de inventario necesarios de cada uno de los artículos.

Pero ¿por qué se le da tanta importancia a realizar un buen pronóstico? Debido a que este permitirá conocer la demanda de productos. Por ejemplo, para una empresa que se dedique al almacenamiento, es común encontrar demandas variables y muchas veces estacionales. En este caso particular, dicha demanda no se puede reflejar como una constante en el EOQ, porque resultaría en una solución irreal. Es por esto por lo que es un paso inicial dentro del desarrollo de la política de inventario.

En adición, la satisfacción del cliente es un punto importante dentro del proceso logístico, y contar con una buena política de inventario es un medio para lograr este fin. Ileana et. al. (2013), en su artículo “*Un modelo de gestión de inventarios para una empresa de productos alimenticios*”, menciona que se debe tener en consideración el tipo de demanda a tratar y el nivel de servicio que se pretende alcanzar. Además, de que

realizar un correcto pronóstico de la demanda es una herramienta primordial a la hora de la toma de decisiones.

En relación con la idea inicial, mientras más variables se tomen en cuenta, mejor se podrá representar a un verdadero proceso de almacenamiento. Sirva de ejemplo tener en cuenta el espacio disponible, la cantidad de existencias de unidades, considerar un stock de seguridad, un lead-time (tiempo de entrega), un punto de reorden, entre otros.

Como muestra, Mishra et al. (2017) propone un modelo de inventario EOQ que considera la tasa de demanda en función de las acciones y el precio de venta. Además, permite la escasez de artículos, ya sea con pedidos pendientes (backordering) completos o parciales. Para este modelo su propósito principal es “*determinar el precio de venta óptimo, la frecuencia de ordenar y la inversión de la tecnología de preservación maximizando el total de las ganancias*” (Mishra et al., 2017).

Dicho lo anterior, existe otro punto que también se puede incluir en un modelo de inventario (en caso de que aplique). Este es el caso de los productos o artículos defectuosos, tal como los incluye Karakatsoulis & Skouri (2021) en su modelo propuesto. Este modelo es usado para controlar un sistema de inventario, bajo el supuesto de demanda determinística y con productos defectuosos. Demuestra que existe un bajo punto de reorden para prevenir la escasez durante un periodo, y, al mismo tiempo, disminuye el inventario promedio e incrementa el intervalo de reorden. Así como también, provoca una significativa reducción en el costo total de los sistemas, como el costo de comprar u ordenar y mantener el inventario.

Las consideraciones tomadas por los autores anteriores son aplicables en algunos casos específicos, como lo describen en sus investigaciones, no obstante, representan varias formas de cómo direccionar un modelo de inventario.

Estos supuestos son muy necesarios plantearlos desde un principio, para así llevar a cabo la planeación del modelo que mejor se ajuste. De tal manera, poder determinar un buen pronóstico de la demanda permitiendo reducir costos, y al mismo tiempo aumentar el nivel de servicio.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El presente capítulo cumple con mostrar los pasos a seguir realizados a fin de lograr los objetivos planteados anteriormente. La relevancia sobre conocer la situación actual de la bodega y el análisis de los datos históricos toma especial importancia, puesto que permitirán decidir qué modelo se ajusta de manera correcta.

Dicho esto, en esta sección se analizarán las revelaciones obtenidas de una visita técnica a la bodega y una entrevista semiestructurada al coordinador de esta. Además, con base en los datos históricos obtenidos, se plantea el modelo respectivo que permitirá obtener una política de inventarios óptima para los productos de la empresa comercializadora de FMCG. Posteriormente, se mencionan las consideraciones que se tuvieron para seleccionar el mejor modelo de cantidad de pedido óptimo, explicando las variables y parámetros utilizados para su ejecución.

2.1 Diseño de la solución

Tal como el objetivo general de este trabajo revela, se desea diseñar una política de inventarios que minimice los costos totales en los que incide la empresa para satisfacer a sus clientes. Esto, tomando en cuenta el diverso catálogo de referencias que poseen en inventario, en conjunto con las particularidades de cada uno.

Por lo cual, es necesario y primordial estudiar los productos para los cuales se desea modelizar la política de inventarios. Así, por ejemplo, un producto que tiene más despachos necesitará ser repuesto con más frecuencia o en mayor cantidad, versus, un producto con baja rotación. En relación con lo mencionado, saber diferenciar este detalle permitió elaborar un modelo que se ajusta de mejor forma a los movimientos del

inventario, por lo que simboliza un paso de interés particular dentro del diseño de la propuesta.

En síntesis, este trabajo se centra en elaborar un modelo que refleje la política de inventarios que el cliente debe seguir para realizar los pedidos de sus productos bajo los criterios mencionados anteriormente. Por lo tanto, este modelo se presentará como un pseudocódigo junto con las indicaciones pertinentes y los parámetros necesarios de entrada. Como resultado, este permitirá al usuario de la empresa comercializadora conocer en qué periodos del horizonte de planeación se deben realizar los pedidos de cierta referencia en una cantidad dada para evitar novedades en despachos, bajo el objetivo de minimizar los costos totales.

2.2 Plan de trabajo

En el siguiente listado, se presentan las cuatro actividades principales bajo las cuales se desarrolló este proyecto.

1. Levantamiento de información

- 1.1 Entrevista con el coordinador de bodega de la empresa prestadora del servicio de almacenamiento.
- 1.2 Recepción y análisis de datos históricos.
- 1.3 Visita técnica a la bodega de la empresa prestadora del servicio de almacenamiento.

2. Elaboración del modelo

- 2.1 Clasificación ABC de los SKUs.
- 2.2 Establecimiento del modelo para los SKUs de acuerdo con su clasificación ABC.
- 2.3 Estructuración de la data y parámetros necesarios.
- 2.4 Elaboración del modelo de pronóstico.

3. Implementación del modelo

- 3.1 Implementar el modelo seleccionado al lenguaje de programación Python.

4. Diseño de resultados

- 4.1 Replicar el modelo seleccionado para principales SKUs.

- 4.2 Comparación de costos totales del modelo propuesto versus política actual de pedido.
- 4.3 Elaboración del reporte final.
- 4.4 Reunión con Coordinador de bodega y Supervisor de la operación del cliente en bodega.

En la **Actividad 1**, a razón de conocer y recolectar información sobre los procedimientos de interés, se programó una entrevista con el coordinador de bodega y una visita técnica a la misma para observar la operación del cliente. También se receiptó bases de datos e información relevante para la elaboración del modelo.

La **Actividad 2** consistió en el análisis de los datos recolectados. En primer lugar, se categorizaron los SKUs de los despachos realizados dentro de tres grupos, permitiendo seleccionar el modelo de inventario que se ajuste de mejor forma a dicha clasificación. De igual manera, se estructuró la data obtenida de acuerdo con dicha clasificación además de utilizar la información para la elaboración de un modelo de pronóstico.

Para la **Actividad 3**, y, en base al pseudocódigo, se implementó dicha información en el lenguaje de programación Python, para proceder en el desarrollo de la siguiente actividad.

Dicho código sirvió para replicar el modelo para los otros SKUs, iniciando la **Actividad 4**. Esta replicación se utilizó para la elaboración del reporte final que fue presentado en una reunión programada al Coordinador de bodega y al Supervisor de la operación del cliente en bodega.

2.3 Análisis de la información recopilada

Un paso importante en cualquier proyecto de trabajo es el análisis de la información obtenida. Esta no solo permite conocer sobre un tema en general, sino también ajustarse a la problemática para poder brindar una solución eficaz. Con respecto a lo mencionado, y como

parte de la elaboración de este proyecto, se realizó una entrevista y una visita técnica, además de la recepción de documentos, sobre los cuales se presentan las principales revelaciones.

2.3.1 Entrevista semiestructurada y visita técnica

En la entrevista realizada con el coordinador de bodega del operador logístico se conversó sobre el proceso que se lleva a cabo cada mes en la operación del cliente. Esto permitió conocer la necesidad de implementar una política de inventario, debido a que las planificaciones que realiza el depto. de ventas no toman en cuenta factores importantes en la gestión logística. Producto de esto existen novedades en los despachos y como resultado se tiene la posible insatisfacción del cliente. Esto último se corroboró en la visita técnica realizada a la bodega de la empresa.

En esta segunda ocasión se conversó con las personas involucradas en la supervisión de las operaciones de despacho, recepción y manejo de inventario de la operación del cliente. Un dato importante por recalcar es que, de acuerdo con el asistente de operaciones, las ventas del cliente se mantuvieron durante la pandemia a pesar de la emergencia sanitaria y las restricciones vehiculares. Además, aunque existió un incremento en las ventas de los productos de limpieza, en general, la empresa no experimentó bajas en las ventas.

Simultáneamente, dentro del almacén se logró observar la preparación de pedidos, de la cual se verificó que todos los SKUs se mueven por cajas.

2.3.2 Análisis de datos proporcionados¹

Se recibió una base de datos con los movimientos de inventario de bodega desde enero de 2020 hasta mayo de 2021. Tomando como punto de partida las salidas de mercancía desde bodega durante 2020, se contabilizaron 170 SKUs despachados con un total de 1.561.631 cajas.

Como parte de la gestión del almacenamiento en bodega, cada mes se presenta a la empresa comercializadora el análisis ABC por porcentaje de participación del SKU. Adicionalmente, se realiza el cálculo del índice de rotación de cada referencia para conocer qué productos tuvieron mayor y menor rotación durante el mes. A pesar de que dicho archivo con los componentes antes mencionados fue compartido, se realizó una modificación sobre el mismo.

Considerando la falta de información para el cómputo de las ventas totales de cada SKU, se tomó en su lugar el índice de rotación como indicador de análisis. Una vez ordenado de forma descendente se calcula su porcentaje de participación. Cabe destacar que dicho porcentaje utilizado para la clasificación se replica para todos los SKUs, sin tener en cuenta cantidades despachadas. Por lo tanto, se realiza una división para la cantidad de referencias despachadas en el periodo de tiempo analizado y sobre ella se calcula la frecuencia acumulada.

¹ Es importante indicar que el análisis de información presentado a continuación se realizó a partir de los datos históricos que se obtuvieron de la gestión de bodega. Por seguridad y confidencialidad, el departamento de ventas de la empresa comercializadora no pudo compartir datos relevantes para la elaboración de este proyecto.

Por último, siguiendo el principio de Pareto (20-80) se agruparon los SKUs despachados en tres grupos, tal como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen d e la referencia..**

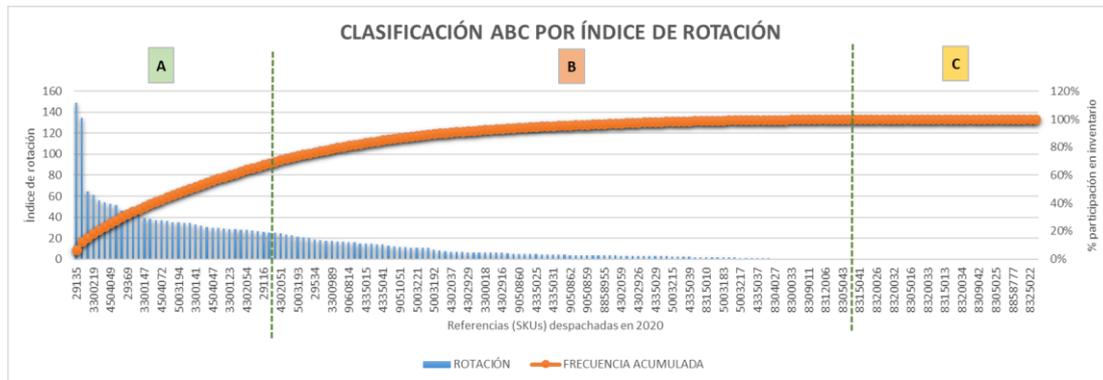


Figura 2.1 Diagrama de Pareto del índice de rotación de los SKUs despachados en 2020 clasificados en tres grupos por su porcentaje de participación.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

- Para la **categoría A**, conformado por el 20% de los productos con mayor índice de rotación, sumaron 34 referencias.
- Para la **categoría B**, conformado por 40% de los productos siguientes, sumaron 102 referencias.
- Para la **categoría C**, conformado por los productos restantes, sumaron 34 referencias.

2.4 Análisis de los despachos por SKU

Se realizó un análisis de los despachos mensuales de 2020 de cinco productos de la *categoría A* (**SKU 1, SKU 2, SKU 3, SKU 4 y SKU 8**), y cinco productos de la *categoría B* (**SKU 5, SKU 6, SKU 7, SKU 9 y SKU 10**). En su mayoría, las referencias de la primera

categoría son alimentos de las familias de cereales, fideos y salsas, mientras que, para el segundo grupo, una mezcla entre productos alimenticios y de limpieza.

Para la *categoría C* se omitió el análisis, a razón de inconsistencias en la información compartida. Sin embargo, para las 3-4 referencias que integran a este grupo se observaron pocos despachos realizados mayormente en los últimos meses del año. A excepción de una referencia, los SKUs del grupo C pertenecen a la familia de limpiadores del hogar, insecticidas, detergentes, productos para el cuidado de la piel y del cabello, caracterizados por tener mayor tiempo de vigencia.

En esta sección se realizó un análisis estadístico que permitió tener una visión más específica de cada categoría, la cual fue utilizada en las secciones subyacentes. Adelante se presentan dos ejemplos por cada categoría indicada anteriormente.

Para las referencias de la categoría A se obtuvo lo siguiente:

Para el **SKU 1**, de acuerdo con la Figura 2.2, su histograma no muestra una distribución normal en sus datos. Al pertenecer a la primera categoría conserva frecuencias altas en la mayoría de sus rangos, lo cual concuerda con el tipo de producto. Tiene un promedio de 9.585 despachos durante el año con una desviación estándar de 3.343 cajas.

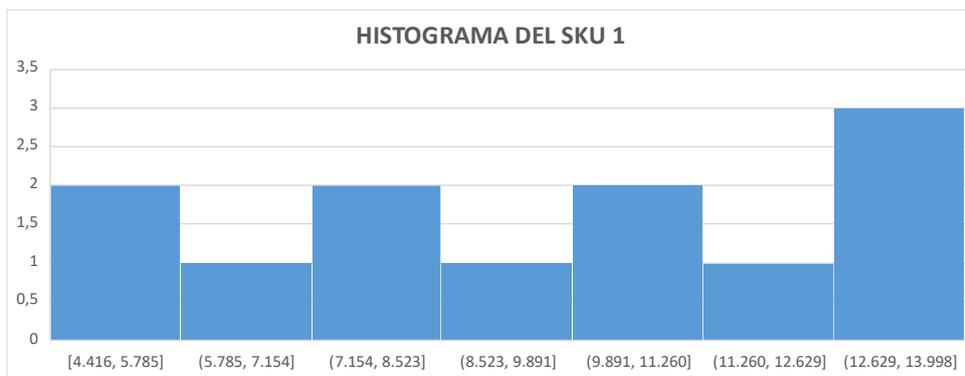


Figura 2.2 Histograma de SKU 1.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

Por otro lado, en la Figura 2.3 se observa que para el **SKU 8** tampoco existe un comportamiento normal en sus datos. En particular esta referencia fue una de las que mayor cantidad de despachos tuvo en el año y su inventario promedio fue bajo produciendo un índice de rotación bastante alto. Tuvo una media de 6.387 despachos con una desviación estándar de 6.335 cajas.

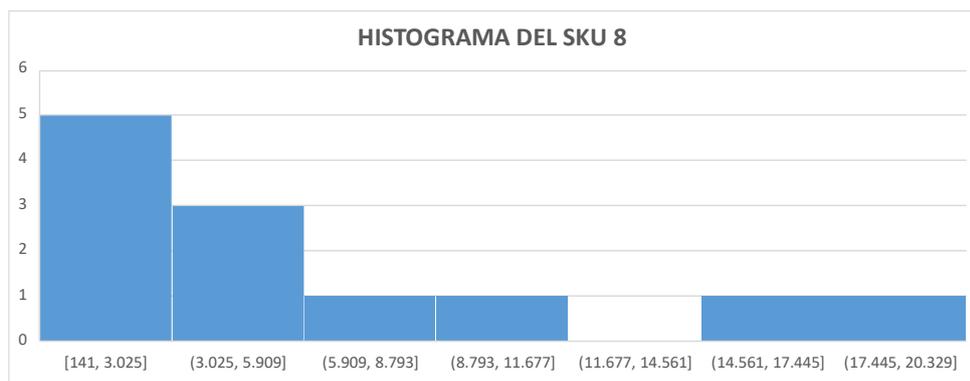


Figura 2.3 Histograma del SKU 8.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

De forma similar ocurre para los SKUs 2, 3 y 4, donde sus datos conservan una distribución diferente a la normal (Véase *Anexo 1: Análisis de los despachos por SKU*).

En la Figura 5.1, el **SKU 2** muestra su punto más alto para los despachos de entre 8.000 y 9.300 cajas, a partir del cual su frecuencia decae. Para las cantidades menores conserva también mayor frecuencia. Por otra parte, en la Figura 5.2, el **SKU 3** muestra menor frecuencia para los despachos a partir de las 3.000 cajas, además de tener un alza de sus salidas con menor cantidad de cajas. Finalmente, la Figura 5.3 muestra el histograma de despachos del **SKU 4**, donde las salidas de menor o nula frecuencia son para aquellos despachos con más de 970 cajas.

En cuanto a las referencias de la categoría B se obtuvo lo siguiente:

Para los datos del **SKU 5**, de acuerdo con el histograma mostrado en la Figura 2.4, tampoco tienen similitud con la distribución normal. Conserva más baja frecuencia para las salidas con entre 500 y 790 cajas, y mayor frecuencia para salidas de entre 790 y 1.010 cajas. Mantiene una media de 1.033 con una desviación estándar de 673 cajas.

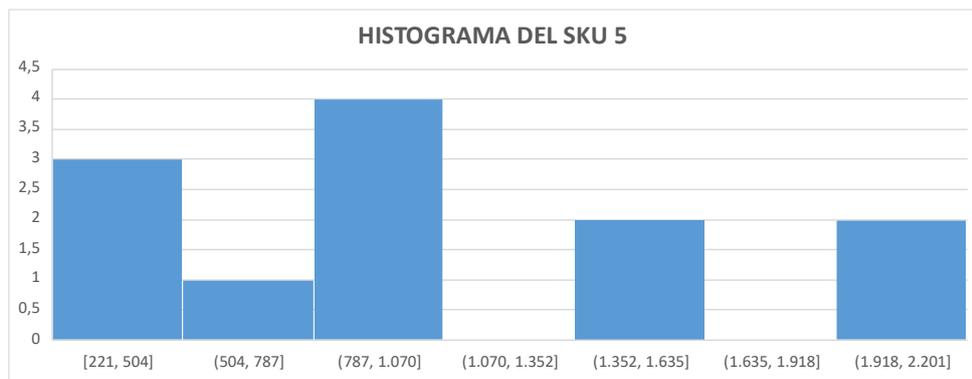


Figura 2.4 Histograma del SKU 5.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

El **SKU 6** muestra una alta frecuencia para los despachos de menor cantidad de cajas y menor frecuencia para el caso contrario. De acuerdo con la Figura 2.5, los datos de salidas no muestran una similitud a una distribución normal. Presenta una media de 1.925 cajas despachadas con una desviación estándar de 1.382.

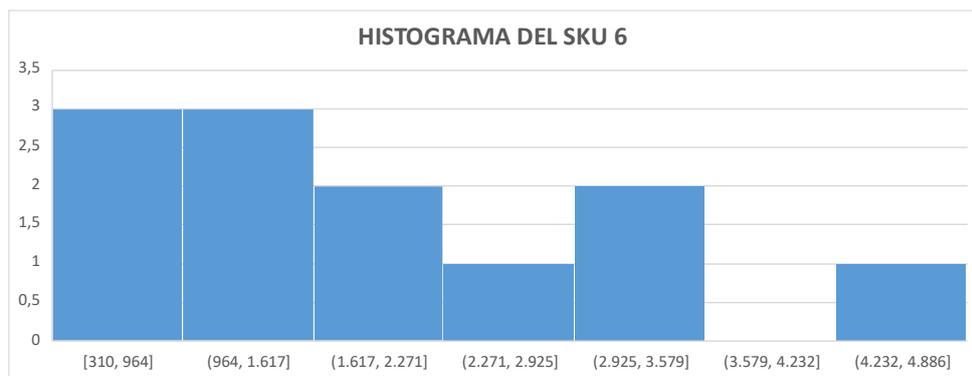


Figura 2.5 Histograma del SKU 6.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

En cuanto a los datos de los SKUs 7, 9 y 10, tampoco describen una distribución normal en sus despachos (Véase Anexo 1: Análisis de los despachos por SKU). Para el **SKU 7**, la Figura 5.4 muestra que sus mayores frecuencias se encuentran en los meses con despachos más pequeños, mientras que las menores frecuencias se presentan para el caso contrario. De forma similar en la Figura 5.5 se puede visualizar que la mayoría de los despachos del **SKU 9** se realizan en cantidades pequeñas. Por último, para el **SKU 10**, la Figura 5.6 describe un caso similar, agregando como instancia con mejor frecuencia a los despachos de mayor cantidad de cajas.

2.5 Proyecciones de las demandas para varios periodos

Considerando los despachos mensuales analizados, se seleccionó un modelo de pronóstico que permita evaluar el modelo de inventario propuesto. Aunque se conoce que los despachos no representan las ventas reales de la empresa comercializadora, se asume la posible distorsión de los datos provocado por no utilizar la demanda real de los productos para los pronósticos realizados.

Como en los casos anteriores, se utilizaron los registros de salidas mensuales de las referencias definidas, sobre las cuales se generó una serie de tiempo con doce periodos correspondientes a los datos provistos del 2020. Se analizaron los componentes de tendencia, estacionariedad y aleatoriedad, sobre lo que se concluyó que la serie no tiene tendencia, no es estacionaria y es aleatoria. Después de probar varios modelos estadísticos se seleccionó el modelo de suavizamiento exponencial simple con alfa igual a 0.6 debido a que disminuye los errores de pronóstico y simula de mejor forma la serie de tiempo dándole mayor ponderación a los datos más recientes.

2.6 Uso de software

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron diferentes softwares los cuales facilitaron el análisis, manejo de datos, y modelización de la propuesta, entre los cuales están:

- **RStudio:** Es un entorno de desarrollo integrado (IDE) que utiliza el lenguaje de programación R. Este es un software de libre acceso con enfoque al análisis estadístico que proporcionó ayuda al permitir aplicar varios modelos de pronósticos para los despachos mensuales a fin de seleccionar el que proporcione un mejor ajuste.
- **Microsoft Excel:** Es una hoja de cálculo desarrollada por Microsoft que permite elaborar esquemas con cálculos dinámicos. En este proyecto facilitó el manejo de la información proporcionada, la elaboración de gráficos, el uso de tablas dinámicas, además de realizar plantillas que permitieron expresar de manera sencilla los resultados.
- **Python:** Es un lenguaje de programación que ayudó a modelizar la política de inventario propuesta. Para ello se utilizó la librería `pyomo` cuya función es facilitar la formulación de problemas de optimización usando la notación usual. Para la resolución del problema se usó el `solver GLPK` (GNU Linear Programming Kit) que permite resolver programas lineales, mixtos, entre otros relacionados.

2.7 Modelo de gestión de inventario

Se analizó el coeficiente de variación de cada uno de los SKU elegidos para seleccionar el modelo preciso en base a su demanda, considerando la media y desviación estándar de los datos del período analizado. De esta forma, se procedió al cálculo del coeficiente de variación, utilizando la ecuación (1.5, del cual se obtuvo que superó el 20% en todos los casos. Este hecho dio pauta a definir que la demanda es del tipo determinística y dinámica, donde lo más eficiente

sería probar con un modelo heurístico o sistema de loteo para poder encontrar los valores óptimos de pedido.

Aunque la aplicación de la heurística de Silver-Meal es factible para el tipo de demanda, la solución no garantiza ser la óptima a diferencia del algoritmo de Wagner-Whitin. Por lo tanto, se eligió la segunda para determinar las políticas de inventario de los productos de las categorías A y B.

2.7.1 Algoritmo de Wagner Whitin

Se definió al horizonte de planificación como un año, por lo tanto, estará compuesto de doce subperiodos o meses. La notación se muestra a continuación:

$F(t)$: Costos totales de la mejor estrategia de reabastecimiento.

D : Demanda total durante el horizonte de planeación analizado.

D_i : Demanda durante un subperiodo o mes $i \in \{1,2, \dots, 12\}$.

K : Costo fijo por realizar un pedido.

p : Precio de compra de una caja de la referencia analizada.

i : Porcentaje de interés anual.

h : Costo de almacenamiento de una caja durante un subperiodo [\$/caja/mes].

Por la falta de información sobre los costos de almacenamiento reales de las referencias analizadas, se calculó h como se muestra en la ecuación (2.1). La ecuación representa el valor que generaría dicha referencia si se invirtiera en un banco en lugar de almacenarlo. El valor se divide entre 12 debido a que se utilizó un interés anual.

$$h = \frac{i \times p}{12} \quad (2.1)$$

El algoritmo se desarrolla como se muestra en el siguiente pseudocódigo:

Entrada: demanda del producto para 12 subperiodos, K , p , i .

1:	$t = 1.$
2:	Para cada t hasta $t = 12$:
3:	Si $t < 12$:
4:	$s = t.$
5:	$F(t) = 0.$
6:	Se calcula el costo de pedir de las opciones para cubrir la demanda hasta t . Se escoge el más bajo.
7:	$F(t) = +$ costo de pedir
8:	Sino:
9:	Se calcula el costo de pedir de las opciones para cubrir la demanda hasta t . Se escoge el más bajo.
10:	Se revisa la información desde el último subperiodo hacia el primero.
11:	Para las mejores soluciones por subperiodo, se suman las demandas.

Donde el costo de pedir dependerá de la opción que se está explorando. Es decir, si para un subperiodo t se desea pedir al inicio de este para un conjunto de n subperiodos, el costo de pedir se calculará como $K + h(D_1 + 2D_2 + \dots + nD_n)$. Sin embargo, si se va a tomar la mejor opción de un subperiodo anterior será $F(t - 1) + K$, debido a que solo se está agregando el pedido del subperiodo actual. Este también cambiará si se evalúa la mejor opción de varios subperiodos anteriores, donde se debería agregar el costo de almacenamiento.

2.7.2 Enfoque de programación lineal

Para este problema existe un enfoque de resolución mediante un programa lineal entero de optimización (Caplice, 2003). El problema se detalla de la siguiente forma:

- **Parámetros**

D_i : Demanda durante un subperiodo o mes $i \in \{1, 2, \dots, 12\}$.

K : Costo fijo por realizar un pedido.

h : Costo de almacenamiento de una caja durante un subperiodo [\$/caja/mes].

M : Número muy grande.

- **Variables**

B_i : Inventario inicial en el subperíodo i .

E_i : Inventario final en el subperíodo i .

Q_i : Cantidad por ordenar en el subperíodo i .

Z_i : Variable binaria, donde es 1 si $Q_i > 0$ y 0 en otro caso.

• **Función objetivo**

$$\min \sum_{i=1}^n KZ_i + \sum_{i=1}^n hE_i \quad (2.2)$$

La función objetivo minimiza la sumatoria del costo por pedir en cada subperíodo i (en caso de que exista) más las sumatoria del costo de mantener el inventario en el subperíodo i .

Sujeto a,

$$B_1 = 0 \quad (2.3)$$

$$B_i - E_{i-1} = 0 \quad \forall_i \in \{2, \dots, 12\} \quad (2.4)$$

$$E_i - Q_i - B_i + D_i = 0 \quad \forall_i \in \{1, \dots, 12\} \quad (2.5)$$

$$MZ_i - Q_i \geq 0 \quad \forall_i \in \{1, \dots, 12\} \quad (2.6)$$

$$B_i \geq 0 \quad \forall_i \in \{1, \dots, 12\} \quad (2.7)$$

$$E_i \geq 0 \quad \forall_i \in \{1, \dots, 12\} \quad (2.8)$$

$$Q_i \geq 0 \quad \forall_i \in \{1, \dots, 12\} \quad (2.9)$$

$$Z_i \in \{0,1\} \quad \forall_i \in \{1, \dots, 12\} \quad (2.10)$$

Dado que uno de los supuestos del modelo de Wagner-Whitin exige que solo se podrá realizar el reabastecimiento siempre que el nivel de inventario sea 0, la restricción (2.3 se define que el inventario inicial del primer periodo sea igual 0 para obligar al programa a realizar un pedido al comienzo del horizonte de planeación.

La restricción (2.4 establece la relación las variables E_i y B_i , donde indica que el inventario inicial en el subperiodo i va a ser igual al inventario final del subperiodo anterior. La restricción (2.5 trata de generar un balance en el inventario, de tal forma que la suma del inventario final del subperiodo i más la demanda del subperiodo anterior, sea igual a la suma de la cantidad a ordenar en i y el inventario final del mismo.

También se agrega una restricción lineal, la restricción (2.6 que obliga a tomar el valor positivo a Z_i siempre que $Q_i > 0$ o 0 en caso contrario. Adicionalmente se encuentran la restricción (2.7, restricción (2.8 y restricción (2.9 que obligan a las variables B_i , E_i y Q_i , respectivamente, a ser enteras. Por último, se encuentra la restricción (2.10 que obliga a la variable de decisión Z_i a ser binaria.

2.8 Consideraciones éticas y legales

Los conceptos, fórmulas, métodos y modelos principales en los que está basado este trabajo, cuentan con las respectivas citas y referencias a los autores originales de cada una de las partes, de tal forma que se acredite a los mismos, basados en las normas APA.

Es importante dar a conocer que se cumple la confidencialidad de las personas involucradas en las entrevistas realizadas, así como también de las personas que brindaron toda la información necesaria para llevar a cabo este trabajo. Además, se considera la no divulgación de los procesos dentro de la empresa con la cual se trabajó.

Establecer una política de inventario que determine las cantidades óptimas de pedido, permite que no exista una sobreproducción de productos, y así reducir las horas de trabajo, el esfuerzo de los trabajadores, el desperdicio de materia prima a utilizar en los diferentes ítems, entre otros. Este representa un efecto en cadena, al evitar la utilización innecesaria de

maquinaria, y, por lo tanto, su tiempo de uso. Para esto último, incide en el ahorro de fuentes de energía y de combustibles.

Por otro lado, en cuanto a la obsolescencia de los productos, es muy importante recalcar que esto se considera dentro de las buenas prácticas de almacenamiento en donde reducir la cantidad de productos caducados es vital. Esto se debe a que al comenzar su proceso de deterioro podría contaminar al resto de la mercancía, o, incluso provocar el apareamiento de plagas. Esto se encuentra estrechamente relacionado con las políticas y reglas de almacenamiento de la empresa, así como con el código de salud impartido por la Agencia Nacional de Regulación de Ecuador.

2.9 Cronograma de actividades

Tal como se presentó en la sección 2.2, el presente trabajo se desarrolló bajo cuatro actividades principales, entre las que se invirtieron aproximadamente cuatro meses. Como se muestra en la Figura 2.6, dichas actividades se realizaron de la siguiente manera.

CRONOGRAMA DE TRABAJO																	
N°	ACTIVIDAD	INICIO	TIEMPO	FINAL	MAYO				JUNIO				JULIO				
					01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
1 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN																	
1.1	Entrevista	26-05-21	0	26-05-21													
1.2	Recepción datos	26-05-21	40	05-07-21													
1.3	Visita técnica	02-07-21	0	02-07-21													
2 ELABORACIÓN DEL MODELO																	
2.1	Clasificación ABC	16-06-21	3	19-06-21													
2.2	Selección del modelo	21-06-21	4	25-06-21													
2.3	Estructuración data y parámetros	28-06-21	11	09-07-21													
2.4	Elaboración modelo de pronóstico	21-06-21	18	09-07-21													
3 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO																	
3.1	Lenguaje de programación	05-07-21	9	14-07-21													
4 DISEÑO DE ENTREGABLES																	
4.1	Replicación	09-07-21	14	23-07-21													
4.2	Comparación	23-07-21	7	30-07-21													
4.3	Reporte final	23-07-21	7	30-07-21													
4.4	Presentación de resultados	02-08-21	4	06-08-21													

Figura 2.6 Cronograma de actividades.

Elaborado por los autores.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La selección de un sistema de loteo como solución a la mala planeación de pedidos debe ser comparada de alguna forma para determinar la validez de la propuesta. En esta sección se mostrarán los principales resultados obtenidos de la implementación de una política de inventarios para los productos analizados, teniendo en cuenta una clasificación ABC.

Para evaluar la eficacia de la propuesta se han determinado dos tipos de comparaciones tomando a los costos totales como índice de análisis. Para el primer caso, se calcula el costo total de la propuesta y de la política actual utilizando el valor real despachado durante 2020. Para el segundo caso, se utiliza el pronóstico de la demanda para realizar una planeación y se compara el reabastecimiento pronosticado con los despachos reales del 2020. Esto a razón de conocer si el modelo de pronóstico es adecuado y si funciona con la política propuesta.

3.1 Clasificación ABC de los despachos de 2020

Como se muestra en la Tabla 3.1, tomando como guía el índice rotación calculado en base a los movimientos de salidas de inventarios durante 2020, se realizó la siguiente clasificación ABC:

Tabla 3.1 Clasificación ABC por índice de rotación de los SKUs despachados en 2020 y porcentaje de participación.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

Categoría	Cantidad	T. Cajas	Rotación
A	34	1.199.479	1.444,10
B	102	361.811	756,16
C	34	341	2,34

En total, durante 2020, se despacharon 1.561.631 cajas, de las cuales a la categoría A le pertenecen aproximadamente el 78% de las salidas. Analizando la rotación de la misma categoría, se trata de productos que tienen mayor movimiento, llegando a permanecer en inventario en promedio 9 días y como máximo 14. Para la categoría B, la media de días en inventario son de 240 y su máximo 2.042. Por último, la categoría C tiene como media 10.774 días en inventario.

Dentro de la categoría A los productos se agrupan por familias, entre las cuales están fideos, salsas, galletas, cereales y cuidado del cabello, tal como se puede observar en la Tabla 3.2. La familia de los *Fideos* y *Salsas* representan aproximadamente el 80% de los despachos totales de la categoría. A razón de esto los SKUs elegidos pertenecen a estas familias.

Tabla 3.2 Clasificación por familia para productos de categoría A.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

Familia	Cantidad	% total
Fideos	656.024	54,69%
Salsas	287.869	24,00%
Galletas	239.177	19,94%
Cereales	12.567	1,05%
Cuidado de cabello	3.842	0,32%

Tabla 3.3 Clasificación por familia para productos de categoría B.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

Familia	Cantidad	% total
Fideos	161.017	44,50%
Salsas	65.776	18,18%
Galletas	47.213	13,05%
Cuidado de cabello	44.520	12,30%
Cereales	39.812	11,00%
Jabones	2.933	0,81%
Lavavajillas intradevco	223	0,06%
Limpiadores especializados	140	0,04%
Lejías	109	0,03%

Limpiadores light duty	22	0,01%
Limpiadores heavyduty	21	0,01%
Detergentes intradevco	10	0,00%
Ambientadores	6	0,00%
Suavizantes intradevco	6	0,00%
Cuidado de piso	3	0,00%

La Tabla 3.3 permite identificar que, de manera similar a la categoría A, las familias de los *Fideos* y *Salsas* son las más representativas debido a que en conjunto suman el 62.68% de los despachos de las referencias del tipo B. Motivo a lo anterior, se han elegido referencias de estas dos familias.

Tabla 3.4 Clasificación por familia para productos de categoría C.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

Familia	Cantidad	% total
Cereales	130	38,12%
Cuidado de la piel intradevco	58	17,01%
Limpiadores especializados	39	11,44%
Lavavajillas intradevco	27	7,92%
Limpiadores heavy duty	22	6,45%
Ambientadores	17	4,99%
Insecticidas	12	3,52%
Limpiadores light duty	11	3,23%
Jabones	10	2,93%
Detergentes intradevco	6	1,76%
Lavavajillas	5	1,47%
Cuidado de cabello	4	1,17%

Para la categoría C, de acuerdo con la Tabla 3.4, la familia de los *Cereales* tiene mayor cantidad de despachos, sin embargo, los productos de limpieza y cuidado personal suman el 61,88% de las salidas de esta categoría. Como se indicó en la sección 2.4 (*Análisis de los despachos por SKU*), estas referencias se caracterizan por tener mayor tiempo de vigencia, permitiendo conservarse sin mayor complejidad por más tiempo.

3.2 Análisis de series de tiempo y elección de modelo de pronóstico

Como parte del análisis de resultados se planteó modelar el comportamiento de los despachos de 2020 para pronosticar las ventas y evaluar la política de inventario propuesta. De esta forma, una vez seleccionados los SKUs a analizar, con ayuda de RStudio, se probaron diversos modelos estadísticos de pronóstico para seleccionar aquel que represente mejor ajuste con los datos.

El primer paso fue analizar los componentes de tendencia, estacionalidad y nivel de las series de tiempo usando las pruebas estadísticas necesarias. Este proceso se realizó para las referencias mencionados en la sección 2.4, de los cuales se presentan a continuación los SKU 1, SKU 8, SKU 5 y SKU 6, obteniéndose lo siguiente:

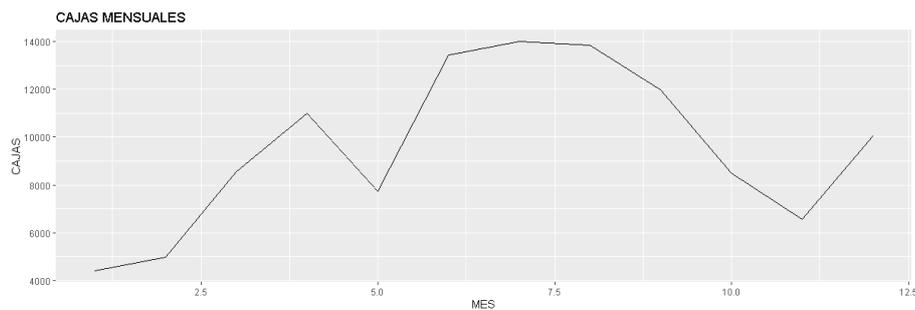


Figura 3.1 Serie de tiempo de SKU 1.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

La serie de tiempo del **SKU 1**, mostrado en la Figura 3.1, no presenta estacionalidad, ni estacionariedad. Además, se puede observar un incremento en los despachos aproximadamente a mitad del año.

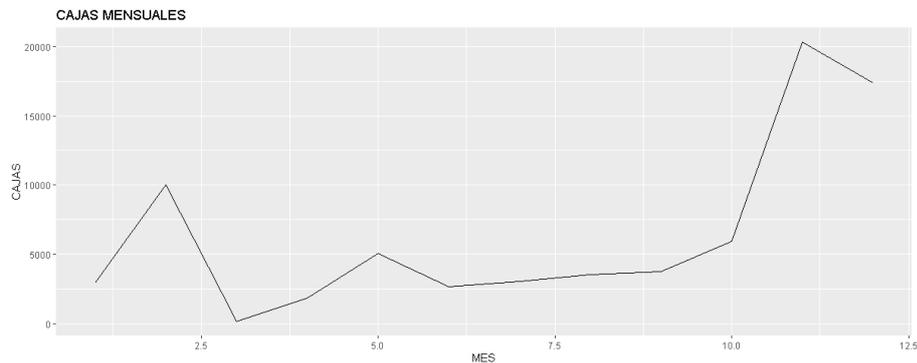


Figura 3.2 Serie de tiempo de SKU 8.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

Para el **SKU 8**, se obtuvo que la serie no es estacionaria, tal como se visualiza en la Figura 3.2, sin embargo, presenta tendencia creciente debido a los valores atípicos presentes en los últimos meses alcanzando las 20.000 cajas despachadas.

Para las demás referencias de la categoría A (Véase *Anexo 2: Series de tiempo por SKU*):

En la Figura 5.7, similar al SKU 1, el **SKU 2** no denota estacionalidad, a pesar de que si presenta una tendencia estacionaria. Tiene picos en sus despachos que no superan las 17.500 cajas. Para el **SKU 3** se muestra una pendiente positiva debido a un incremento en las ventas presentando una tendencia estacionaria, por consiguiente, no presenta estacionalidad, llegando a superar las 6.000 cajas despachadas, tal como se puede visualizar en la Figura 5.8. Por último, la serie de tiempo de la Figura 5.9, perteneciente al **SKU 4**, no presenta estacionalidad, no obstante, es visible una tendencia de estacionariedad.

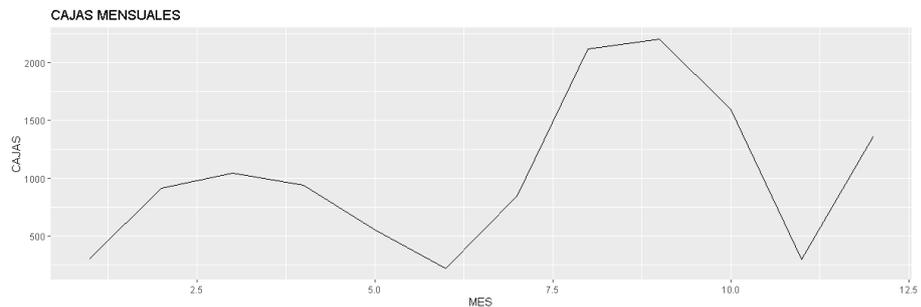


Figura 3.3 Serie de tiempo de SKU 5

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

En la Figura 3.3 Serie de tiempo de SKU 5 se puede observar un aumento brusco de los despachos del **SKU 5** aproximadamente en la mitad del horizonte de planeación, sobrepasando las 2.000 cajas. No presenta estacionalidad, ni un comportamiento estacionario, pero si denota que es explosiva.

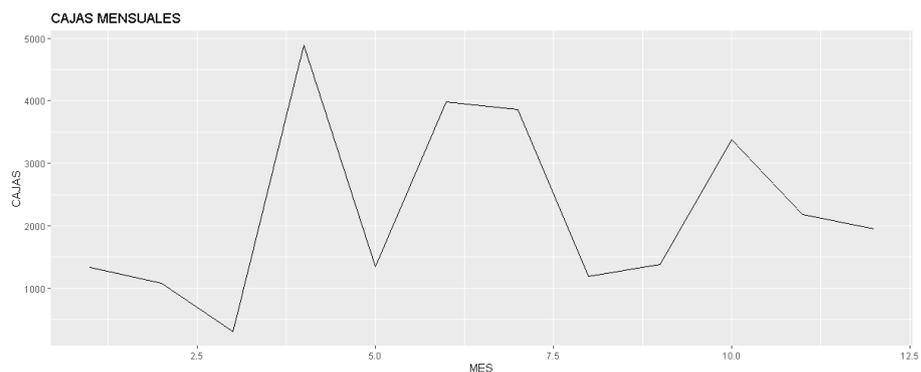


Figura 3.4 Serie de tiempo de SKU 6.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

Para el **SKU 6**, en la Figura 3.4, la serie de tiempo muestra una pequeña pendiente positiva, además de que tiene tendencia a ser estacionaria. La serie no es estacional y presenta aumentos en los despachos en determinados meses sin superar las 5.000 cajas vendidas.

Para las demás referencias de la categoría B (Véase *Anexo 2: Series de tiempo por SKU*):

En la Figura 5.10, el **SKU 7** no denota estacionalidad. Tiene picos en sus despachos que no superan las 17.500 cajas por el mes de julio aproximadamente lo que causa que no presente

estacionariedad, ni una tendencia a serlo. Para el **SKU 9** se muestra una pendiente positiva debido a un incremento en las ventas, por consiguiente, no presenta estacionalidad, pero si una pequeña tendencia a ser estacionaria, sin superar las 1.000 cajas despachadas, tal como se puede visualizar en la Figura 5.11. Por último, la serie de tiempo de la Figura 5.12, perteneciente al **SKU 10**, no presenta estacionalidad, además, es visible una pendiente positiva de los despachos. Con un alza de las ventas sin superar las 2.500 cajas.

Tabla 3.5 Pronósticos de despachos mensuales para SKUs analizados.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

Mes	SKU 1	SKU 2	SKU 3	SKU 4	SKU 5	SKU 6	SKU 7	SKU 8	SKU 9	SKU 10
ene	5.983	6.144	1.383	504	755	911	167	4.371	103	111
feb	5.043	5.418	1.038	362	484	1.165	180	3.509	129	118
may	5.004	5.108	1.213	473	744	1.119	117	7.427	80	68
abr	7.134	7.202	1.692	609	926	634	191	3.056	102	133
may	9.447	8.915	1.650	744	934	3.186	203	2.340	118	135
jun	8.420	7.705	1.026	518	707	2.081	164	3.975	111	330
jul	11.423	10.707	3.390	1.320	416	2.792	682	3.179	717	1.672
ago	12.968	9.443	4.367	2.148	677	2.540	833	3.086	924	2.206
sept	13.487	9.380	4.130	1.518	1.541	1.339	1.164	3.361	644	1.632
oct	12.586	10.510	3.847	822	1.937	808	1.081	3.612	338	1.908
nov	10.125	9.005	2.032	730	1.732	2.349	947	5.001	418	1.077
dic	7.993	7.280	1.626	711	873	2.246	533	14.198	214	675

Luego de analizar las series de tiempo de los SKUs se optó por aplicar el método de *suavizamiento exponencial simple*, el cual es generalmente utilizado en los negocios debido a su simplicidad y a que no requiere de muchos datos históricos. Además, y conforme al análisis anterior, es aplicable a series de tiempo que no tienen tendencia. En la Tabla 3.5 se muestra el resultado de los pronósticos obtenidos bajo la aplicación de dicho método a los diez SKUs, utilizando una constante de suavización de 0.6, dando mayor peso a los datos más recientes. Se

utilizó este valor como promedio de los valores que minimizaban los errores de pronósticos realizados.

3.3 Análisis de coeficiente de variación y elección de modelo de inventario

Aplicando la ecuación (1.5) del coeficiente de variación (Vidal, 2005), se obtuvieron los resultados de la Tabla 3.6, de donde se tiene que el mismo supera el 20% para todos los casos. De lo anterior se concluye que no resulta factible la aplicación de un modelo EOQ básico, lo que dio paso a la selección del algoritmo Wagner-Whitin, tal como se menciona en la sección 2.7.

Tabla 3.6 Cálculo del coeficiente para cada SKU analizado.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores

SKU	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
1	9.585,42	3.343,07	35%
2	8.223,25	2.397,32	29%
3	2.342,17	1.620,29	69%
4	888,25	709,37	80%
5	1.033,33	672,60	65%
6	1.925,08	1.382,27	72%
7	571,33	448,18	78%
8	6.386,83	6.335,23	99%
9	329,42	382,05	116%
10	913,92	962,23	105%

3.4 Análisis de resultados del modelo de inventario utilizando los despachos reales

Una vez aplicado el enfoque de programación lineal para resolver el algoritmo de Wagner-Whitin se utilizaron las referencias antes mencionadas para probar la efectividad de la política. Para ello se usó la información compartida de recepciones y despachos a fin de calcular los costos totales que tomó la planeación actual, en la cual las recepciones representarían las cantidades pedidas, y los despachos, la demanda del subperiodo.

Entre los parámetros que exige el modelo, se encuentran el costo de pedir, el precio de la caja de cierta referencia y el interés anual. El costo de pedir se estimó a partir de la ecuación (3.1), la cual representa un costo fijo, es decir, se mantiene para todas las referencias. Se debe recordar que el costo de pedido involucra una serie de costos administrativos requeridos para la emisión de un pedido. Para este caso particular se toma en cuenta el costo de mano de obra directa y los gastos básicos (internet, sistema, entre otros) involucrados en la generación de un pedido. El valor estimado fue de \$1.775,00.

El interés anual utilizado fue %16,06 y los precios unitarios varían de acuerdo con la referencia que se esté estudiando.

$$K = CHH[(PP * HP) + (PR * HR)] + GB \quad (3.1)$$

Donde:

CHH: Costo por hora por operador.

PP: Personas requeridas para hacer un pedido.

HP: Tiempo para realizar un pedido.

PR: Personas requeridas para receptar un pedido.

HR: Horas de recepción.

GB: Gastos básicos.

Uno de los supuestos de que asume el algoritmo de Wagner-Whitin es que la demanda es conocida. Al utilizar los despachos reales como demanda por subperiodo, se sobreentiende que existirá una mejora si se lo compara con la política actual. Esto sucede debido a que el objetivo del algoritmo es encontrar una solución óptima.

Para el **SKU 1** se deben realizar 8 pedidos al año, tal como se muestra en la Tabla 3.8. Al realizar los pedidos de acuerdo con la planificación dada se incurre en un costo total de

\$18.801,72. Contrastando dicho valor con el costo total alcanzado en la política de pedido actual (Tabla 3.7), se logró una mejora de 28%, manteniendo un ahorro de \$7.140.

Tabla 3.7 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 1.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	1.509	5.525	3.861	3.917	6.421	1.310	13	1.242	130	1.547	1.589	
Recepciones	5.925	8.994	6.889	11.045	10.238	8.313	12.701	15.061	10.872	9.900	6.613	12.938	119.489
Despachos	4.416	4.978	8.553	10.989	7.734	13.424	13.998	13.832	11.984	8.483	6.571	10.063	115.025
Inventario final	1.509	5.525	3.861	3.917	6.421	1.310	13	1.242	130	1.547	1.589	4.464	31.528
Total costo replaneación													\$21.300,03
Total Costo de mantenimiento													\$ 4.641,45
Costos totales													\$25.941,48

Tabla 3.8 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 1.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	4.978	-	-	7.734	-	-	-	-	8.483	-	10.063	
Replaneación	9.394		8.553	18.723		13.424	13.998	13.832	20.467		16.634		115.025
Demanda	4.416	4.978	8.553	10.989	7.734	13.424	13.998	13.832	11.984	8.483	6.571	10.063	115.025
Inventario final	4.978	-	-	7.734	-	-	-	-	8.483	-	10.063	-	31.258
Total costo replaneación													\$14.200,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 4.601,70
Costos totales													\$18.801,72

Para el **SKU 8** se obtuvo un costo total de \$7.884,92, realizando 3 pedidos durante el año, tal como se muestra en la Tabla 3.10. También existe una mejora del 44% con un ahorro de \$6.196, donde a pesar de que el costo de mantenimiento aumentó, el costo de replaneación disminuyó un 43% debido a la reducción de pedidos al año.

Tabla 3.9 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 8.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	10.104	66	3.965	8.153	3.088	440	5.368	1.824	2.244	7.452	18.259	
Recepciones	13.038		4.040	6.050			7.952		4.199	11.134	31.136		77.549
Despachos	2.934	10.038	141	1.862	5.065	2.648	3.024	3.544	3.779	5.926	20.329	17.352	76.642
Inventario final	10.104	66	3.965	8.153	3.088	440	5.368	1.824	2.244	7.452	18.259	907	61.870
Total costo replaneación													\$12.425,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 1.656,05
Costos totales													\$14.081,07

Tabla 3.10 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 8.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	19.754	9.716	9.575	7.713	2.648	-	13.249	9.705	5.926	-	17.352	
Replaneación	22.688						16.273				37.681		76.642
Demanda	2.934	10.038	141	1.862	5.065	2.648	3.024	3.544	3.779	5.926	20.329	17.352	76.642
Inventario final	19.754	9.716	9.575	7.713	2.648	-	13.249	9.705	5.926	-	17.352	-	95.638
Total costo replaneación													\$ 5.325,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 2.559,91
Costos totales													\$ 7.884,92

Para el **SKU 5** se obtiene una mejora de 43% manteniendo un ahorro de \$5.376. La política propuesta planifica 2 pedidos en el año (Tabla 3.12), incidiendo en un costo total de \$7.027,40, donde de forma similar al SKU 8, la reducción se debe a que disminuyen los costos de pedir debido a la reducción de pedidos en el horizonte de planeación.

Tabla 3.11 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 5.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	2.408	1.492	2.459	1.521	966	745	5.328	3.212	1.011	2.482	2.183	
Recepciones	2.710		2.013				5.434			3.065		1.734	14.956
Despachos	302	916	1.046	938	555	221	851	2.116	2.201	1.594	299	1.361	12.400
Inventario final	2.408	1.492	2.459	1.521	966	745	5.328	3.212	1.011	2.482	2.183	2.556	26.363
Total costo replaneación													\$ 8.875,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 3.528,25
Costos totales													\$12.403,26

Tabla 3.12 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 5.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	4.527	3.611	2.565	1.627	1.072	851	-	5.455	3.254	1.660	1.361	
Replaneación	4.829							7.571					12.400
Demanda	302	916	1.046	938	555	221	851	2.116	2.201	1.594	299	1.361	12.400
Inventario final	4.527	3.611	2.565	1.627	1.072	851	-	5.455	3.254	1.660	1.361	-	25.983
Total costo replaneación													\$ 3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 3.477,39
Costos totales													\$ 7.027,40

En la Tabla 3.14 se observa que se planificó cuatro pedidos en el año para el **SKU 6**. El costo total para la política óptima es de \$9.154,42. De manera similar a los anteriores, se logra una mejora de 56% con un ahorro de \$11.617.

Tabla 3.13 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 6.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	2.035	947	2.353	6.121	5.763	2.498	959	421	3.467	2.742	2.338	
Recepciones	3.368		1.716	8.654	986		833		3.500	2.651	1.773	2.556	26.037
Despachos	1.333	1.088	310	4.886	1.344	3.265	2.372	538	454	3.376	2.177	1.958	23.101
Inventario final	2.035	947	2.353	6.121	5.763	2.498	959	421	3.467	2.742	2.338	2.936	32.580
Total costo replaneación													\$15.975,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 4.796,32
Costos totales													\$20.771,34

Tabla 3.14 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 6.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	1.398	310	-	1.344	-	3.364	992	454	-	4.135	1.958	
Replaneación	2.731			6.230		6.629				7.511			23.101
Demanda	1.333	1.088	310	4.886	1.344	3.265	2.372	538	454	3.376	2.177	1.958	23.101
Inventario final	1.398	310	-	1.344	-	3.364	992	454	-	4.135	1.958	-	13.955
Total costo replaneación													\$ 7.100,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 2.054,41
Costos totales													\$ 9.154,42

El análisis respectivo para las referencias restantes se realizó de manera similar (Véase *Anexo 3: Planificación de pedidos por SKU usando los despachos reales*). La Tabla 3.15 detalla los costos de replaneación, mantenimiento y costos totales de las políticas actuales y propuestas para cada SKU analizado. Para todos los casos, estos costos presentan una reducción tras aplicar el modelo propuesto a cada uno de los SKU, así como en la reducción de costos totales generales, el cual tiene su causa en la disminución de pedidos, y, por lo tanto, en sus costos.

Tabla 3.15 Desglose de costos de la política de pedido actual y la política de inventario propuesta para cada SKU analizado usando despachos reales.

Elaborado por autores.

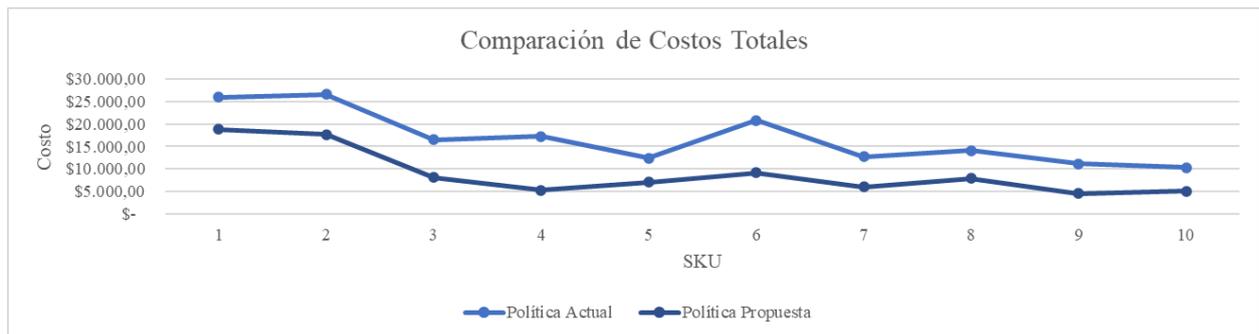
SKU	Política Actual			Política Propuesta		
	Costo de replaneación	Costo de mantenimiento	Costo total	Costo de replaneación	Costo de mantenimiento	Costo total
1	\$ 21.300,03	\$ 4.641,45	\$ 25.941,48	\$ 14.200,02	\$ 4.601,70	\$18.801,72
2	\$ 19.525,03	\$ 7.146,49	\$ 26.671,51	\$ 12.425,02	\$ 5.248,86	\$17.673,88
3	\$ 14.200,02	\$ 2.265,74	\$ 16.465,76	\$ 5.325,01	\$ 2.793,96	\$ 8.118,97
4	\$ 15.975,02	\$ 1.310,34	\$ 17.285,36	\$ 3.550,01	\$ 1.725,65	\$ 5.275,65
5	\$ 8.875,01	\$ 3.528,25	\$ 12.403,26	\$ 3.550,01	\$ 3.477,39	\$ 7.027,40
6	\$ 15.975,02	\$ 4.796,32	\$ 20.771,34	\$ 7.100,01	\$ 2.054,41	\$ 9.154,42
7	\$ 10.650,02	\$ 2.109,03	\$ 12.759,04	\$ 3.550,01	\$ 2.410,23	\$ 5.960,24
8	\$ 12.425,02	\$ 1.656,05	\$ 14.081,07	\$ 5.325,01	\$ 2.559,91	\$ 7.884,92
9	\$ 8.875,01	\$ 2.256,83	\$ 11.131,84	\$ 3.550,01	\$ 925,70	\$ 4.475,70
10	\$ 8.875,01	\$ 1.370,85	\$ 10.245,87	\$ 3.550,01	\$ 1.468,49	\$ 5.018,49
Total	\$ 136.675,19	\$ 31.081,35	\$167.756,54	\$ 62.125,09	\$ 27.266,29	\$89.391,38

En la Tabla 3.16 se muestra el ahorro que se obtuvo cuando se aplicó el algoritmo. En promedio se obtuvo un ahorro de \$7.572,96, no obstante, en general se tiene un ahorro total de \$75.729,56, representado como el 47% de mejora. Para verificar visualmente dicha mejora, en la Figura 3.5 se muestra un diagrama de líneas donde como el promedio de mejora se comporta casi igual para todos los SKUs, éste se grafica como una línea ubicada en la parte inferior de los costos de la política actual.

Tabla 3.16 Ahorro y porcentaje de mejora por SKU usando despachos reales.

Elaborado por autores.

SKU	AHORRO	% MEJORA
1	\$ 7.139,76	28%
2	\$ 8.997,63	34%
3	\$ 8.346,80	51%
4	\$ 12.009,71	69%
5	\$ 5.375,86	43%
6	\$ 11.616,92	56%
7	\$ 6.798,80	53%
8	\$ 6.196,15	44%
9	\$ 6.656,14	60%
10	\$ 5.227,38	51%
TOTAL	\$ 78.365,16	47%



**Figura 3.5 Diagrama de líneas para comparación de costos totales usando despachos reales.
Elaborado por autores.**

3.5 Análisis de resultados del modelo de inventario utilizando pronósticos

Un desafío del modelo propuesto es seguir siendo eficiente aun cuando la demanda no es conocida y debe ser pronosticada. Por ello, en esta sección se analizó la planificación de los SKUs utilizando los pronósticos obtenidos previamente, y probando si la replaneación propuesta podría satisfacer la demanda real. Para ello se ha utilizado la demanda pronosticada del método de pronóstico seleccionado (Véase Tabla 3.5) para obtener una política de inventario.

La Tabla 3.17 muestra que para el **SKU 1**, con una demanda pronosticada, se debe realizar 8 pedidos con un costo total \$18.408,94. Suponiendo que una vez pronosticado dicho pedido, los despachos se realizan como en la Tabla 3.18, los costos aumentan en un 11%, es decir, que no muestra una mejora. Aunque en total se tiene suficiente stock para satisfacer la demanda global, por subperiodos no funciona igual, donde o tiene sobrantes o no logra satisfacer la demanda real. Para el primer caso, es lo que provoca que los costos aumenten, dado que mantiene más unidades en bodega, aumentando el costo de mantenimiento global.

Tabla 3.17 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 1.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	5.043	-	7.134	-	8.420	-	-	-	-	-	7.993	
Replaneación	11.026		12.138		17.867		11.423	12.968	13.487	12.585	18.117		109.611
Demanda	5.983	5.043	5.004	7.134	9.447	8.420	11.423	12.968	13.487	12.585	10.124	7.993	109.611
Inventario final	5.043	-	7.134	-	8.420	-	-	-	-	-	7.993	-	28.590
Total costo replaneación													\$14.200,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 4.208,92
Costos totales													\$18.408,94

Tabla 3.18 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 1.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	6.610	1.632	5.217	-	10.133	-	-	-	1.503	5.605	17.151	
Replaneación	11.026		12.138		17.867		11.423	12.968	13.487	12.585	18.117		109.611
Demanda	4.416	4.978	8.553	10.989	7.734	13.424	13.998	13.832	11.984	8.483	6.571	10.063	115.025
Inventario final	6.610	1.632	5.217	-5.772	10.133	-3.291	-2.575	-864	1.503	5.605	17.151	7.088	42.437
Total costo replaneación													\$14.200,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 6.247,43
Costos totales													\$20.447,45

La Tabla 3.19 muestra que para el **SKU 8**, con una demanda pronosticada, se debe realizar 3 pedidos con un costo total \$7.599,40. Suponiendo que una vez pronosticado dicho pedido, los despachos se realizan como en la Tabla 3.20, los costos disminuyen en \$643,58 generando un ahorro de 8%. Aunque en contraste generan disminución de costos, la planeación no es eficiente debido a que los últimos meses no se está despachando por falta de stock.

Tabla 3.19 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 8.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	16.332	12.823	5.396	2.340	-	13.238	10.059	6.973	3.612	-	14.198	
Replaneación	20.703					17.213					19.199		57.115
Demanda	4371	3509	7427	3056	2340	3975	3179	3086	3361	3612	5001	14198	57.115
Inventario final	16.332	12.823	5.396	2.340	-	13.238	10.059	6.973	3.612	-	14.198	-	84.971
Total costo replaneación													\$5.325,01
Total Costo de mantenimiento													\$2.274,39
Costos totales													\$7.599,40

Tabla 3.20 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 8.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	17.769	7.731	7.590	5.728	663	15.228	12.204	8.660	4.881	-	-	
Replaneación	20.703					17.213					19.199		57.115
Demanda	2.934	10.038	141	1.862	5.065	2.648	3.024	3.544	3.779	5.926	20.329	17.352	76.642
Inventario final	17.769	7.731	7.590	5.728	663	15.228	12.204	8.660	4.881	-1.045	-1.130	-17.352	60.927
Total costo replaneación													\$5.325,01
Total Costo de mantenimiento													\$1.630,81
Costos totales													\$6.955,82

La planificación para el **SKU 5**, de acuerdo con los pronósticos obtenidos, se muestra en la Tabla 3.21. Esta da como resultado realizar 2 pedidos en el año, dando como total un costo de \$8.014,55 para dicha planificación. Realizando la comparación respectiva disminuyen los costos en \$675,59, lo cual representa un ahorro del 8% pero el nivel de servicio se ve reducido, ya que en el último mes la demanda no se cumple totalmente.

Tabla 3.21 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 5.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	4.888	4.404	3.660	2.734	1.800	1.093	677	6.083	4.542	2.605	873	
Replaneación	5.643							6.083					11.726
Demanda	755	484	744	926	934	707	416	677	1541	1937	1732	873	11.726
Inventario final	4.888	4.404	3.660	2.734	1.800	1.093	677	6.083	4.542	2.605	873	-	33.359
Total costo replaneación													\$3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$4.464,55
Costos totales													\$8.014,55

Tabla 3.22 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 5.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	5.341	4.425	3.379	2.441	1.886	1.665	814	4.781	2.580	986	687	
Replaneación	5.643							6.083					11.726
Demanda	302	916	1.046	938	555	221	851	2.116	2.201	1.594	299	1.361	12.400
Inventario final	5.341	4.425	3.379	2.441	1.886	1.665	814	4.781	2.580	986	687	-674	28.311
Total costo replaneación													\$3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$3.788,96
Costos totales													\$7.338,96

Utilizando el pronóstico para el **SKU 6** el número de pedidos obtenidos son 4 con un costo total de \$9.643,03, tal como se muestra en la Tabla 3.23. De manera global, la demanda se satisface, pero en el mes 4 no será cumplida provocando un bajo nivel de servicio. Este modelo tampoco genera mejora, aumentando los costos en 17% con \$1.671,65. Como en los casos anteriores, el aumento se debe a los costos por mantener unidades en bodega hasta que logren ser despachadas. Incluso hasta finalizar el horizonte de planeación se mantienen sobrantes de meses anteriores, que incluso si se hubiera realizado alguno de los pedidos un subperiodo antes no hubiese logrado satisfacer la demanda real.

Tabla 3.23 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 6.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	2.918	1.753	634	-	2.081	-	4.687	2.147	808	-	2.246	
Replaneación	3.829				5.267		7.479				4.595		21.170
Demanda	911	1165	1119	634	3186	2081	2792	2540	1339	808	2349	2246	21.170
Inventario final	2.918	1.753	634	-	2.081	-	4.687	2.147	808	-	2.246	-	17.274
Total costo replaneación													\$ 7.100,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 2.543,02
Costos totales													\$ 9.643,03

Tabla 3.24 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 6.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	2.496	1.408	1.098	-	3.923	658	5.765	5.227	4.773	1.397	3.815	
Replaneación	3.829				5.267		7.479				4.595		21.170
Demanda	1.333	1.088	310	4.886	1.344	3.265	2.372	538	454	3.376	2.177	1.958	23.101
Inventario final	2.496	1.408	1.098	-3.788	3.923	658	5.765	5.227	4.773	1.397	3.815	1.857	28.629
Total costo replaneación													\$ 7.100,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 4.214,67
Costos totales													\$11.314,68

De manera similar los demás SKU muestran el comportamiento que se obtuvo del SKU 6 en donde uno o más meses no se cumple con la demanda (Véase *Anexo 4: Planificación de pedidos por SKU usando los pronóstico*). La Tabla 3.25 se detallan los costos de replaneación, mantenimiento y costos totales de las políticas propuestas para cada SKU analizado. Para la mayoría de los casos los costos aumentan.

Tabla 3.25 Desglose de costos de la política de inventario propuesta con demanda pronosticada para cada SKU analizado versus despachos reales.

Elaborado por autores.

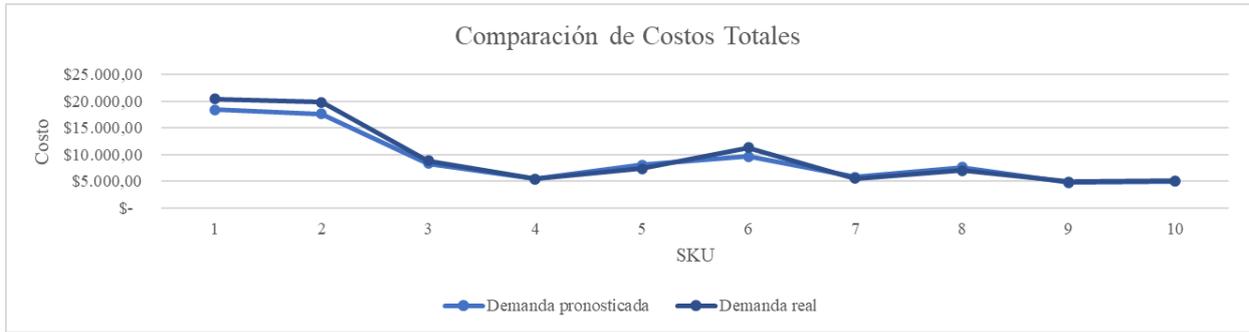
SKU	Demanda pronosticada			Demanda real		
	Costo de replaneación	Costo de mantenimiento	Costo total	Costo de replaneación	Costo de mantenimiento	Costo total
1	\$ 14.200,02	\$ 4.208,92	\$ 18.408,94	\$ 14.200,02	\$ 6.247,43	\$ 20.447,45
2	\$ 10.650,02	\$ 7.001,33	\$ 17.651,35	\$ 10.650,02	\$ 9.141,12	\$ 19.791,14
3	\$ 5.325,01	\$ 3.005,31	\$ 8.330,32	\$ 5.325,01	\$ 3.511,76	\$ 8.836,77
4	\$ 3.550,01	\$ 1.832,93	\$ 5.382,93	\$ 3.550,01	\$ 1.884,24	\$ 5.434,24
5	\$ 3.550,01	\$ 4.464,55	\$ 8.014,55	\$ 3.550,01	\$ 3.788,96	\$ 7.338,96
6	\$ 7.100,01	\$ 2.543,02	\$ 9.643,03	\$ 7.100,01	\$ 4.214,67	\$ 11.314,68
7	\$ 3.550,01	\$ 2.209,72	\$ 5.759,73	\$ 3.550,01	\$ 1.923,24	\$ 5.473,24
8	\$ 5.325,01	\$ 2.274,39	\$ 7.599,40	\$ 5.325,01	\$ 1.630,81	\$ 6.955,82
9	\$ 3.550,01	\$ 1.117,37	\$ 4.667,38	\$ 3.550,01	\$ 1.364,11	\$ 4.914,11
10	\$ 3.550,01	\$ 1.453,43	\$ 5.003,44	\$ 3.550,01	\$ 1.466,88	\$ 5.016,89
TOTAL	\$ 60.350,09	\$ 30.110,97	\$ 90.461,06	\$ 60.350,09	\$ 35.173,22	\$ 95.523,31

Tabla 3.26 Ahorro y porcentaje de mejora por SKU usando despachos reales.

Elaborado por autores.

SKU	AHORRO	% MEJORA
1	\$ -2.038,51	-11%
2	\$ -2.139,79	-12%
3	\$ -506,45	-6%
4	\$ -51,31	-1%
5	\$ 675,59	8%
6	\$ -1.671,65	-17%
7	\$ 286,48	5%
8	\$ 643,58	8%
9	\$ -246,74	-5%
10	\$ -13,45	0%
TOTAL	\$ -5.062,25	-6%

Lo anterior se refleja en la Tabla 3.26, donde se muestra el ahorro que se obtuvo cuando se aplicó el algoritmo. En promedio se obtuvo que los costos aumentaron en \$5.062,25, equivalente a una desmejora del 6%. Para verificar visualmente lo mencionado, en la Figura 3.6 se muestra un diagrama de líneas donde se muestra que para la mayoría de SKUs el costo total se mantiene cerca del pronosticado.



**Figura 3.6 Diagrama de líneas para comparación de costos totales usando despachos pronosticados.
Elaborado por autores.**

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Discusión de resultados

Aunque las mejoras presentadas en la implementación del modelo usando demandas conocidas prometieron una reducción importante en los costos totales, usando una demanda pronosticada ocurrió lo contrario. No obstante, esta desmejora no se debe a fallas en el modelo, sino, a que, en general, los pronósticos siempre difieren de la demanda real.

En el caso particular de la data histórica proporcionada, la falta de información contribuyó a la elaboración de un modelo de pronóstico usando Suavizamiento Exponencial Simple. A pesar de que este no constituye uno de los modelos más robustos y complejos existentes, las ventajas sobre el volumen de datos requerido, su facilidad de uso, además de la ausencia de tendencia en las series de tiempo, y el menor error medio absoluto porcentual (MAPE) entre otros modelos, lo posicionaron como la mejor alternativa a seleccionarse.

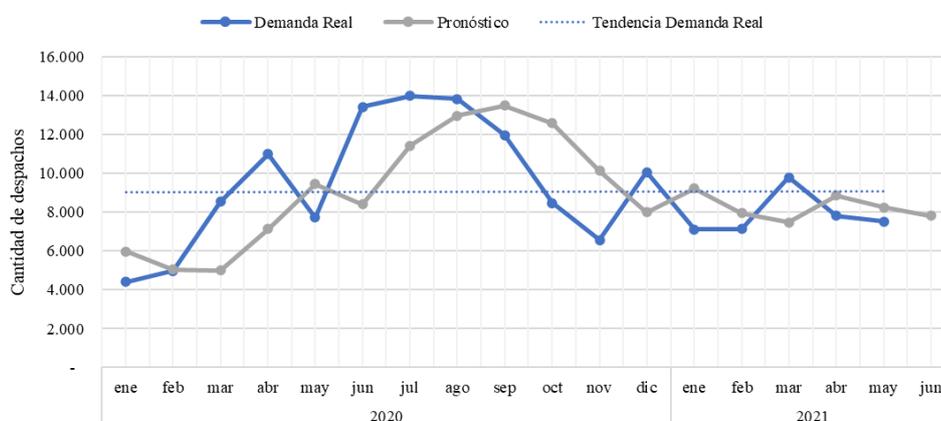


Figura 4.1 Demanda pronosticada usando el método de suavización exponencial para el SKU 1.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

Tal como se muestra en la Figura 4.1, utilizando los despachos de 2020 se realizó un pronóstico que luego fue comprobado con los datos del siguiente año (hasta mayo 2021). Para el SKU 1 presentado se obtuvo un MAPE de 18% frente a lo pronosticado para 2021, donde la proyección para junio fue de 7.817 cajas. Comparando la Tabla 3.17 y la Tabla 3.18, correspondiente a los resultados obtenidos del SKU 1 de la aplicación de la política con el pronóstico de demanda y la simulación, respectivamente, se evidencia un incremento en los costos de almacenamiento. Esto se debe a que la demanda real sobrepasa esta última, provocando que existan faltantes en cuatro subperiodos.

Regularmente, las causas que provocan desabastecimiento en bodega engloban a aumentos de la demanda o del índice de rotación de un producto, y retrasos en la entrega de parte de los proveedores. Dado que para todas las referencias se observaron faltantes en las simulaciones, determinar un stock de seguridad (en sus siglas como *ss*) permitirá cubrir los imprevistos que provoquen dichos quiebre de inventario.

De acuerdo con Chopra y Meindl (2013), el stock de seguridad se puede calcular como la ecuación (4.1). Para ello se debe conocer el tiempo de entrega L no nulo que existe entre la colocación y la recepción de un pedido, conocido como *Lead Time*, la demanda promedio por subperiodo D , así como el punto de reorden ROP . El ROP se puede definir como un límite en el nivel de inventario de un producto que indica la necesidad de ordenar nuevamente a razón de lograr aprovisionarse al inicio del siguiente subperiodo. Es decir, existe una relación con el LT que se explora en la ecuación (4.4).

$$ss = ROP - (D * L) \quad (4.1)$$

Dado que para la elaboración del proyecto no se contó con información referente a los Lead Times de proveedores, no se tomó en cuenta en las planificaciones. No obstante, su cálculo es posible siguiendo la ecuación (4.3 para determinar el *lead time efectivo*, donde para T se debe

dividir la cantidad a pedir q^* (determinada por el algoritmo de Wagner-Whitin) para la demanda promedio del subperiodo D .

$$T = \frac{q^*}{D} \quad (4.2)$$

$$L_e = \left\lceil \frac{L}{T} \right\rceil T \quad (4.3)$$

$$ROP = L_e D \quad (4.4)$$

Adicionalmente, dado que este proceso se debería hacer para cada referencia, también es posible determinar un Lead Time global, utilizando la política de pedido “*Power of Two*”. El objetivo de este modelo es minimizar los costos de recibir en diferentes días pedidos para el mismo subperiodo. Para ello se trata de sincronizar recepciones y determinar un tiempo t como una potencia de dos (Winston, 2004).

4.2 Conclusiones

- El modelo de inventario aplicado a los SKU es factible y muy preciso para obtener una planificación de reabastecimiento para los productos categoría A y B de la empresa comercializadora. Siempre y cuando se obtenga una demanda conocida, aunque esta sea variable, se obtiene una mejora en contraste con la política de pedido actual, reduciendo los costos de almacenamiento y reabastecimiento.
- Determinar el mejor modelo de pronóstico para estimar la demanda futura conlleva que se cuente con una considerable cantidad de datos históricos, para de esta manera obtener una mayor precisión en lo que se pronostique. Para los datos históricos utilizados, las planeaciones que usaron los pronósticos calculados a

partir del modelo de suavizamiento exponencial simple fueron correctos, pero no precisos con la optimalidad del sistema de loteo.

- Se evidenció que los costos totales reales se pueden reducir significativamente al aplicar un algoritmo para modelos de inventario, debido a que ella equilibra los costos de mantenimiento de inventario y los costos de pedido.

4.3 Recomendaciones

- Existen varios criterios que se pueden utilizar para realizar una clasificación de los productos, y la utilización de estos dependerá de las necesidades de información de cada empresa. Aunque para el presente trabajo se utilizó al índice de rotación como indicador de análisis, otros criterios relevantes que se puede usar son el ROI y GMROI. Estos criterios proveen información más conveniente en sentido de que provee una clasificación en función a la rentabilidad generada. Esto puede ser usado a favor de la empresa para mejorar sus ingresos.
- Para obtener un mejor pronóstico se puede utilizar modelos estacionarios como ARMA o ARIMA, Regresión lineal u otros, los cuales son más robustos en cuanto a su precisión. No obstante, para ello se debe contar con gran cantidad de datos históricos que permitan aplicarlo. Es recomendable recolectar más datos para poder obtener un buen pronóstico, de esta forma garantizar un mejor resultado.
- Cuando la demanda se pronostica siempre puede existir la posibilidad de tener faltantes debido al error de pronóstico. Como dentro de los supuestos se establece que no existe un costo por faltantes, si incide en ello debería ser reportado y agregado como un sumando en los costos totales.

- Un tema importante en la planificación de pedidos es considerar los tiempos de entrega de los productos. Una vez conocida esta información será posible determinar el punto de reorden de los SKUs que a su vez ayudará a la gestión de las recepciones y a disminuir los imprevistos que podrían generar faltantes.
- Para los SKUs de categoría C, tras analizar el comportamiento de las salidas se notó que estos productos son despachados pocas veces en el año. Es por ello por lo que, se sugiere que se use un modelo de revisión periódica de forma trimestral.

5. ANEXOS

5.1 Anexo 1: Análisis de los despachos por SKU

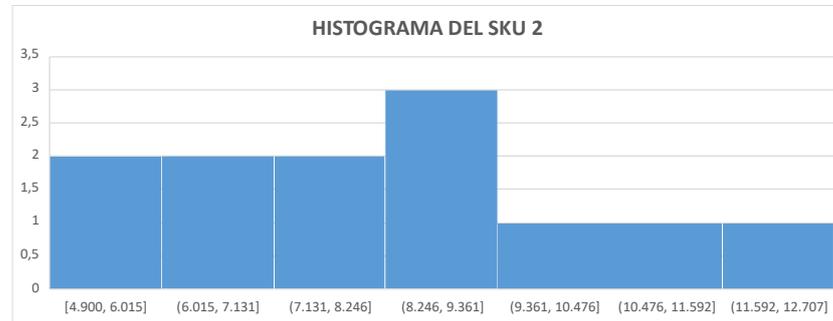


Figura 5.1 Histograma del SKU 2.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

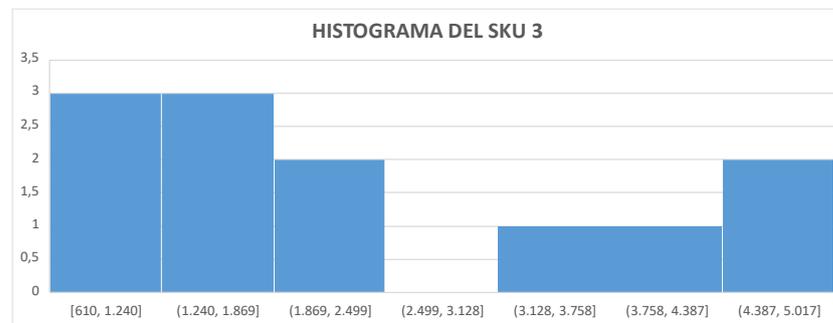


Figura 5.2 Histograma del SKU 3.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

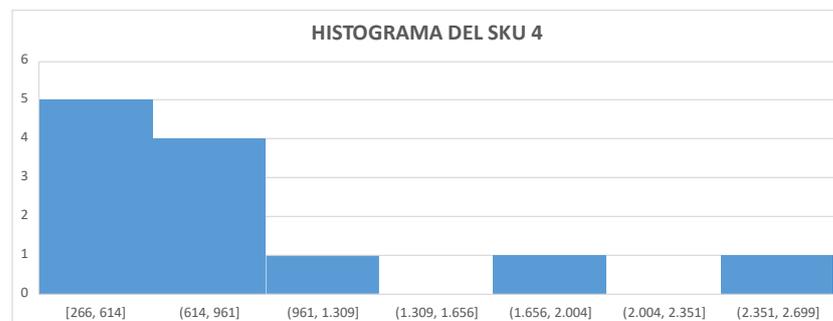


Figura 5.3 Histograma del SKU 4.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

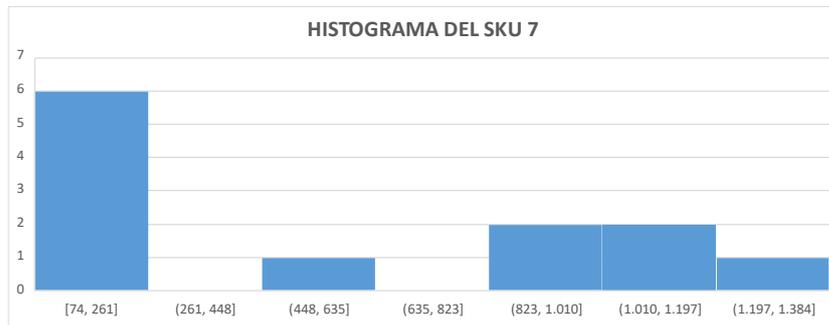


Figura 5.4 Histograma del SKU 7.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

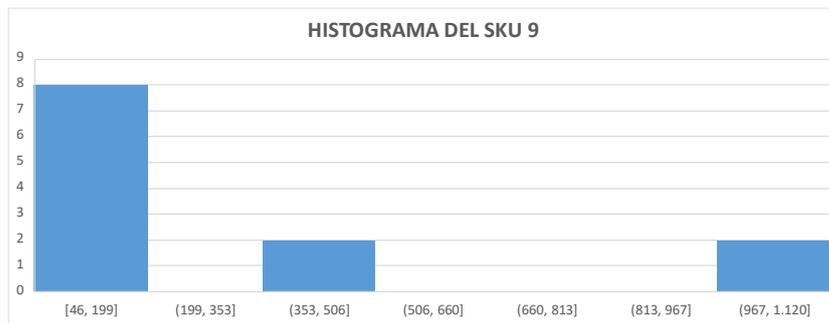


Figura 5.5 Histograma del SKU 9.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

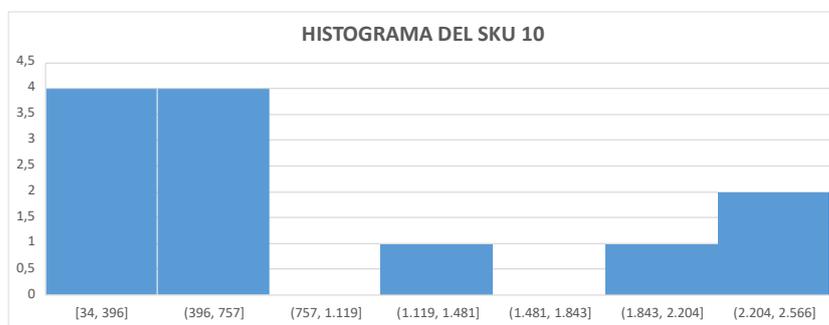


Figura 5.6 Histograma del SKU 10.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

5.2 Anexo 2: Series de tiempo por SKU

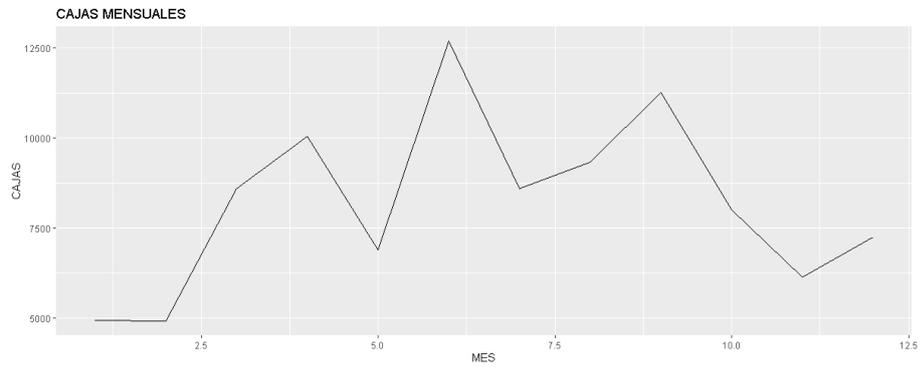


Figura 5.7 Serie de tiempo de SKU 2.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

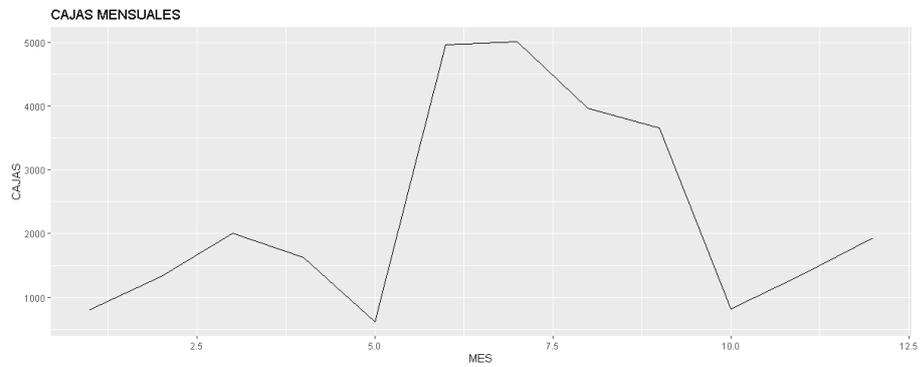


Figura 5.8 Serie de tiempo de SKU 3.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

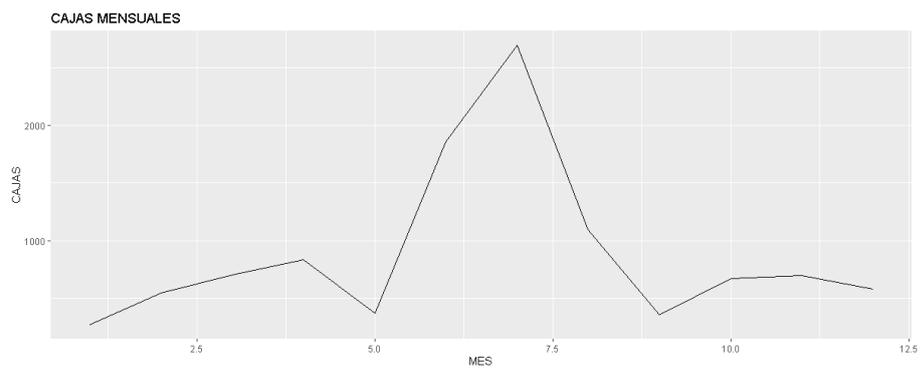


Figura 5.9 Serie de tiempo de SKU 4.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

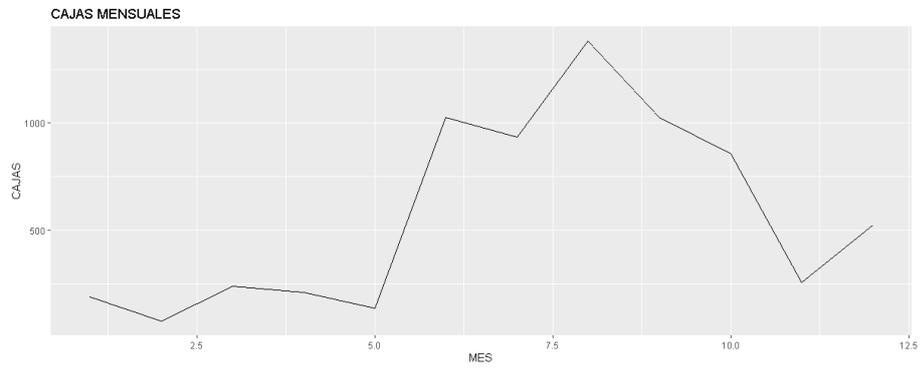


Figura 5.10 Serie de tiempo de SKU 7.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

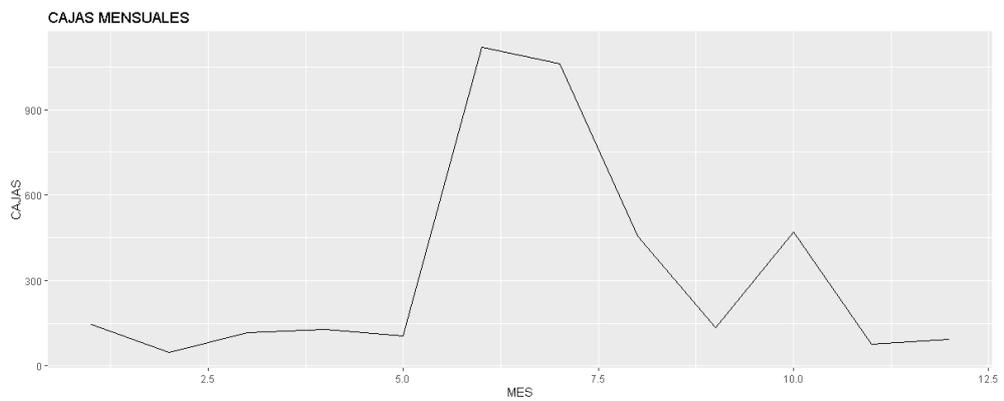


Figura 5.11 Serie de tiempo de SKU 9.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

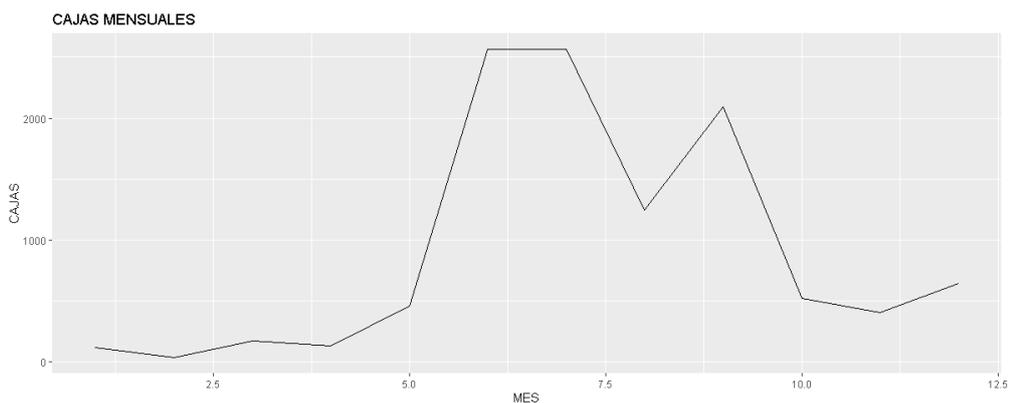


Figura 5.12 Serie de tiempo de SKU 10.

Fuente: Datos históricos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

5.3 Anexo 3: Planificación de pedidos por SKU usando los despachos reales

Tabla 5.1 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 2.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	2.371	1.392	90	1.247	4.455	1.183	89	9.984	3.820	7.280	1.151	
Recepciones	7.305	3.921	7.296	11.214	10.105	9.435	7.506	19.233	5.098	11.461		21.587	114.161
Despachos	4.934	4.900	8.598	10.057	6.897	12.707	8.600	9.338	11.262	8.001	6.129	7.256	98.679
Inventario final	2.371	1.392	90	1.247	4.455	1.183	89	9.984	3.820	7.280	1.151	15.482	48.544
Total costo replaneación													\$19.525,03
Total Costo de mantenimiento													\$ 7.146,49
Costos totales													\$26.671,51

Tabla 5.2 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 2.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	4.900	-	-	6.897	-	8.600	-	-	8.001	-	7.256	
Replaneación	9.834		8.598	16.954		21.307		9.338	19.263		13.385		98.679
Demanda	4.934	4.900	8.598	10.057	6.897	12.707	8.600	9.338	11.262	8.001	6.129	7.256	98.679
Inventario final	4.900	-	-	6.897	-	8.600	-	-	8.001	-	7.256	-	35.654
Total costo replaneación													\$12.425,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 5.248,86
Costos totales													\$17.673,88

Tabla 5.3 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 3.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	1.772	443	2.104	3.083	5.790	825	5.208	1.236	619	2.538	1.184	
Recepciones	2.580		3.672	2.600	3.317		9.400		3.040	2.741		4.170	31.520
Despachos	808	1.329	2.011	1.621	610	4.965	5.017	3.972	3.657	822	1.354	1.940	28.106
Inventario final	1.772	443	2.104	3.083	5.790	825	5.208	1.236	619	2.538	1.184	3.414	28.216
Total costo replaneación													\$14.200,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 2.265,74
Costos totales													\$16.465,76

Tabla 5.4 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 3.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	5.571	4.242	2.231	610	-	5.017	-	7.773	4.116	3.294	1.940	
Replaneación	6.379					9.982		11.745					28.106
Demanda	808	1.329	2.011	1.621	610	4.965	5.017	3.972	3.657	822	1.354	1.940	28.106
Inventario final	5.571	4.242	2.231	610	-	5.017	-	7.773	4.116	3.294	1.940	-	34.794
Total costo replaneación													\$ 5.325,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 2.793,96
Costos totales													\$ 8.118,97

Tabla 5.5 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 4.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	1.174	628	762	1.554	3.657	1.803	1.729	632	627	1.210	950	
Recepciones	1.440		833	1.625	2.469		2.625		352	1.251	437	1.219	12.251
Despachos	266	546	699	833	366	1.854	2.699	1.097	357	668	697	577	10.659
Inventario final	1.174	628	762	1.554	3.657	1.803	1.729	632	627	1.210	950	1.592	16.318
Total costo replaneación													\$15.975,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 1.310,34
Costos totales													\$17.285,36

Tabla 5.6 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 4.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	2.444	1.898	1.199	366	-	6.095	3.396	2.299	1.942	1.274	577	
Replaneación	2.710					7.949							10.659
Demanda	266	546	699	833	366	1.854	2.699	1.097	357	668	697	577	10.659
Inventario final	2.444	1.898	1.199	366	-	6.095	3.396	2.299	1.942	1.274	577	-	21.490
Total costo replaneación													\$ 3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 1.725,65
Costos totales													\$ 5.275,65

Tabla 5.7 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 7.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	869	795	2.106	1.895	1.758	2.351	1.418	34	596	768	511	
Recepciones	1.057		1.550			1.619			1.587	1.029		1.239	8.081
Despachos	188	74	239	211	137	1.026	933	1.384	1.025	857	257	525	6.856
Inventario final	869	795	2.106	1.895	1.758	2.351	1.418	34	596	768	511	1.225	14.326
Total costo replaneación													\$10.650,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 2.109,03
Costos totales													\$12.759,04

Tabla 5.8 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 7.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	661	587	348	137	-	4.981	4.048	2.664	1.639	782	525	
Replaneación	849					6.007							6.856
Demanda	188	74	239	211	137	1.026	933	1.384	1.025	857	257	525	6.856
Inventario final	661	587	348	137	-	4.981	4.048	2.664	1.639	782	525	-	16.372
Total costo replaneación													\$ 3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 2.410,23
Costos totales													\$ 5.960,24

Tabla 5.9 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 9.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	1.005	959	1.961	1.833	1.727	1.726	664	208	1.596	1.126	1.049	
Recepciones	1.150		1.118			1.119			1.521			521	5.429
Despachos	145	46	116	128	106	1.120	1.062	456	133	470	77	94	3.953
Inventario final	1.005	959	1.961	1.833	1.727	1.726	664	208	1.596	1.126	1.049	1.476	15.330
Total costo replaneación													\$ 8.875,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 2.256,83
Costos totales													\$11.131,84

Tabla 5.10 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 9.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	396	350	234	106	-	2.292	1.230	774	641	171	94	
Replaneación	541					3.412							3.953
Demanda	145	46	116	128	106	1.120	1.062	456	133	470	77	94	3.953
Inventario final	396	350	234	106	-	2.292	1.230	774	641	171	94	-	6.288
Total costo replaneación													\$ 3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 925,70
Costos totales													\$ 4.475,70

Tabla 5.11 Política de pedido actual de la empresa para el SKU 10.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	2.263	2.229	3.450	3.315	2.855	289	755	2.631	539	16	1.393	
Recepciones	2.385		1.397				3.027	3.125			1.784		11.718
Despachos	122	34	176	135	460	2.566	2.561	1.249	2.092	523	407	642	10.967
Inventario final	2.263	2.229	3.450	3.315	2.855	289	755	2.631	539	16	1.393	751	20.486
Total costo replaneación													\$ 8.875,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 1.370,85
Costos totales													\$10.245,87

Tabla 5.12 Política de inventario propuesta con despachos reales de SKU 10.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	805	771	595	460	-	7.474	4.913	3.664	1.572	1.049	642	
Replaneación	927					10.040							10.967
Demanda	122	34	176	135	460	2.566	2.561	1.249	2.092	523	407	642	10.967
Inventario final	805	771	595	460	-	7.474	4.913	3.664	1.572	1.049	642	-	21.945
Total costo replaneación													\$ 3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$ 1.468,49
Costos totales													\$ 5.018,49

5.4 Anexo 4: Planificación de pedidos por SKU usando los pronósticos

Tabla 5.13 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 2.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	5.418	-	7.202	-	7.705	-	9.443	-	10.510	-	7.280	
Replaneación	11.562		12.310		16.620		20.150		19.890		16.285		96.817
Demanda	6144	5418	5108	7202	8915	7705	10707	9443	9380	10510	9005	7280	96.817
Inventario final	5.418	-	7.202	-	7.705	-	9.443	-	10.510	-	7.280	-	47.558
Total costo replaneación													\$10.650,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 7.001,33
Costos totales													\$17.651,35

Tabla 5.14 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 2.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	6.628	1.728	5.440	-	9.723	-	11.550	2.212	10.840	2.839	12.995	
Replaneación	11.562		12.310		16.620		20.150		19.890		16.285		96.817
Demanda	4.934	4.900	8.598	10.057	6.897	12.707	8.600	9.338	11.262	8.001	6.129	7.256	98.679
Inventario final	6.628	1.728	5.440	-4.617	9.723	-2.984	11.550	2.212	10.840	2.839	12.995	5.739	62.093
Total costo replaneación													\$10.650,02
Total Costo de mantenimiento													\$ 9.141,12
Costos totales													\$19.791,14

Tabla 5.15 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 3.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	6.619	5.581	4.368	2.676	1.026	-	4.367	-	7.505	3.658	1.626	
Replaneación	8.002						7.757		11.635				27.394
Demanda	1383	1038	1213	1692	1650	1026	3390	4367	4130	3847	2032	1626	27.394
Inventario final	6.619	5.581	4.368	2.676	1.026	-	4.367	-	7.505	3.658	1.626	-	37.426
Total costo replaneación													\$5.325,01
Total Costo de mantenimiento													\$3.005,31
Costos totales													\$8.330,32

Tabla 5.16 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 3.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	7.194	5.865	3.854	2.233	1.623	-	2.740	-	7.978	7.156	5.802	
Replaneación	8.002						7.757		11.635				27.394
Demanda	808	1.329	2.011	1.621	610	4.965	5.017	3.972	3.657	822	1.354	1.940	28.106
Inventario final	7.194	5.865	3.854	2.233	1.623	-3.342	2.740	-1.232	7.978	7.156	5.802	3.862	43.733
Total costo replaneación													\$5.325,01
Total Costo de mantenimiento													\$3.511,76
Costos totales													\$8.836,77

Tabla 5.17 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 4.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	2.706	2.344	1.871	1.262	518	-	5.929	3.781	2.263	1.441	711	
Replaneación	3.210						7.249						10.459
Demanda	504	362	473	609	744	518	1320	2148	1518	822	730	711	10.459
Inventario final	2.706	2.344	1.871	1.262	518	-	5.929	3.781	2.263	1.441	711	-	22.826
Total costo replaneación													\$3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$1.832,93
Costos totales													\$5.382,93

Tabla 5.18 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 4.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	2.944	2.398	1.699	866	500	-	4.550	3.453	3.096	2.428	1.731	
Replaneación	3.210						7.249						10.459
Demanda	266	546	699	833	366	1.854	2.699	1.097	357	668	697	577	10.659
Inventario final	2.944	2.398	1.699	866	500	-1.354	4.550	3.453	3.096	2.428	1.731	1.154	23.465
Total costo replaneación													\$3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$1.884,24
Costos totales													\$5.434,24

Tabla 5.19 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 7.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	1.537	1.357	1.240	1.049	846	682	-	3.725	2.561	1.480	533	
Replaneación	1.704							4.558					6.262
Demanda	167	180	117	191	203	164	682	833	1164	1081	947	533	6.262
Inventario final	1.537	1.357	1.240	1.049	846	682	-	3.725	2.561	1.480	533	-	15.010
Total costo replaneación													\$3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$2.209,72
Costos totales													\$5.759,73

Tabla 5.20 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 7.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	1.516	1.442	1.203	992	855	-	-	3.174	2.149	1.292	1.035	
Replaneación	1.704							4.558					6.262
Demanda	188	74	239	211	137	1.026	933	1.384	1.025	857	257	525	6.856
Inventario final	1.516	1.442	1.203	992	855	-171	-933	3.174	2.149	1.292	1.035	510	13.064
Total costo replaneación													\$3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$1.923,24
Costos totales													\$5.473,24

Tabla 5.21 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 9.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	540	411	331	229	111	-	2.538	1.614	970	632	214	
Replaneación	643						3.255						3.898
Demanda	103	129	80	102	118	111	717	924	644	338	418	214	3.898
Inventario final	540	411	331	229	111	-	2.538	1.614	970	632	214	-	7.590
Total costo replaneación													\$3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$1.117,37
Costos totales													\$4.667,38

Tabla 5.22 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 9.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	498	452	336	208	102	-	2.193	1.737	1.604	1.134	1.057	
Replaneación	643						3.255						3.898
Demanda	145	46	116	128	106	1.120	1.062	456	133	470	77	94	3.953
Inventario final	498	452	336	208	102	-1.018	2.193	1.737	1.604	1.134	1.057	963	9.266
Total costo replaneación													\$3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$1.364,11
Costos totales													\$4.914,11

Tabla 5.23 Política de inventario propuesta usando la demanda pronosticada del SKU 10.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	784	666	598	465	330	-	7.498	5.292	3.660	1.752	675	
Replaneación	895						9.170						10.065
Demanda	111	118	68	133	135	330	1672	2206	1632	1908	1077	675	10.065
Inventario final	784	666	598	465	330	-	7.498	5.292	3.660	1.752	675	-	21.720
Total costo replaneación													\$3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$1.453,43
Costos totales													\$5.003,44

Tabla 5.24 Simulación de despachos reales usando política de inventarios propuesta con demanda pronosticada para el SKU 10.

Fuente: Datos proporcionados por bodega. Elaborado por autores.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Inventario inicial	-	773	739	563	428	-	-	6.609	5.360	3.268	2.745	2.338	
Replaneación	895						9.170						10.065
Demanda	122	34	176	135	460	2.566	2.561	1.249	2.092	523	407	642	10.967
Inventario final	773	739	563	428	-32	-2.566	6.609	5.360	3.268	2.745	2.338	1.696	21.921
Total costo replaneación													\$3.550,01
Total Costo de mantenimiento													\$1.466,88
Costos totales													\$5.016,89

6. BIBLIOGRAFÍA

- Caplice, C. (2003). *Inventory Management: Finite Planning Horizon*. Obtenido de Lecture Notes (MIT): http://web.eng.fiu.edu/leet/EIN5346Logistics/Lecture_Notes/19inv6fplanhoriz.pdf
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la Cadena de Suministro* (Quinta ed., Vol. 1). (P. De la Vega, M. Contreras, Edits., R. Navarro, & J. Murrieta, Trads.) Naucalpan de Juárez, Estado de México, México: Pearson Educación.
- Custódio, M. (20 de Octubre de 2018). *¿Qué es el ROI? Aprende cómo calcular el Retorno sobre la Inversión*. Recuperado el 8 de 6 de 2021, de RdStation: Blog de Marketing Digital de Resultados: <https://www.rdstation.com/es/blog/roi/>
- Gerencie.com. (25 de Septiembre de 2020). *Rotación de inventarios*. Recuperado el 8 de 6 de 2021, de Gerencie.com: <https://www.gerencie.com/rotacion-de-inventarios.html>
- Hanke, J. E., & Wichern, D. W. (2010). *Pronósticos en los negocios*. México: Pearson Educación.
- Masini, J., & Vázquez, F. (Mayo de 2014). *Compendio de Modelos Cuantitativos de Pronósticos: El primer paso en las decisiones tácticas, es predecir la demanda*. Obtenido de Googe Books: <https://books.google.com.mx/books?id=fnLcBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Minitab. (2020). *Support Minitab*. Recuperado el 8 de 6 de 2021, de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/supporting-topics/pareto-chart-basics/>
- Páez, G. (30 de Septiembre de 2020). *Economipedia.com: Haciendo fácil la economía*. Obtenido de Stock de seguridad: <https://economipedia.com/definiciones/stock-de-seguridad.html>
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2017). *Inventory and Production Management in Supply Chains*. Pennsylvania: Taylor & Francis Group.

Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones* (Novena ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.

Valero, N. (10 de Marzo de 2009). *GMROI, Margen Bruto del Retorno de la Inversión en Inventario*. Recuperado el 8 de 6 de 2021, de Gravatar: <https://gravitar.biz/tecnologia-negocios/gmroi-margen-bruto-retorno-inversion-inventario/>

Vidal, C. J. (2005). *Fundamentos de gestión de inventario* (Tercera ed.). Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Villavicencio, J. (2010). *Introducción a Series de Tiempo*. Puerto Rico: academia.edu.

Winston, W. L. (2004). *Operations Research Application and Algorithms*. USA: Brooks/Cole—Thomson Learning.