

**Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial**



**Propuesta de una herramienta de inventario para la
mejora del ciclo logístico de una distribuidora de
productos médicos**

Por

**Susana Omayra Herrera Saavedra
Macarena Alejandra Illanes Chávez**

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de
Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía Carmen Ortiz

Enero, 2018

Dedicatorias

A los niños del mundo, para que sigan el verdadero camino de sus sueños.

A nuestros amigos, por el ánimo y la energía que nos han brindado.

A nuestras familias, por la enorme paciencia que han tenido.

Agradecimientos

A mi familia, por todo el apoyo a lo largo de mi vida y mis estudios. En especial a mi mamá que ha sido un pilar fundamental y a mi hermana pequeña Samantha que aún no entiende la seriedad de la situación, pero siempre estuvo ahí diciéndonos frases divertidas y burlándose por mi demora. También, agradezco a mi tío Victor por el cariño y apoyo, por último a David por la preocupación y los buenos deseos siempre.

A mis amigos y compañeros, en especial a Juan Carlos Castillo por su gran ayuda en esta memoria y por su paciencia infinita, sus retos y su cariño.

A mi compañera de tesis Macarena, que me acompañó en esta aventura llena de anécdotas, estrés y comida, nos complementamos muy bien y agradezco terminar esta etapa junto a ella. También agradezco a Juan Manuel y Ana Luisa por todo el apoyo.

A nuestra profesora guía Carmen Ortiz, por su paciencia y por su deseo de querer que seamos mejores profesionales.

Susana Herrera S.

A las circunstancias de la vida, por otorgarme la oportunidad de estudiar pese a todas las dificultades que van surgiendo en el camino.

A mi familia, por todos los consejos entregados que me han servido como inspiración y crecimiento, destacando especialmente a mis abuelos, por su apoyo incondicional.

A mis compañeros, por hacer este proceso más entretenido y más ameno, por las largas noches de estudio y los momentos inolvidables.

A Susana, por ser un buen complemento y una gran amiga que me ha acompañado desde el primer día de clases.

Al equipo de Madegom, por enseñarme lo que no se aprende en una universidad y por permitirme realizar la práctica y memoria junto a ellos.

A Juan Manuel, Ana Luisa y Victor, por facilitarnos su casa como recinto de estudio.

A todos quienes no he nombrado, pero han sido parte del proceso más enriquecedor de nuestras vidas.

Macarena Illanes C.

Índice general

Capítulo 1 Definición del problema	13
1.1. Descripción de la empresa	13
1.1.1. Grupo Hevea	13
1.1.2. Madegom	15
1.1.3. Proceso actual	17
1.2. Problemática	19
1.2.1. Rasgos generales del problema	19
1.2.2. Síntomas	20
1.2.3. Causas	21
1.3. Objetivos	26
1.3.1. Objetivo general	26
1.3.2. Objetivos específicos	26
1.4. Indicadores de gestión	27
Capítulo 2 Marco teórico	28
2.1. Pronósticos de demanda	28
2.1.1. Componentes de la demanda	28
2.1.2. Clasificación	29
2.1.3. Enfoques	29
2.1.4. Modelos	30
2.1.5. Errores de pronóstico	36
2.2. Gestión de inventario	38
2.2.1. Clasificación de inventario	38
2.2.2. Costos de inventario	39
2.2.3. Sistemas de inventario	40
2.2.4. Determinación del modelo elegido	50
Capítulo 3 Desarrollo	51
3.1. Introducción	51
3.2. Situación actual y antecedentes de la empresa	51
3.2.1 Clasificación de productos	51
3.2.2 Dimensiones de productos y capacidad de almacenamiento	53

3.2.3 Índices de atrasos y disponibilidad de productos.....	54
3.2.4 Costos de inventario.....	57
3.3. Construcción pronósticos de demanda.....	59
3.4. Desarrollo de la herramienta de gestión de inventario.....	73
Capítulo 4 Resultados y análisis	78
4.1 Resultados y análisis	78
4.2 Implementación del modelo.	91
4.3 Evaluación económica	94
Capítulo 5 Conclusiones y propuestas.	96
5.1 Conclusiones	96
5.2 Propuestas.....	98
Bibliografía	100
Anexo 1: Disponibilidad de productos en situación real.....	101
Anexo 2: Demanda histórica y pronosticada de los 15 productos.....	103
Anexo 3: gráficos referentes a los pronósticos de demanda.....	105
Anexo 4: Modelo de inventario.....	117
Anexo 5: Disponibilidad de productos en situación real y con modelo.	118
Anexo 6: Tabla β (Damodaran 2011).....	120
Anexo 7: Cálculo del retorno esperado del mercado; $E(R_m)$	122

Glosario

Durante el desarrollo del informe, se utilizarán conceptos relacionados con el área logística de la compañía, cuya terminología se definirá en orden alfabético.

Apilador eléctrico

Máquina para trasladar y apilar pallets dentro de un sistema de almacenamiento. Es la evolución de la transpaleta, con beneficios tales como: menor esfuerzo físico, mayor alcance en niveles de racks y mayor rapidez.

B02

Una de las 5 bodegas de la compañía. Se refiere a la bodega principal de Madegom S.A, donde se almacenan los productos terminados y se realizan las preparaciones de pedidos previas al despacho.

Display

Es el formato de caja de un producto en su mínimo tamaño. Varias cajas display forman una caja master, a menos que el tamaño del display sea tan grande como para considerarlo caja master también. Para la empresa una caja display corresponde a la unidad de venta.

Factura

Es el comprobante de la adquisición de productos de un cliente por parte de una empresa, con todos los detalles de venta.

Master

Corresponde al formato de caja de un producto en su máximo tamaño. Una caja master posee una o más unidades de display dentro de ella. Su uso tiene como finalidad transportar productos firmemente, evitando posibles caídas que generan destrucción del material y/o accidentes laborales.

Nota de venta (NV)

Es un documento que posee la información de los productos, códigos y cantidades de pedidos de un cliente para una fecha determinada. Sirve para realizar el picking, y circula dentro de B02 como documento interno con fines operacionales.

Orden de venta

Son las instrucciones del pedido de un cliente que incluye las cotizaciones de los productos requeridos.

Packing

Se refiere al empaque, embalaje y envasado de productos. Luego de su realización se percibe el producto terminado que será introducido a bodegas de almacenaje. Ese formato será el presentado a los futuros consumidores.

Pallet

Plataforma física y estable que sirve para apilar productos agrupados sobre ella. Permiten transportar el conglomerado de productos de forma rápida y ordenada. Para términos prácticos también se le denomina pallet a la plataforma con los productos inclusive.

Racks

Estructura física para almacenar productos; cada espacio dentro de las estructuras de almacenaje representa un rack.

Reproceso

Ocurre cuando el empaque, embalaje o envasado de un producto se daña dentro de bodega por diferentes motivos, sin embargo, su contenido no ha sufrido ninguna anomalía. El producto se lleva a la planta de Packing para restituir su envoltorio, reingresar a bodega y luego venderse.

SAP

Es un sistema informático computacional de aplicaciones de procesos de datos. Se utiliza para administrar gran cantidad de información de forma fácil dentro de una organización, mediante el diseño de aplicaciones específicas según los requerimientos de cada empresa.

Slotting

En términos de logística, el Slotting corresponde a la metodología en que se disponen estratégicamente los productos dentro de una bodega de almacenaje. Para ello existen múltiples criterios de ubicación de productos que serán seleccionados por el encargado de Slotting.

Transpaleta

Aparato mecánico móvil con fines de traslado de objetos. Se utiliza en sistemas de almacenaje para diversas labores de bodegaje.

Zona de consolidación.

Es el lugar donde se dejan los pedidos ya realizados por los preparadores de pedidos. Dicha zona está sub-delimitada según los diferentes lugares de despacho a las comunas de Santiago y regiones. Allí se verifica que el pedido esté sin errores y con los documentos correspondientes.

Zona de picking

Dentro de una bodega, corresponde a la ubicación física donde se almacena cada producto con prioridad de despacho. Dicha zona generalmente se designa en el primer nivel de racks, para lograr un retiro de productos rápido y eficiente.

Zona de sorting.

Son rejas donde se ubican los pedidos provenientes de la zona de consolidación, previamente al despacho hacia los camiones.

Lista de abreviaturas y siglas

CTI: costo total de inventario

CVI: costo variable de inventario

Dif.: diferencia.

S.A: sociedad anónima

SAP: sistemas, aplicaciones y productos (del alemán Systeme Anwendungen und Produkte)

VAN: Valor Actual Neto.

Lista de figuras

<i>Figura 1.1: Estructura organizacional.</i>	14
<i>Figura 1.2: Diagrama de procesos de almacenamiento de productos.</i>	17
<i>Figura 1.3: Diagrama de procesos de preparación de pedidos.</i>	18
<i>Figura 1.4: Diagrama de Ishikawa.</i>	23
<i>Figura 2.1: Modelo de clasificación ABC de inventarios.</i>	40
<i>Figura 2.2: Diagrama de nivel de inventario modelo EOQ clásico.</i>	42
<i>Figura 2.3: diagrama del modelo de revisión periódica.</i>	44
<i>Figura 4.1: Carta Gantt de la implementación.</i>	91

Lista de gráficos

<i>Gráfico 1.1: Frecuencia de causas.</i>	25
<i>Gráfico 3.1: Diagrama de Pareto para determinar la selección de productos.</i>	52
<i>Gráfico 3.2: Pedidos solicitados vs pedidos cumplidos.</i>	55
<i>Gráfico 3.3: Demanda histórica, producto 80B2506.</i>	60
<i>Gráfico 3.4: Demanda por periodo dos últimos años, producto 80B2506.</i>	60
<i>Gráfico 3.5: Diagrama de un rezago, producto 80B2506.</i>	62
<i>Gráfico 3.6: Diagrama Cuantil-cuantil, producto 80B2506.</i>	62
<i>Gráfico 3.7: Demanda histórica VS pronosticada, producto 80B2506.</i>	63
<i>Gráfico 3.8: Demanda histórica, producto GEE1224.</i>	64
<i>Gráfico 3.9: Demanda histórica segmentada, producto GEE1224.</i>	64
<i>Gráfico 3.10: Diagrama de un rezago, producto GEE1224.</i>	66
<i>Gráfico 3.11: Diagrama Cuantil-cuantil, producto GEE1224.</i>	66
<i>Gráfico 3.12: Demanda histórica VS pronosticada, producto GEE1224.</i>	67
<i>Gráfico 3.13: Demanda histórica, producto GTE1401.</i>	68
<i>Gráfico 3.14: Demanda histórica, producto GTE1401.</i>	68
<i>Gráfico 3.15: Diagrama de un rezago, producto GTE1401.</i>	70
<i>Gráfico 3.16: Diagrama Cuantil-cuantil, producto GTE1401.</i>	70
<i>Gráfico 3.17: Demanda histórica VS pronosticada, producto GTE1401.</i>	71
<i>Gráfico 4.1: Pedidos solicitados vs pedidos cumplidos modelo.</i>	89

Lista de tablas

<i>Tabla 1.1: Causas que afectan el atraso en los despachos.</i>	24
<i>Tabla 3.1: Código del producto y descripción de los 15 productos seleccionados.</i>	52
<i>Tabla 3.2: Medidas de Rack y capacidad de almacenamiento.</i>	53
<i>Tabla 3.3: Dimensiones 15 productos.</i>	54
<i>Tabla 3.4: Cumplimiento de pedidos.</i>	55
<i>Tabla 3.5: Disponibilidad de productos seleccionados durante 12 meses.</i>	56
<i>Tabla 3.6: Porcentaje de disponibilidad del último año.</i>	57
<i>Tabla 3.7: Costos de inventario.</i>	58
<i>Tabla 3.8: Errores según métodos de pronóstico, producto 80B2506.</i>	61
<i>Tabla 3.9: Errores según métodos de pronóstico, producto GEE1224.</i>	65
<i>Tabla 3.10: Errores según métodos de pronóstico, producto GTE1401.</i>	69
<i>Tabla 3.11: Pronósticos y errores.</i>	72
<i>Tabla 3.12: Factor de la demanda correspondiente al inventario de seguridad.</i>	74
<i>Tabla 4.1: Resumen cuatrimestre 1 (noviembre 2015 - febrero 2016).</i>	79
<i>Tabla 4.2: Resumen cuatrimestre 2 (marzo 2016 - junio 2016).</i>	79
<i>Tabla 4.3: Resumen cuatrimestre 3 (julio 2016 - octubre 2016).</i>	80
<i>Tabla 4.4: Costos de inventario noviembre del 2015 a octubre del 2016.</i>	82
<i>Tabla 4.5: Espacio utilizado por productos noviembre del 2015 a octubre del 2016.</i>	82
<i>Tabla 4.6: Resumen modelo cuatrimestre 1 (noviembre 2015 - febrero 2016).</i>	83
<i>Tabla 4.7: Resumen modelo cuatrimestre 2 (marzo 2016 - junio 2016).</i>	84
<i>Tabla 4.8: Resumen modelo cuatrimestre 3 (julio 2016 - octubre 2016).</i>	84
<i>Tabla 4.9: Costos de inventario modelo noviembre del 2015 a octubre del 2016.</i>	85
<i>Tabla 4.10: Comparación de costos de inventario noviembre del 2015 a octubre del 2016.</i>	86
<i>Tabla 4.11: Ahorro de costos (CVI) con modelo aplicado.</i>	86
<i>Tabla 4.12: Espacio utilizado por productos (modelo) noviembre del 2015 a octubre del 2016.</i>	86
<i>Tabla 4.13: Comparación de disponibilidad de productos ejemplificados noviembre del 2015 a octubre del 2016.</i>	87
<i>Tabla 4.14: Comparación porcentaje de cumplimiento de disponibilidad noviembre del 2015 a octubre del 2016.</i>	88
<i>Tabla 4.15: Cumplimiento de pedidos noviembre del 2015 a octubre del 2016.</i>	88
<i>Tabla 4.16: Comparación de ventas entre noviembre del 2015 a octubre del 2016.</i>	89
<i>Tabla 4.17: Gastos de implementación.</i>	93
<i>Tabla 4.18: Resumen CVI.</i>	94
<i>Tabla 4.19: Flujo de caja para el proyecto.</i>	95

Resumen

El objetivo de esta memoria de título consiste en proponer una herramienta de gestión de inventario para mejorar el ciclo logístico de Madegom S.A. Dicha herramienta debe reducir la cantidad de pedidos atrasados a sus clientes y ayudar en la toma de decisiones de inventario, mediante la construcción de un modelo de programación lineal. Para llevar a cabo lo anterior se proponen modelos de pronósticos de demanda, para estimar las cantidades de productos requeridas en los periodos futuros, y además se propone una herramienta de inventario.

Para la construcción de los pronósticos de demanda, se utilizó información histórica de las ventas de la compañía entre noviembre del 2013 y octubre del 2016. Con estos datos y los diferentes métodos de pronósticos de demanda se realizaron proyecciones correspondientes al año siguiente, que servirán para alimentar el modelo de optimización.

Se planifica el inventario mediante la minimización de los costos totales de inventario, que corresponden al costo del artículo, de preparación y colocación de pedido, mantenimiento y escasez, con las respectivas restricciones de demanda, inventario y capacidad. Para validar el modelo se utilizaron los 15 artículos procedentes (o provenientes) de la selección de productos, que corresponden al 81,87% de las ventas de productos importados de la empresa.

Los resultados obtenidos indican que el modelo logra hasta un 60% de ahorro en los costos variables de inventario, los cuales no consideran el costo del artículo. La información arrojada por el modelo indica en qué periodo se debe pedir para satisfacer la demanda bajo las restricciones del sistema, permitiendo a Madegom planificar el inventario, disminuir el atraso en la entrega de pedidos y ayudar en la toma de decisiones.

Finalmente, se concluye que la herramienta diseñada satisface los objetivos de la memoria de título y es útil para que la empresa invierta en ella, ya que disminuye los costos de la compañía a medida que aumenta las ventas según la disposición de productos, mejorando así la credibilidad de los clientes y aumentando la participación en el mercado.

Introducción

El inventario es un concepto fundamental para la gestión y administración de las empresas sin importar el tamaño o rubro de éstas, ya que permite saber la situación real en que se encuentran. El control de inventario se realiza manteniendo una relación directa con la obtención de utilidades, por lo que es necesario poseer una administración adecuada, que permita mantener un correcto abastecimiento de productos para sustentar las ventas de la empresa.

El correcto funcionamiento en el control de inventario es beneficioso para la toma de decisiones, debido a que permite analizar fluctuaciones en la demanda y puede predecir inestabilidades en el suministro. Es importante mantener un equilibrio en las cantidades de los productos, ya que caer en un exceso o carencia de inventario podría conllevar a mayores costos para la empresa o pérdida en las ventas. Diversos estudios y avances tecnológicos han desarrollado variados métodos y modelos para mejorar la gestión de inventario, lo que ha permitido que cada día las empresas inviertan más en dicha área y así mejorar su organización.

Madegom, es una empresa dedicada a la producción, comercialización y distribución de una amplia variedad de insumos médicos e industriales. Se caracteriza por trabajar con políticas de mejora conjunta y continua, entregando a sus clientes apoyo técnico para sus líneas de productos. Actualmente, presenta un déficit en los niveles de inventario de ciertos productos, generando atraso en la entrega de pedidos, pérdida de ventas y disconformidad de algunos clientes.

Esta memoria de título tiene como finalidad entregar una posible solución al problema de inventario antes descrito y para ello: en el Capítulo 1, se presentan los antecedentes de la empresa y se indaga en el problema de inventario que existe actualmente; en el Capítulo 2, se expone el marco teórico con las diferentes herramientas y métodos que permiten abordar la problemática; en el Capítulo 3, se desarrolla la herramienta propuesta; para luego en el Capítulo 4 mostrar los resultados, el análisis y la implementación; y así finalmente, en el Capítulo 5 se entregarán las conclusiones y propuestas.

Capítulo 1: Definición del problema

1.1. Descripción de la empresa

1.1.1. Grupo Hevea

Grupo Hevea es un holding de financiamiento privado familiar, conformado por 4 empresas enfocadas en la producción y comercialización de productos químicos. Dichas empresas son pioneras en Chile y tienen alcance internacional en cuanto a importación y exportación de productos. Las organizaciones que conforman Grupo Hevea están instaladas en conjunto y son las siguientes:

ESTÉRICAL S.A.

Realiza servicios de esterilización a través de tecnologías de última generación y altos estándares de calidad establecida por la norma ISO. Además, allí es donde se realiza la esterilización de guantes fabricados por Madegom. Para facilitar ese trabajo, las dependencias de ambas empresas colindan y están unidas entre sí.

MADEGOM S.A.

Relacionada a todo tipo de insumos médicos, con énfasis en la producción de guantes y armado de kits. En esta empresa se desarrollará el proyecto de memoria de tesis, y en base a ello se enfocará el presente informe.

MADESA S.A.

Produce y comercializa una amplia gama de adhesivos con diferentes aplicaciones industriales y particulares. Sus productos se comercializan bajo la marca “Meister”.

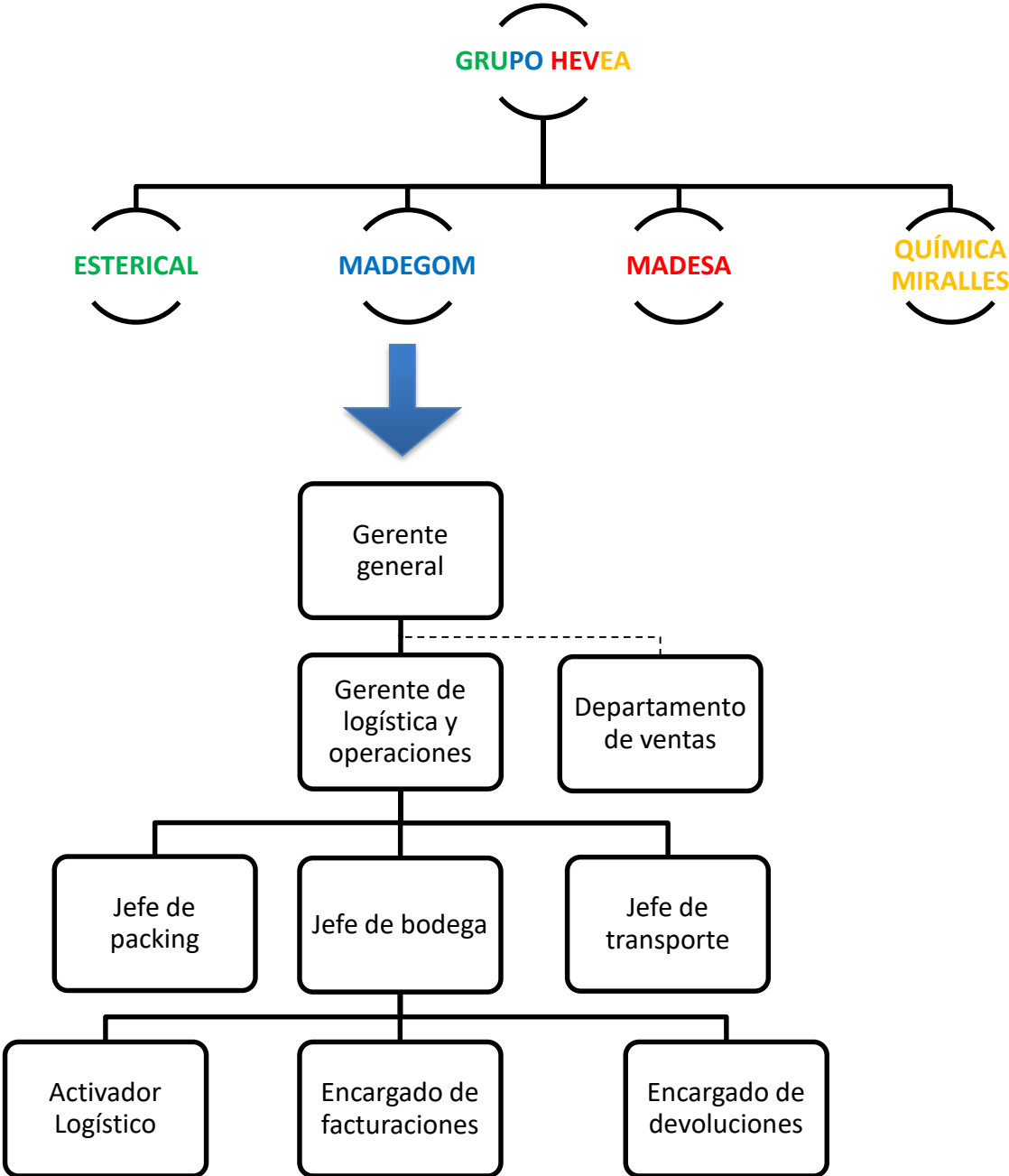
QUÍMICA MIRALLES S.A.

Suministra materias primas y productos químicos relacionados a las áreas de caucho, recauchaje, plásticos, poliuretano, siliconas y adhesivos. Representa varias empresas internacionales proveedoras de materias primas reconocidas a nivel global.

En la *Figura 1.1*, se representa la estructura organizacional del conglomerado de Grupo Hevea, con el desglose de las 4 empresas compuestas por: Esterical, Madegom, Madesa y Química Miralles. Dado que en Madegom está centrado el problema a resolver, se indican los cargos jerárquicos primordiales, comenzando por el dueño de la compañía y el Gerente general, quien delega la administración principal de la empresa al Gerente de logística y operaciones. El área operacional está a cargo del jefe de Packing, y del área

logística se encarga el jefe de bodega, quien debe coordinar que los procedimientos que ocurran en bodega funcionen adecuadamente. Paralelamente el jefe de transporte gestiona y supervisa el despacho de los productos. En bodega además hay un área administrativa, operada principalmente por el Activador logístico, el encargado de facturaciones y el encargado de devoluciones. Por otro lado, se agrega el departamento de ventas como ente externo, ya que opera de igual manera para las cuatro compañías. La problemática tratada está focalizada donde el jefe de bodega opera.

Figura 1.1: Estructura organizacional.



1.1.2. Madegom

Empresa fundada en 1976, dedicada a la producción, comercialización y distribución de una amplia variedad de insumos médicos e industriales. Se caracteriza por trabajar con políticas de mejora conjunta y continua, entregando a sus clientes apoyo técnico para sus líneas de productos. La comercialización se realiza a través de vendedores técnicos, especializados en asesorar al cliente sobre el uso y aplicación de los productos.

Cuenta con certificación del sistema de gestión de la calidad ISO 9001:2008, para proporcionar al cliente productos de calidad y seguros. En el año 2014, Madegom fue evaluado y recertificado por el Organismo Certificador SGS.

La empresa se desempeña en el sector industrial de atención sanitaria y hospitalaria. Los productos comercializados tienen dos procedencias:

Armados y fabricados.

El nombre *Madegom* hace alusión a la producción, ya que quiere decir "manufacturera de productos de goma". Los productos de goma que manufactura son los guantes quirúrgicos de látex desechable, bajo el nombre de las marcas "Health-Pak" y "Health-Touch", encontrados en instituciones como Clínica Alemana, el servicio de salud mejor calificado en cuanto a atención e infraestructura dentro del país. Por otro lado, los productos que arma corresponden a Kits médicos destinados principalmente a dentistas y cirujanos.

En Chile, se destaca por ser el principal proveedor de guantes quirúrgicos y de examinación, ya que son los únicos a nivel nacional que se fabrican con altos estándares de calidad.

Importados.

Los productos importados corresponden a guantes quirúrgicos de menor calidad que los producidos, pero que se comercializan debido al bajo costo que poseen. Además proveen ropa desechable, envoltorios para esterilización, equipos médicos, receptáculos, drenajes, gasas, apósitos y compresas. El principal proveedor es China con un 35% de productos importados, seguido de Malasia, Alemania, Guatemala y Tailandia.

La empresa factura un promedio de ventas de \$700.000.000 mensuales, donde el 41% corresponde a productos fabricados. Además de comercializar en Chile, exporta productos dentro de América Latina. Países vecinos como Perú y Bolivia son la fuente de destino de sus productos, siendo Perú el destino principal, con un 66% del total exportado.

La compañía se divide en cuatro áreas principales que se distribuyen en dos edificios; el primero corresponde al área de almacenaje, en cuyo lugar se centra la problemática tratada, y el segundo contiene el resto de las áreas. A continuación, se explica el funcionamiento de cada una de ellas.

Área productiva.

Donde se fabrican diversos tipos de guantes quirúrgicos, variando parámetros como talla, calidad y tipo de uso. También está instalado el control de calidad, el packing y el etiquetado, dejando el producto listo para su comercialización.

Área de almacenaje.

Se refiere a la bodega de productos terminados o B02, en donde se realiza la preparación de pedidos y el despacho, el cual posee camiones de distribución propios de la empresa para Santiago, otros externos para el resto del país (Servicio LitCargo) y también existe la venta por retiro de clientes.

Área gerencial.

Se gestionan principalmente las actividades de exportación e importación de productos. Allí es donde se administran las políticas de recepción de productos, inventario y despacho.

Área de ventas.

Donde se realiza el proceso de venta para con los clientes y se generan órdenes de venta con la información del pedido, fechas de entrega, precios y costos. Se establece comunicación durante todo el proceso, incluyendo la postventa.

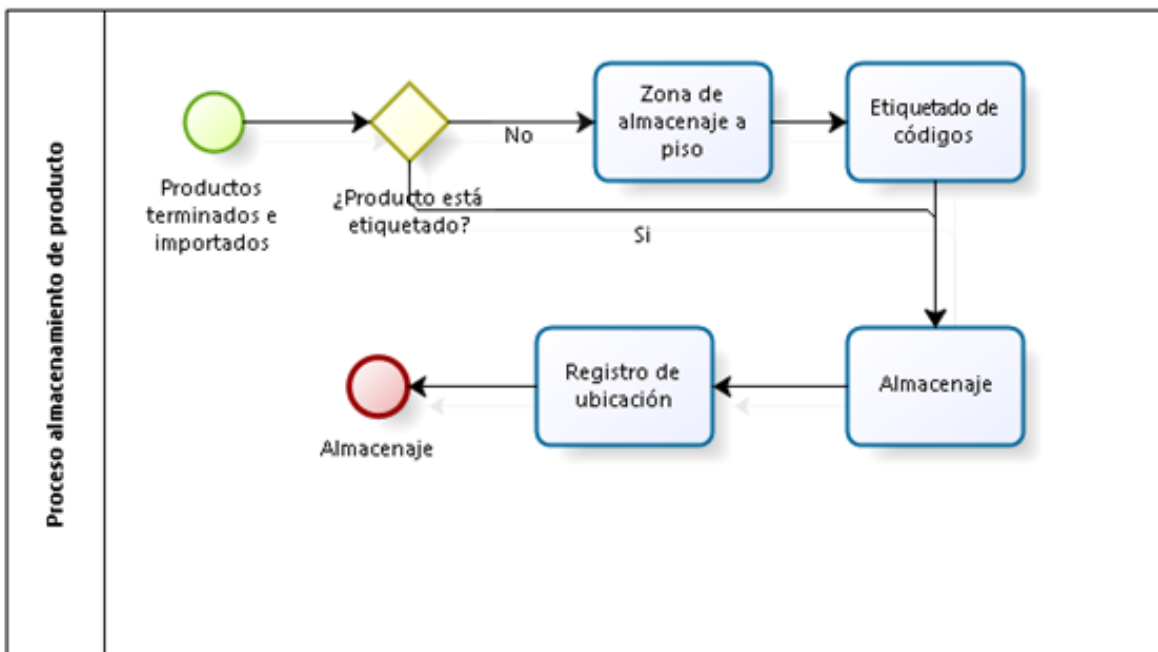
1.1.3. Proceso actual

Cada producto que se comercializa debe pasar por una serie de procesos estandarizados durante el período de estadía en B02. Desde que el producto entra a bodega hasta su despacho, se identifican dos procesos generales que determinan el actuar del personal. El primero corresponde al período de entrada del producto hasta su almacenaje (Figura 1.2), y el segundo se refiere al momento desde la preparación del pedido hasta su despacho (Figura 1.3).

Proceso N°1: Almacenamiento de productos.

- 1) Los productos terminados, de importación o fabricación propia, ingresan a bodega por un Gruero. Si están etiquetados deben dejarse en mitad de pasillo, y si no lo están deben ir en la zona de almacenamiento a piso.
- 2) El Etiquetador debe identificar el producto recién llegado a la zona de almacenamiento a piso, e imprimir las etiquetas con el código correspondiente. Luego se debe adherir una etiqueta por cada caja master de producto.
- 3) El Acomodador retira los pallets etiquetados de la zona de almacenamiento a piso, para almacenarlos en los racks desocupados más próximos a la zona de picking del producto a guardar. Luego, debe ingresar las posiciones al sistema de información de uso público de los operarios de bodega.

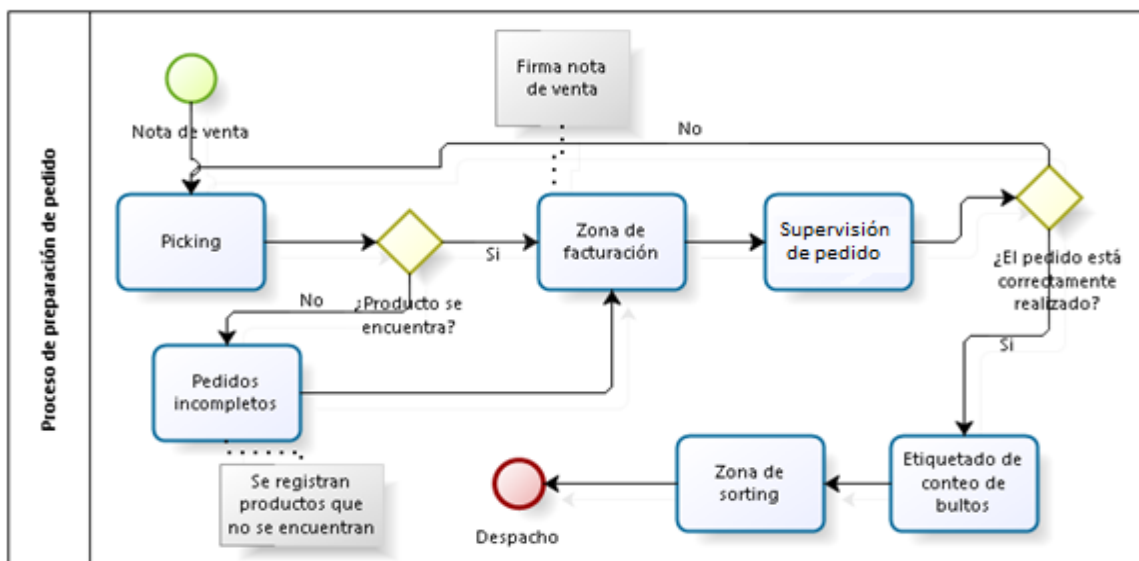
Figura 1.2: Diagrama de procesos de almacenamiento de productos.



Proceso N°2: Preparación de pedidos.

- 1) El proceso inicia en la oficina de bodega, cuando el activador logístico genera una nota de venta y la designa a un preparador de pedido. Luego, debe imprimir el documento y almacenarlo en estante 1.
- 2) Los preparadores de pedido deben ir cada cierto período a la oficina de bodega para retirar las notas de ventas designadas, para luego realizar la preparación de pedido sobre un pallet, que debe ingresar a la zona de consolidación. Deben marcar el detalle de los productos retirados, sobre la nota de venta si es que los productos no coinciden con el detalle descrito, y firmar la hoja para luego sacarle fotocopia; la original se debe devolver al Activador logístico, y la copia debe ir pegada sobre el pedido preparado.
- 3) El Activador logístico cierra el proceso de NV cuando recibe la hoja firmada por el preparador de pedido. Dicho documento firmado debe dejarlo en el estante 2.
- 4) El Facturador retira las NV provenientes del estante 2, y realiza las facturas electrónicas para luego imprimirlas.
- 5) Un supervisor evalúa que los productos listos a despachar estén bien preparados. Si hay errores debe informarle a la persona que preparó el pedido para arreglar el desperfecto, y si no hay errores, debe imprimir etiquetas para enumerar las cajas totales a despachar. Además, debe ir en busca de la factura cedible y pegarla junto a la etiqueta N°1 recién impresa.
- 6) Otro supervisor debe trasladar con transpaleta los pedidos con facturas y dejarlos en la zona de sorting, en jaulas bajo llave.
- 7) Cada pioneta (camionero) tiene una jaula de la zona de sorting designada, y debe retirar los productos de ella para despachar el pedido hacia el camión.

Figura 1.3: Diagrama de procesos de preparación de pedidos.



1.2. Problemática

1.2.1. Rasgos generales del problema

Las empresas deben estar en constante proceso de toma de decisiones que cumplan con el desempeño esperado. Para las decisiones de logística, se debe tomar en cuenta factores que optimicen recursos y ejecuten adecuadamente las tareas, para ser competentes frente al mercado.

Madegom S.A. ha recibido reclamos de clientes por demoras en la entrega de productos y ha disminuido sus ventas por este motivo. La compañía, traduce esta situación en un déficit con el cumplimiento de las fechas programadas de despacho de pedidos, cuyo promedio de retraso corresponde a 10 días aproximadamente, existiendo casos que poseen incluso 15 días de retraso. El problema está ligado al área de logística de la compañía, ya que se evidencia un desorden de planeación.

Es necesario diferenciar los conceptos de plazos de entrega y despacho de pedidos. La entrega de pedidos corresponde al momento en que los clientes reciben los productos comprados a Madegom, mientras que el despacho de pedidos corresponde al momento en que los pedidos ingresan a los camiones de despacho, es decir, el momento en que salen de bodega, pero no han salido de la empresa. Internamente se trabaja con plazos de despacho, para ello la empresa debe calcular los plazos de entrega a clientes en base al lugar acordado.

Con el fin de evitar disconformidad o pérdida de clientes, aumentar la credibilidad de la compañía, no disminuir las ventas y evitar incurrir en costos innecesarios como transporte adicional, es que se pretende disminuir la cantidad de pedidos despachados fuera de los plazos establecidos. Para ello, hay que indagar en el funcionamiento de la bodega principal, donde ocurren las actividades de almacenaje de productos terminados y preparación de pedidos de clientes. Se analizarán los síntomas que evidenciaron el problema y las causas que lo generan, proponiendo una solución que mejore la situación descrita.

1.2.2. Síntomas

Los síntomas son los primeros indicadores de la existencia de un problema. Permiten concientizar cuándo un parámetro está fuera del rango ideal de una condición actual. En la bodega principal se detectan varios síntomas de ocurrencia repetitiva, que finalmente producen el mismo efecto: atraso en el despacho de pedidos. A continuación, se enlistan dichos síntomas según lo observado por el personal de la empresa.

- ∞ Productos almacenados en pasillos incorrectos.
- ∞ Zona de picking vacía no por falta de producto, ya que éstos se encuentran en racks superiores.
- ∞ Zona de picking ocupada por un producto incorrecto.
- ∞ Pallets incompletos desde el 2do piso de rack en adelante.
- ∞ Varios tipos de productos encontrados en un solo rack.
- ∞ Pallets obstruyen pasillos.
- ∞ Preparador de pedido no termina de realizar todas las notas de ventas asignadas.
- ∞ Ninguno de los operarios se percató de un error corregible.
- ∞ Computadores demoran en procesar información y entregar datos.
- ∞ Apiladores eléctricos quedan sin batería a mitad de jornada.
- ∞ Hay transpaletas que cuesta maniobrar.
- ∞ El sistema de información indica errores de posicionamiento.
- ∞ El sistema de información indica inventario erróneo.
- ∞ Se encuentran productos sin etiquetar.
- ∞ Productos con etiqueta incorrecta (código, cantidad o descripción).
- ∞ Notas de ventas ya preparadas que no caben en camiones.

1.2.3. Causas

Al observar la problemática se identifican diversas posibles causas que gatillan el problema. Se realiza un diagrama de Ishikawa que desglosa las causales existentes, y así poder comprender las más influyentes dentro del problema estudiado.

La *Figura 1.4* presenta el diagrama causa-efecto, relacionando las causas potenciales con el efecto principal detectado, referido al atraso en el despacho de pedidos. Se utilizará el análisis de dispersión para agrupar las causas potenciales en 6 ramas:

Mano de obra.

Las causas de mano de obra que influyen en el efecto estudiado corresponden a errores que comete el personal que traslada mercadería, como los preparadores de pedido y el resto de operarios que no son administrativos. Dichas causas se centran en ineficiencias tales como inasistencias, errores en los procedimientos, sobrecarga de trabajo y alteraciones en los productos por traslado inadecuado.

Medio ambiente.

El medio ambiente posee dos causas que provocan el efecto. Por un lado, la caída de red como el internet o el sistema SAP, evitan la comunicación entre las distintas áreas de la empresa y detiene el proceso por completo, sin embargo, esta situación no es influyente porque ocurre el 3% de los días trabajados. La otra causa hace alusión a los pallets no almacenados que se dejan en mitad de pasillo, obstruyendo el paso de maquinarias y retrasando el proceso.

Materiales.

Se refiere específicamente a los productos terminados, cuyo inconveniente sucede al no estar disponibles para ser despachados, ya sea por deterioro o quiebre de inventario. Cuando los productos están en mal estado deben ser reprocesados, tardando en estar disponibles nuevamente y reduciendo temporalmente el inventario. El caso de ausencia se desglosa en pérdida de producto dentro de bodega, vencimiento del material, ubicación real del producto en otra bodega de la compañía, o simplemente no existe inventario del producto en ese momento.

Maquinarias.

Cuando las maquinarias están en mal estado u obsoletas, atrasan los procesos de almacenaje y despacho. Se consideran maquinarias a los vehículos motorizados que trasladan productos, tales como máquinas apiladoras, grúas horquillas y vehículos de despacho. Además, se incluyen todas las máquinas electrónicas donde se puede trabajar con el sistema de información de la empresa, como máquinas con lector de códigos y computadoras.

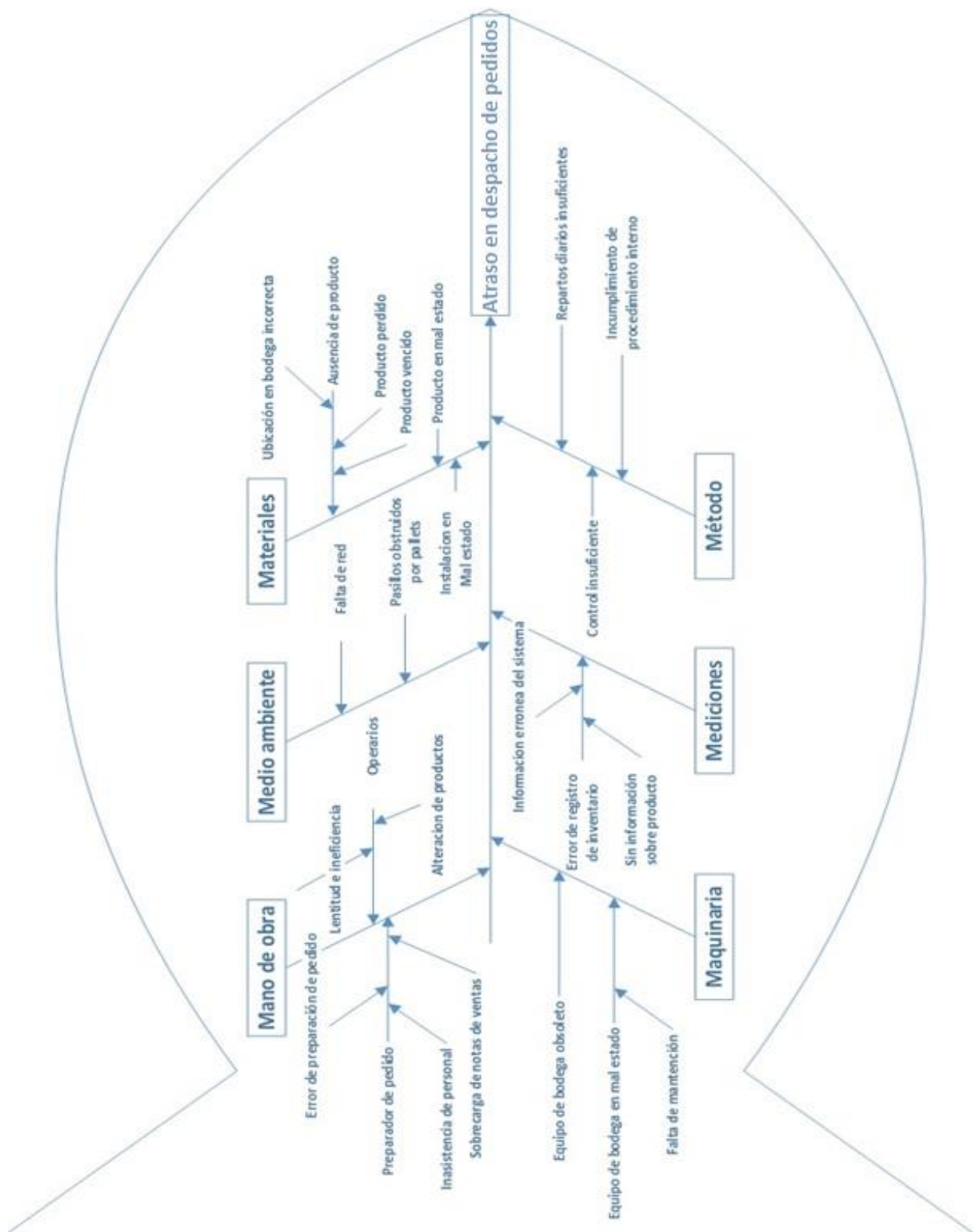
Mediciones.

Se refiere a los errores de registro de inventario y de cambio en las posiciones de productos, por mal ingreso u omisión de información. Cuando se consulta el sistema de información se asume que los datos que entrega el sistema son correctos, pero si no lo son, se trabajará de forma equivocada durante todo el proceso.

Métodos.

Existen tres factores que influyen en la demora de despacho. Por un lado, cuando no se realizan todos los controles posteriores a la preparación de pedidos, no se detectan posibles errores. Cuando los despachos diarios superan la capacidad de los camiones disponibles a despachar, se dejan pedidos preparados para días posteriores a pesar de estar realizados. También se producen demoras cuando alguno de los pasos de los procesos de preparación de pedido se omite, incumpliendo con el procedimiento estandarizado.

Figura 1.4: Diagrama de Ishikawa.



Selección de causas

A partir de las causas encontradas que pueden afectar la problemática de estudio, se realiza una clasificación de éstas, escogiendo las que son medibles dentro de un periodo determinado de 2 meses. Se descartan las causas que se relacionan con los métodos que utiliza la empresa ya que no hay un registro que entregue información sobre cada cuanto acontecen.

En la *Tabla 1.1*, se presentan las causas clasificadas y la frecuencia con la que sucedieron. El periodo del registro corresponde a los meses de septiembre y octubre del 2016, donde se realizaron aproximadamente 2.634 pedidos. En los casos específicos que se deben a fallas de productos (como producto no disponible, producto en bodega incorrecta, etc), la frecuencia indica la cantidad de unidades de pedido que no fueron realizados en su totalidad debido a dicha causa. Para el resto de los casos, la frecuencia indica la cantidad de veces en que ocurrió la causa en esos dos meses de análisis.

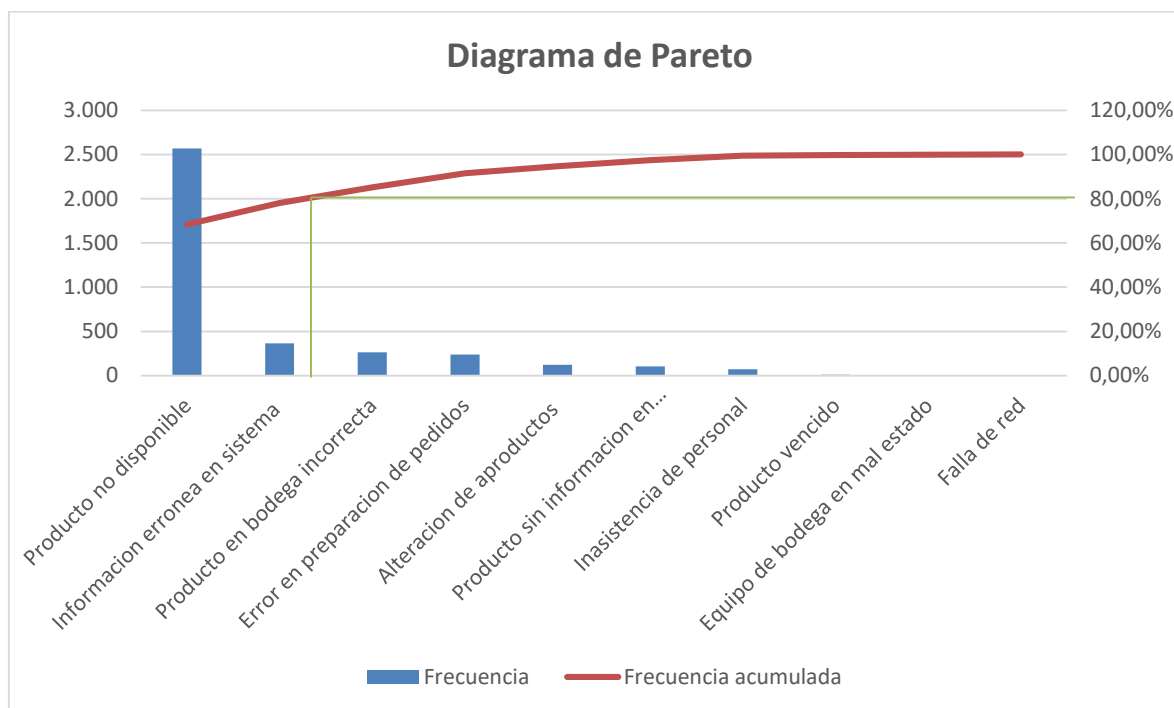
Tabla 1.1: Causas que afectan el atraso en los despachos.

Causas	Frecuencia
Producto no disponible	1.798
Información errónea en sistema	256
Producto en bodega incorrecta	185
Error en preparación de pedidos	168
Alteración de productos	86
Producto sin información en sistema	72
Inasistencia de personal	50
Producto vencido	9
Equipo de bodega en mal estado	7
Falla de red	3

Fuente: Registro de Madegom, acerca de los problemas seleccionados.

En el *Gráfico 1.1* se muestra el comportamiento de las causas descritas en el período bimestral, donde se observa que predominan los problemas relacionados a ausencias de productos, por sobre los relacionados a errores de personal.

Gráfico 1.1: Frecuencia de causas.



Fuente: Elaboración propia

Por definición, el principio de Pareto indica que el 80% de un problema, se debe al 20% de las posibles causas que lo originan. Según esta definición y los resultados obtenidos, se observa que el punto donde se está produciendo el 80% de los efectos del problema, se debe a las causas: “producto no disponible” e “información errónea en el sistema”.

Los productos no disponibles, se originan porque las cantidades importadas a la compañía no alcanzan a abastecer la demanda durante el período previo al reabastecimiento de la bodega (durante el tiempo de entrega, el momento de hacer un pedido y su recepción). La información errónea en el sistema es generada por errores humanos que no tienen relación con el sistema propiamente tal, por lo que se informará a la compañía para que lo tengan en consideración y se recomendará realizar auditorías o cursos de capacitación dirigidos al personal con un respectivo control periódico.

Por lo tanto, este proyecto será enfocado sobre la disponibilidad oportuna de los productos en la bodega, que tiene directa relación con el sistema de inventario que tiene la empresa. El enfoque de trabajo será una propuesta que mejore el sistema actual y que aumente la disponibilidad de productos, manteniendo los costos equilibrados, para mejorar el problema central referido a los atrasos de pedidos.

1.3. Objetivos


1.3.1. Objetivo general

- ∞ Proponer una herramienta de gestión de inventario para mejorar el ciclo logístico de una distribuidora de productos médicos, reduciendo el incumplimiento en la entrega de productos.

1.3.2. Objetivos específicos

- ∞ Establecer pronósticos de demanda, que se adecúen al comportamiento de la demanda ya existente en la compañía.
- ∞ Proponer una política de inventario que regule el correcto abastecimiento de productos, basada en los datos existentes de Madegom.

1.4. Indicadores de gestión


 **Nivel de cumplimiento de pedidos:** Es la fracción de pedidos que se satisfacen con el inventario disponible. Incluye los pedidos que llevan uno o más productos de los evaluados y se considera cumplido si tiene la totalidad del producto.

$$\% \text{ cumplimiento} = \left(1 - \frac{Q_{NVc}}{Q_{NVt}}\right) * 100\%$$

Donde,

Q_{NVc} : Cantidad de notas de ventas entregadas fuera de plazo por mes.

Q_{NVt} : Cantidad de notas de ventas totales por mes.

 **Nivel de cumplimiento de producto:** Es la fracción de la demanda del producto que se satisface con el inventario del producto. Este indicador se evalúa de manera mensual.

$$\% \text{ cumplimiento} = \left(1 - \frac{Ip}{Dp}\right) * 100\%$$

Donde,

Dp : Demanda del producto evaluado en un mes.

Ip : Inventario disponible del producto evaluado en un mes.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1. Pronósticos de demanda

Un pronóstico es una predicción de sucesos futuros. Puede implicar basarse en una data histórica y proyectarla a futuro con cierta clase de modelo matemático. Puede ser una predicción intuitiva o subjetiva, o simplemente una combinación de ambas. Los pronósticos son la base para el desarrollo de planes, desde un nivel estratégico hasta uno administrativo, ya que ayuda a prever situaciones.

Los pronósticos de demanda proyectan la demanda de productos de la empresa. Estos pronósticos determinan la producción, capacidad de almacenamiento, sistemas de programación industrial. Existen numerosos modelos de pronósticos, dentro de los cuales no existe uno superior a otro, simplemente se utilizan dependiendo de la situación particular de la empresa, donde se elige el que más se adecue.

2.1.1. Componentes de la demanda

Uno de los grandes problemas relativo a la demanda de productos, es que ésta suele variar considerablemente, por lo que es muy complicado hacer estimaciones, sin embargo, existen patrones que permiten analizar la demanda, los cuales son:

- ∞ **Tendencia:** Es el movimiento progresivo, en ascenso o descenso de la serie en el tiempo
- ∞ **Estacionalidad:** Es una tendencia o un patrón que se repite después de un periodo de días, semanas, meses, año.
- ∞ **Ciclos:** Fluctuación de datos en torno a una media constante.
- ∞ **Variaciones aleatorias:** no siguen ningún patrón discernible y por lo tanto no se pueden predecir.

2.1.2. Clasificación

A continuación, se da una descripción de los tipos de Pronósticos, dependiendo del Horizonte de Tiempo que se requiera estudiar.

Pronóstico a corto plazo.

Generalmente el lapso de tiempo es menor a tres meses, pero puede llegar hasta 1 año. Este tipo de Pronóstico es más utilizado cuando se requiere planear las compras, programación de planta, las asignaciones de tareas a los recursos, y niveles de producción.

Pronóstico a mediano plazo.

Rango de tiempo mediano, entre tres meses a tres años. Es valioso en la planificación de la producción y presupuestos, planificación de ventas, entre otros.

Pronóstico a largo plazo.

Generalmente con lapsos de tres años o más, los pronósticos de con este horizonte son utilizado para la planificación de nuevos productos, donde interviene tanto el capital a invertir, la investigación, desarrollo del mismo, como las instalaciones a utilizar.

En la presente problemática, se trabajará con pronósticos a corto plazo, ya que se adecuan a lo que se necesita para la propuesta de un modelo de inventario.

2.1.3. Enfoques

Cuantitativo.

En este caso la demanda se determina por modelos subyacentes.

Definen explícitamente como se determina el pronóstico, el procedimiento es estrictamente matemático. La técnica se basa en datos históricos y en la suposición de que el proceso es estable. Este tipo de pronósticos se puede clasificar en dos categorías:

- ∞ Modelos de Series de Tiempo: Se basan en datos históricos y se concentran completamente en patrones de datos y en cambios de dichos patrones.
- ∞ Modelos Causales: Trata de definir relaciones entre elementos de un sistema. Este modelo es la clase más sofisticada de herramienta de pronóstico, ya que es en esencia una descripción matemática del proceso en cuestión.

Cualitativo.

También llamado intuitivo. Se utilizan principalmente cuando los datos son escasos o no se encuentran disponibles. Se utilizan juicios de expertos para convertir información cualitativa en estimados cuantitativos. Las técnicas varían desde la toma de decisiones por opiniones individuales de paneles de expertos donde se discute el pronóstico en una reunión con la idea que varias personas pronostican mejor que una, hasta la toma de decisiones de un grupo de expertos con la técnica Delphi, la cual se basa en el uso de cuestionarios para recopilar información.

Estas técnicas usan el criterio de la persona y ciertas relaciones para transformar información cualitativa en estimados cuantitativos.

En la problemática de estudio, se cuenta con los datos históricos de la empresa donde se muestran las demandas de productos de periodos anteriores, por esta razón, escogeremos trabajar con un enfoque cuantitativo, específicamente modelos de series de tiempo, ya que cumple con el perfil, para la información que tenemos. Además, que mediante este método, los resultados son cifras que facilitan el trabajo del modelo, contra un enfoque cualitativo que es más subjetivo y difícil de medir.

2.1.4. Modelos

A continuación, se presentan los modelos más conocidos y utilizados.

A. Media móvil simple

Una medida móvil simple (MMS) combina los datos de demanda de la mayor parte de los periodos recientes, siendo su promedio el pronóstico para el periodo siguiente. Una vez calculado el número de periodos anteriores a ser empleado en las operaciones, se debe de mantener constante. Se puede emplear una medida móvil de tres periodos de 20, pero una vez que se toma la decisión hay que continuar usando el mismo número de periodos. Después de seleccionar el número de periodos a ser usados, se dan pesos iguales a las demandas para determinar el promedio. El promedio se “mueve” en el tiempo en el sentido de que al transcurrir un periodo, la demanda del periodo más antiguo se descarta, y se agrega la demanda para el periodo más reciente para la siguiente operación, superando así la principal limitación del modelo del promedio simple.

$$MMS = \frac{\text{Suma de las demandas anteriores de los últimos } n \text{ periodos}}{\text{Número de periodos empleados en la media móvil}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n D_t$$

Donde,

t = 1 en el periodo más antiguo en el promedio de n periodos

t = n es el periodo más reciente

B. Media móvil ponderada

Una medida móvil ponderada (MMP) es un modelo de media móvil que incorpora un peso para cada uno de los períodos, dándole mayor importancia a los períodos que más afectan a la obtención del promedio. La representación de este modelo es el siguiente:

$$MMP = \sum_{t=1}^n C_t D_t$$

Donde,

D_t = Demanda de productos de cada periodo.

C_t = Peso determinado que va entre 0 y 1.

n = Número de periodos.

Sí bien los promedios móviles y móviles ponderados son efectivos para suavizar las fluctuaciones en el patrón de la demanda, el promedio móvil ponderado presenta tres problemas:

- ∞ Aumentar el tamaño de n suaviza de mejor manera las fluctuaciones en el tiempo, pero de forma contraria resta sensibilidad ante cambios reales en los datos.
- ∞ Los promedios móviles no reflejan bien las tendencias que se pueden presentar, esto es porque son promedio y siempre quedaran en niveles pasados (no predicen los cambios hacia arriba o hacia abajo).
- ∞ Requieren de una gran cantidad de datos históricos.

C. Suavizamiento Exponencial

Este método consiste en estimar la demanda del próximo periodo basándose en una combinación de indicadores de la demanda reciente y de los pronósticos pasados. La técnica pondera los datos exponencialmente permitiendo elegir cual se quiere priorizar, si los datos históricos o los más recientes. Un α más bajo da ponderación a los datos históricos, mientras que cercano a 1 refleja un ajuste total a la demanda reciente.

Con frecuencia, el modelo es apropiado para los datos que no tienen una tendencia predecible hacia arriba o hacia abajo. El objetivo es estimar el nivel real. Luego, esta estimación del nivel se utiliza como el pronóstico de los valores futuros (Hanke & Wichern, 2006)

Se utiliza la siguiente fórmula:

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

Donde,

F_{t-1} = Predicción del último período

α = Constante de suavización entre 0 y 1

A_{t-1} = Demanda real del periodo anterior

D. Suavización exponencial con ajuste de tendencia

La suavización exponencial simple no consigue anticipar tendencias, para aquello utilizamos el suavizado exponencial con ajuste de tendencia, el cual es una modificación del suavizado exponencial simple. Lo que hace este método, es calcular la media suavizada y luego ajustarla para retrasos negativos o positivos en la tendencia. Este método requiere dos constantes de suavizado, α para la media y β para la tendencia. La expresión matemática para el pronóstico y la tendencia quedan así:

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

Y

$$T_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

Donde,

F_t = previsión suavizada en el periodo t.

T_t = tendencia suavizada en el periodo t.

A_t = demanda real en el periodo t.

α = constante de suavizado para la media, con α entre 0 y 1.

β = constante de suavizado para la tendencia, con β entre 0 y 1.

Por lo tanto, para este método hay que realizar tres pasos, el primero es calcular el pronóstico suavizado, el segundo es calcular la tendencia suavizada y el tercero es la suma de ambos, el cual esta denotado por la siguiente ecuación:

$$FIT_t = F_t + T_t$$

E. Suavización exponencial con ajuste de estacionalidad.

▪ Holt-Winters Aditivo

Al igual que los métodos anteriores, el método de Holt-Winters utiliza datos históricos para obtener un pronóstico. Se aplica cuando la serie de tiempo tiene presente los componentes de tendencia y estacionalidad. Este método es mejor cuando el patrón estacional en los datos no depende del valor de los datos, es decir, el patrón estacional no cambia conforme la serie incrementa o disminuye de valor. El modelo calcula tres componentes: nivel, estacionalidad y tendencia, su expresión matemática es la siguiente:

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-p}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \gamma(L_t - L_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$$

$$S_t = \delta(Y_t - L_t) + (1 - \delta)S_{t-p}$$

$$\hat{y}_t = (L_{t-1} + T_{t-1} + S_{t-p})$$

Donde,

L_t = nivel en el tiempo t y α el peso para el nivel (peso entre 0 y 1)

T_t = tendencia en el tiempo t e γ el peso para la tendencia (peso entre 0 y 1)

S_t = estacionalidad en el tiempo t y δ el peso para la estacionalidad (peso entre 0 y 1)

p = periodo estacional

Y_t = es el valor de los datos en periodo t

\hat{y}_t = valor del pronóstico para el periodo t

- **Holt-Winters multiplicativo**

Al igual que el método Holt-Winters aditivo, el método de Holt-Winters multiplicativo utiliza datos históricos para obtener un pronóstico. Se aplica cuando la serie de tiempo tiene presente los componentes de tendencia y estacionalidad, la diferencia entre métodos es que el multiplicativo presenta una tendencia al menos local y un patrón estacional creciente, mientras que el aditivo tiene un patrón estacional constante. Se calculan los mismos tres componentes (nivel, estacionalidad y tendencia) pero de una forma diferente. Su expresión matemática es:

$$\begin{aligned}L_t &= \alpha(Y_t/S_{t-p}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \\T_t &= \gamma(L_t - L_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1} \\S_t &= \delta(Y_t/L_t) + (1 - \delta)S_{t-p} \\\hat{y}_t &= (L_{t-1} + T_{t-1})S_{t-p}\end{aligned}$$

Donde,

L_t = nivel en el tiempo t y α el peso para el nivel (peso entre 0 y 1)

T_t = tendencia en el tiempo t e γ el peso para la tendencia (peso entre 0 y 1)

S_t = estacionalidad en el tiempo t y δ el peso para la estacionalidad (peso entre 0 y 1)

p = periodo estacional

Y_t = es el valor de los datos en periodo t

\hat{y}_t = valor del pronóstico para el periodo t

La diferencia entre estas dos variaciones del modelo Holt-Winters, es que el modelo multiplicativo se divide por el factor estacional, mientras que al aditivo se le resta el factor estacional, de esta forma el efecto multiplicativo se presenta cuando el patrón estacional en los datos depende del tamaño de los datos, es decir, cuando la magnitud del patrón estacional incrementa conforme a los valores aumentan y decrece cuando los valores de los datos disminuyen, mientras que en el modelo aditivo el patrón estacional no cambia conforme los valores incrementan o disminuyen.

Para ambos casos el procedimiento es el mismo, primero se calcula el promedio para cada una de las últimas estaciones de datos y se calcula la tendencia de crecimiento promedio, luego se calcula el promedio global para estimar la constante de nivel, después se calculan los factores estacionales para cada estación y se normalizan, y por último se pronostica para t periodos en el futuro.

F. Regresión lineal

Es el más conocido en los modelos asociativos de pronósticos, donde se considera casi siempre múltiples variables (ya sea publicidad, movimientos de la competencia, etc.). Una vez determinadas las variables, se construye un modelo estadístico que se usa para pronosticar. Cuando la variable dependiente (generalmente eje "x" del plano cartesiano) cambia con el transcurso del tiempo (eje "y" en el plano cartesiano) estamos frente a un análisis de series de tiempo, pero si la variable cambia a raíz de una alteración en otra variable, se trata de una relación causal o de un modelo asociativo.

La ecuación de la regresión lineal es la siguiente:

$$Y = a + bx$$

Donde,

Y = variable dependiente

a = intersección con el eje "y"

b = pendiente de la recta

x = variable independiente

2.1.5. Errores de pronóstico

El error se refiere a la diferencia entre el valor de pronóstico y lo que en realidad ocurrió. Mientras el valor del pronóstico esté dentro de los límites de confianza, no se trata realmente de un error, pero es común referirse a la diferencia como si lo fuera.

Un error puede ser sistemático o aleatorio. Los sistemáticos son los que se cometen consistentemente. Algunas de las causas son: excluir variables correctas, utilizar relaciones equivocadas entre variables; emplear líneas de tendencia incorrecta y no darse cuenta de que existe alguna tendencia secular. Por otra parte, los errores aleatorios son aquellos que no se pueden explicar con el modelo de pronóstico que se usa.

Su ecuación está dada por:

$$Et = Y_t - F_t$$

Donde,

Et = Error del pronóstico

Y_t = Valor real en el periodo t

Existen varias medidas para calcular el error global del pronóstico, estas medidas se utilizan para comparar los distintos modelos de pronósticos, como también se usan para observar los pronósticos y asegurar que tengan un buen resultado. Hay 3 medidas populares:

A. Desviación absoluta media

Desviación media absoluta (MAD, por sus siglas en inglés, mean absolute deviation). Una vez más, la fórmula puede deducirse a partir del nombre del término. Literalmente significa el promedio de las desviaciones absolutas matemáticas de los errores de pronóstico (desviaciones). La fórmula, por lo tanto, es:

$$DAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_i|$$

Donde,

E_i = error en el periodo i
 n = número de periodos

B. Error cuadrático medio

También conocido como “MSE” (mean squared error). Es en donde se calcula la diferencia de la demanda real menos la demanda elevada al cuadrado, luego estos valores promedian, para obtener el error cuadrático medio.

La ecuación es:

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i)^2$$

Donde,

E_i = error en el periodo i
 n = número de periodos

Una desventaja de este método de medición es que acentúa las desviaciones más grandes debido al término al cuadrado.

C. Error porcentual absoluto medio

Este tipo de medición “MAPE” (Mean absolute percent error) o “EPAM”, se utiliza para analizar valores que se pronosticaron en grandes unidades (millares, por ejemplo). Ya que se calcula como el promedio de las diferencias absolutas encontrada entre los valores pronosticados y los reales y se expresa como un porcentaje de los valores reales. De tal manera, si se ha pronosticado n periodos y los valores reales corresponden a esa misma cantidad de periodos, el MAPE se calcula como:

$$EPAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{100|E_i|}{Y_i}$$

Donde,

E_i = Error en el periodo i
 Y_i = El valor real en el periodo i
 n = Número de periodos

Los productos utilizados en el análisis del caso se comportan de manera diferente y son independientes entre sí, por esto no se escogerá un solo tipo de pronóstico para ser aplicado de forma general. Se observarán los comportamientos de las demandas de cada producto, para analizar los métodos que puedan ser utilizados y así sugerir uno de ellos.

Como se explicó al inicio del capítulo de pronóstico, se trabajarán los métodos cuantitativos, debido a que permiten respuestas empíricas y observaciones comprobables mediante la utilización de datos numéricos, a diferencia de los modelos cualitativos que recopilan información en palabras. Dentro de los modelos cuantitativos se ocuparán los de serie de tiempo porque se adaptan a la situación de la empresa. El modelo de regresión lineal no se ocupará, ya que la empresa no cuenta con registros que sean utilizables como variable independiente.

2.2. Gestión de inventario

La gestión de inventario parte de la base de la definición de una política de inventario, que consiste en un procedimiento que permite a la empresa tener la suficiente cantidad de productos disponibles, para satisfacer diversas necesidades en el momento adecuado. Para ello se debe contar con conocimiento global del proceso de la compañía, que indique estimaciones de demanda, capacidad de almacenamiento y disponibilidad de costos asociados. El fin es determinar cuánto producto se debe ordenar y cuándo hacerlo.

2.2.1. Clasificación de inventario

Existen diversas clasificaciones de inventario según las necesidades de uso de los datos. A continuación, se presentará la más utilizada; según la forma de producto a inventariar.

Materia prima (MP).

Corresponde a los insumos y componentes comprados a entes externos, para su modificación en el proceso productivo.

Producto en proceso (PP).

Son productos que han sido modificados desde su adquisición, pero deben quedar inventariados para su póstumo cambio y transformarse en producto final.

Producto terminado (PT).

Es el producto listo a comercializar, se almacenan con fines de despacho.

2.2.2. Costos de inventario

Para determinar las cantidades y períodos de solicitud de lotes, se debe considerar el costo total de inventario, es decir, todos los costos que conlleva el proceso de producir y almacenar productos (Taha, 2012).

Costo del artículo.

Precio unitario de adquisición o producción de un producto. Los costos del producto adquirido incluyen el envío, transporte y los impuestos, mientras que los productos manufacturados incluyen los costos de materias primas, mano de obra y energía utilizada. En general el costo del artículo dependerá además del volumen del lote solicitado.

Costo de preparación y colocación de pedido.

Dependen del formato de adquisición, tiempo de demora del sistema informático, envío de la orden de compra y todo lo que incluya el proceso de compra. Dicha suma no varía con el volumen del lote, y por ende se consideran costos fijos.

Costo de mantenimiento.

Es el costo de mantención de las existencias dentro de la empresa, incluye los intereses sobre el capital, el costo de almacenamiento y manejo de los productos.

Costo por escasez o costo de agotamiento.

Ocurre cuando un producto determinado no puede satisfacer la demanda solicitada. Supone pérdidas potenciales en los ingresos, al no vender por una mala gestión en pronosticar la demanda.

Costo total del inventario.

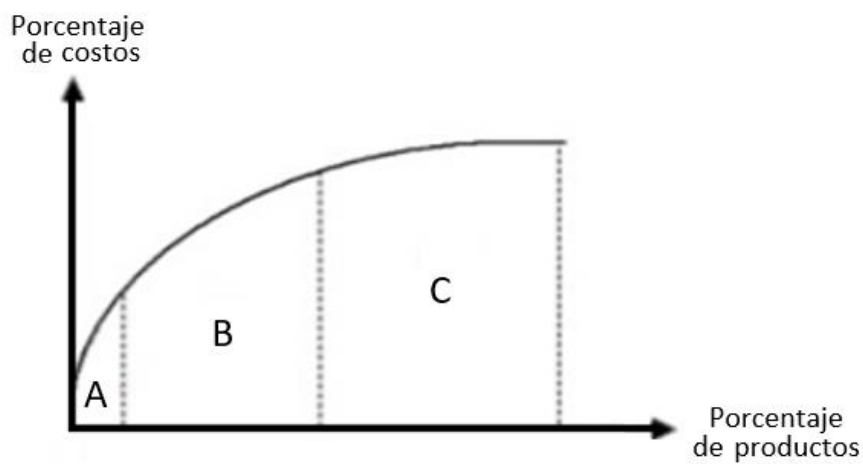
Corresponde a la sumatoria de los costos anteriormente mencionados (artículo, preparación y colocación de pedido, mantenimiento y agotamiento).

2.2.3. Sistemas de inventario

A. Sistema de clasificación ABC

Cuando en los inventarios existen múltiples productos como para analizarlos de forma individual, es que se debe hacer una clasificación en tres grandes grupos denominados: A, B y C. Los productos clase A son los que poseen la mayor inversión de la compañía y se consideran los más importantes para el funcionamiento económico de ésta. Sucesivamente, los productos clase B y C se consideran cada vez menos importantes con respecto al resto y representan menor porcentaje de inversión. Coincidentemente, los productos de mayor inversión e importancia equivalen a menor cantidad de tipos de productos con respecto al resto. Dicha situación se explica gráficamente en la *Figura 2.1*.

Figura 2.1: Modelo de clasificación ABC de inventarios.



Los criterios de clasificación de productos varían según la influencia total. Más allá de la demanda y el valor económico, es importante considerar factores como el grado de obsolescencia, el impacto en la ausencia del producto para la empresa, la certeza y el tiempo de entrega. Luego de la clasificación, se debe priorizar el inventario del grupo A, sobre el B y el C, que poseen controles menos estrictos.

B. Modelo de inventario de periodo único

Tal como el nombre del modelo indica, se debe calcular el inventario necesario para satisfacer las demandas de productos o servicios de ocurrencia única. Ejemplo de lo anterior pueden ser productos que estén relacionados a un evento específico, como un concierto o un partido de football, reservaciones de habitaciones de un hotel o de vuelo para una fecha determinada, periódicos con las noticias actuales, artículos de moda o artículos que tengan comportamiento de venta con estacionalidad.

El riesgo de este modelo se puede presentar de dos formas. Si se subestima el inventario, existe riesgo por agotamiento, generando un aumento en el costo de oportunidad de haber tenido mayor inventario. Por otro lado, si se sobrestima el inventario, las piezas no comercializadas se pierden. Se debe encontrar un punto de equilibrio que determine la cantidad óptima a solicitar, el cual se basa en la ecuación de costo marginal esperado:

$$P(C_o) \leq (1 - P)C_u$$

Donde,

P= probabilidad de que la unidad no se venda.

1-P= probabilidad de la unidad se venda.

C_o= costo por unidad de la demanda sobrestimada.

C_u= costo por unidad de la demanda subestimada.

Al despejar el valor P se obtiene:

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u}$$

Esta ecuación establece que se debe continuar para aumentar el tamaño del pedido, siempre y cuando la probabilidad de no vender lo que se pide sea igual o menor que la razón C_u/(C_o + C_u). (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

Luego, se debe encontrar el punto en la distribución de la demanda que corresponde a P, determinando por el cálculo de la desviación estándar con la tabla de calificación Z. Finalmente, la cantidad de pedido a solicitar corresponde a la demanda proyectada sumada a la desviación estándar.

C. Modelo de cantidad de pedido económico (EOQ- economic order quantity)

También llamado modelo de cantidad de pedido fija o modelo Q.

Calcula la cantidad de pedido o producción del producto, minimizando los costos de colocación del pedido y el de manejo de inventarios. Se basa en las siguientes hipótesis:

- ∞ La tasa de demanda por artículo es constante en el tiempo y uniforme durante todo el periodo.
- ∞ El precio por unidad de producto es constante.
- ∞ El costo de mantenimiento de inventario se basa en el inventario medio.
- ∞ El tiempo de entrega de pedido es constante.
- ∞ Costos totales de pedido o preparación son constantes.
- ∞ Se debe cubrir toda la demanda del producto, evitando acumulación de pedidos.

El presente modelo fue creado por Ford Harris en 1915 y está representado por:

$$EOQ = Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{H}}$$

Donde,

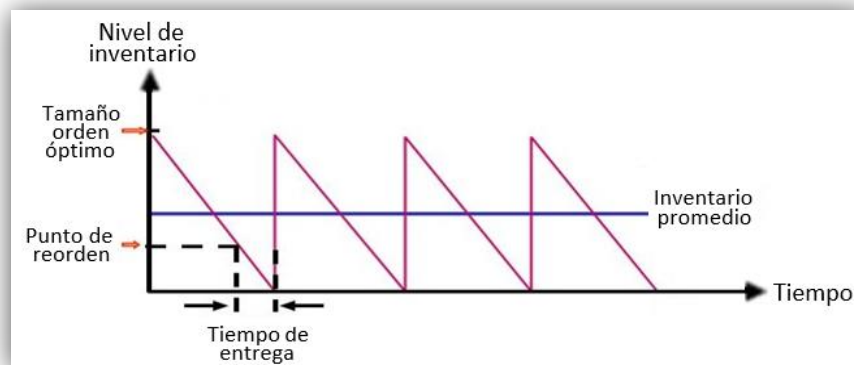
Q*= Cantidad óptima a ordenar.

D = Demanda medida en unidades anuales.

K = Costo de emitir una orden.

H = Costo asociado a mantener una unidad en inventario en un año.

Figura 2.2: Diagrama de nivel de inventario modelo EOQ clásico.



La Figura 2.2 representa gráficamente la versión clásica del modelo estadístico de lote económico. En ella se aprecia que según avanza el tiempo los productos disminuyen, debido a su comercialización, de manera constante y cíclica, formando una especie de

triángulos rectángulos. La altura de cada triángulo representa el tamaño óptimo de pedido que minimiza la función de costos totales. La base del triángulo es el tiempo que pasa desde que se recibe la orden hasta que se termina el lote, es decir, el tiempo de ciclo.

Para realizar el pedido de Q^* unidades para los próximos periodos se debe determinar el punto crítico de inventario o punto de reorden, que ocurre al comienzo del tiempo de espera conocido y posterior al agotamiento de la mitad del inventario inicial. El punto de volver a pedir o punto de reorden, evita quiebres de inventario, ya que cuando se agota en su totalidad se dispone inmediatamente de un nuevo lote. Entonces:

$$R = \bar{d}L$$

Donde,

R = punto de reorden.

\bar{d} = demanda diaria promedio.

L = tiempo de entrega en días.

D. Modelo EOQ con inventario de seguridad

Para evitar inexistencias en el inventario previas al reabastecimiento de productos, se puede contar con inventario de seguridad, que permita la disponibilidad de productos en casos extremos tales como una demanda excesiva e inesperada.

En este caso la cantidad de pedido se calcula de la misma manera, pero el punto de reorden tiene una variación, que se muestra a continuación:

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L$$

Donde,

R= unidades del punto de reorden.

\bar{d} = demanda diaria promedio.

L= tiempo de entrega en días.

Z= número de desviaciones estándar para una probabilidad de servicio específica.

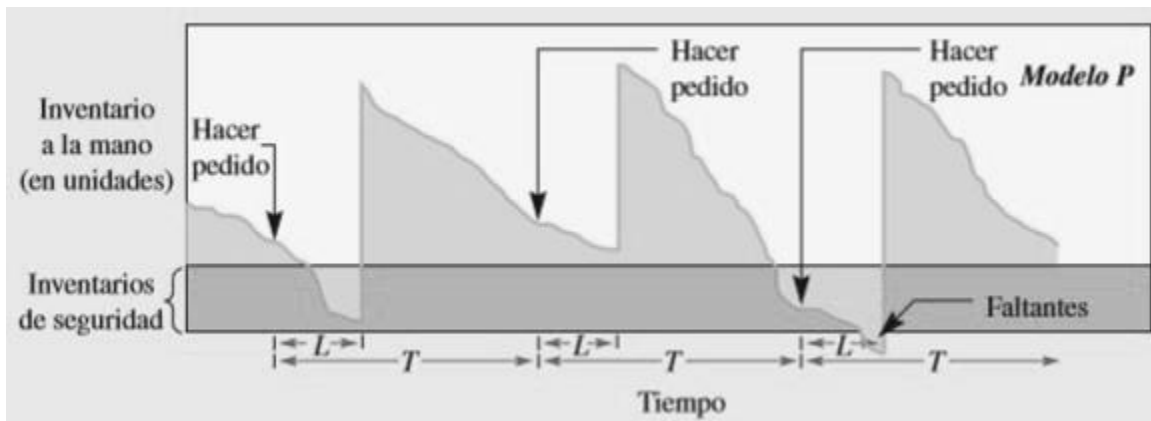
σ_L = desviación estándar del uso durante el tiempo de entrega.

$z\sigma_L$ = inventario de seguridad

E. Modelo de periodo fijo

El presente modelo se basa en el tiempo de solicitar los pedidos, el inventario es contado cada cierto momento establecido por lo que se considera fijo, generando cantidades de pedido que varían en el tiempo. Debido a lo anterior, se debe considerar un inventario de seguridad más elevado que para otros modelos, ya que de agotarse los productos se deberá esperar hasta el siguiente periodo de pedido.

Figura 2.3: diagrama del modelo de revisión periódica.



Fuente: (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009)

La Figura 2.3 muestra el comportamiento del modelo de revisión periódica. T corresponde al periodo de revisión y L al tiempo de entrega, ambos factores comienzan a contar en el mismo punto.

▪ Modelo de periodo fijo con inventario de seguridad.

En el sistema de periodo fijo, los pedidos se vuelven a hacer en el momento de revisión, y el inventario de seguridad necesario de volver a pedir es: $z\sigma_{T+L}$ (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009), y la cantidad de pedido se determina con:

$$q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I$$

Donde,

q= cantidad a pedir.

\bar{d} = demanda diaria promedio pronosticada.

T= número de días entre revisiones.

L= tiempo de entrega en días

z= número de desviaciones estándar para una probabilidad de servicio específica.

σ_{T+L} = desviación estándar de la demanda durante el periodo de revisión y entrega.

I= nivel de inventario actual (se incluye el pedido solicitado).

F. Modelo de precio descontado

El presente modelo corresponde al EOQ clásico, con una pequeña variación en cuanto a los precios de los productos, que dependen de la cantidad de pedido. Es decir, mientras mayor cantidad de productos se soliciten, los precios tendrán un descuento por unidad según el rango estipulado (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009). Entonces la formula queda como:

$$EOQ = Q^* = \sqrt{\frac{2DK}{iC}}$$

Donde antes la letra H significaba costo anual de mantenimiento y almacenamiento, es reemplazado por iC que corresponde a un porcentaje del costo de la pieza, donde i es un porcentaje de costo de manejo.

G. EOQ de varios artículos con limitación de almacenamiento

Inicialmente en este modelo se utilizaba un algoritmo Lagrangeano. Actualmente, existen programas de computación más avanzados que sustituyen este método. Corresponde a una variación del EOQ clásico, que se aplica en los casos donde los artículos compiten por un espacio de almacenamiento limitado, y no se permiten faltantes (Taha, 2012). Conforme a esto, el modelo es:

$$\text{Minimizar } TCU(y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i D_i}{y_i} + \frac{h_i y_i}{2} \right)$$

Restringido a,

$$\sum_{i=1}^n a_i y_i \leq A$$

$$y_i > 0; i = 1, 2, \dots, n$$

Para la resolución del problema, se toma en cuenta la situación sin restricción:

$$y_i^* = \sqrt{\frac{2K_i D_i}{h_i}}; i = 1, 2, \dots, n$$

Si la solución satisface la restricción, entonces el proceso termina. De lo contrario, la restricción es obligatoria y debe ser activada.

Sea $i = 1, 2, \dots, n$,

D_i = Tasa de demanda

K_i = Costo de preparación

h_i = Costo de retención unitario por unidad de tiempo

y_i = Cantidad de pedido

a_i = Requerimiento de área de almacenamiento por unidad de inventario

A = Área de almacenamiento máxima disponible para todos los n artículos

H. Modelo de disponibilidad de múltiples productos con restricciones de capacidad.

Al igual que el modelo anterior, los diversos productos compiten por un espacio de almacenamiento, para ello se debe llegar a un punto de equilibrio de pedido que conlleve a menores costos. Para calcular el nivel óptimo de disponibilidad de cada producto, se utiliza la fórmula de probabilidad del modelo de periodo único:

$$CSL^* = Prob(Demanda \leq Q^*) = P \leq \frac{c_u}{c_o + c_u}$$

La cantidad óptima de pedido Q^* se calcula con la distribución normal estándar inversa. Para ello se debe comprobar que la demanda posea una distribución normal durante la temporada evaluada, con una media μ y una desviación estándar σ .

Si la suma de las cantidades óptimas de los productos, sobrepasan el límite de almacenamiento de la bodega, se debe determinar cuáles y cuánto producto disminuir. Para ello, se calcula la contribución marginal de cada producto de la siguiente manera:

$$MC_i(Q_i) = p_i[1 - F_i(Q_i)] + s_i F_i(Q_i) - c_i$$

Sea i un tipo de producto,

MC_i = contribución marginal de i .

Q_i = cantidad de i .

p_i = precio al detalle de i .

F_i = probabilidad de demanda de i .

s_i = valor de rescate de i .

c_i = costo de i .

En conclusión, se realiza el siguiente procedimiento para alcanzar el punto de equilibrio de pedidos:

1. Establecer la cantidad $Q_i = 0$ para todos los productos i .
2. Calcular la contribución marginal esperada $MC_i(Q_i)$ para cada producto i .

3. Si la contribución marginal esperada no es positiva, parar. Si no, sea j el producto con la mayor contribución marginal esperada. Incrementar Q_j en una unidad.
4. Si la cantidad total de todos los productos es menor que el límite de almacenamiento, regresar al paso 2. Si no, la restricción de la capacidad ha sido cumplida y las cantidades actuales son las óptimas.

I. Método heurístico Silver-Meal

Es un método que se utiliza cuando el costo de la producción unitario es constante e igual para todos los periodos (Taha, 2012). Busca obtener el costo promedio mínimo para la orden de compra más el costo de mantener el inventario por periodo, en función del número de periodos futuros que el pedido actual generará.

El cálculo se detiene cuando la función se incrementa y se basa en la siguiente ecuación:

$$K(m) = \frac{1}{m}(A + HD_2 + 2HD_3 + \dots + (m - 1)HD_m)$$

Donde,

$m = 1, 2, \dots, n$. Se detiene el procedimiento cuando $K(m+1) > K(m)$.



$K(m)$ = Costo variable promedio por periodo.

A = Costo de la orden de compra o de preparación para la producción.

H = Costo de mantenimiento del inventario por periodo.

D_m = Demanda por periodo.

A continuación, se muestran dos situaciones particulares donde este modelo no funciona correctamente:

-  Cuando la tasa de demanda se reduce rápidamente con el tiempo.
-  Cuando hay un número grande de periodos con demanda igual a 0.

J. Modelo costo unitario mínimo (CUM)

Este modelo es similar al heurístico de Silver-Meal, con la diferencia que la toma de decisión se basa en el costo variable promedio por unidad y no por periodo. Su ecuación es la siguiente:

$$K'(m) = \frac{A + HD_2 + 2HD_3 + \dots + (m-1)HD_m}{D_1 + D_3 + \dots + D_m}$$

Donde,

$m = 1, 2, \dots, n$. Se detiene el procedimiento cuando $K'(m+1) > K'(m)$.

$K'(m)$ = Costo variable promedio por unidad.

A = Costo de la orden de compra o de preparación para la producción.

H = Costo de mantenimiento del inventario por periodo.

D_m = Demanda por periodo.

K. Modelo de Wagner-Whitin

El objetivo es minimizar el costo de ordenar y mantener el inventario. Se basa en una programación dinámica, que evalúa todas las posibilidades para satisfacer la demanda por periodo, utilizando el siguiente algoritmo:

$$K_{t,l} = A + H \left[\sum_{j=t+1}^l (j-t)D_j \right]; j \geq l$$

$$t = 1, 2, \dots, n; l = t + 1, t + 2, \dots, n$$

$$K_l^* = \min_{t=1,2,\dots,l} (K_{t-1}^* + K_{t,l})$$

$$l = 1, 2, \dots, N$$

Donde,

A = Costo de orden de compra o de preparación para la producción.

H = Costo de mantenimiento del inventario por período.

D_j = Demanda para el periodo j .

K_l^* = Costo mínimo del periodo 1 al l , con inventario cero al final del período l . K_0^* se define como cero, y K_N^* se refiere a la solución de costo mínimo.

L. Modelo matemático

La investigación de operaciones resuelve problemas de optimización, donde se deben definir 3 componentes básicos: variables, objetivos y restricciones. Las variables se refieren a las decisiones a determinar; los objetivos corresponden a las metas a optimizar, ya sea maximizando (utilidad, producción) o minimizando (costos, tiempos) diversos factores; y finalmente, las restricciones indican los límites de los recursos que se deben considerar para obtener la solución óptima.

Para comprender el funcionamiento de un modelo matemático se propondrá un ejemplo, relacionado con la gestión de inventario. Suponer que se quiere optimizar un plan de negocios que sea más económico para una empresa que vende productos, en que se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- ∞ La demanda durante el periodo t es conocida y vale $D(t)$
- ∞ El costo de compra del artículo se determina por C_a .
- ∞ Cada vez que se ordena el pedido se considera C_p como el costo de preparación de pedido.
- ∞ El costo de mantenimiento de inventario es C_m para cada unidad y periodo.
- ∞ La entrega y la demanda de productos ocurren al principio del periodo.
- ∞ El inventario inicial (I_0) es cero.
- ∞ El costo de inventario se genera al final de cada periodo.
- ∞ El objetivo será minimizar los costos de inventario total, sin permitir retrasos en entrega.

$$\min \sum_{t=1}^T [C_p \delta(y_t) + C_m I_t]$$

Sujeto a:

$$I_t = I_{t-1} + y_t - d_t$$

$$I_0 = 0$$

$$I_t, y_t \geq 0$$

$\delta(y_t)$ vale 1 si $y_t > 0$ y 0 en caso contrario.

2.2.4. Determinación del modelo elegido

En el presente capítulo se describen diversos modelos de inventario que pueden utilizarse en diferentes situaciones, dependiendo de las condiciones que tenga cada empresa al momento de gestionar su inventario. En términos generales, dichos modelos se pueden clasificar según la herramienta que se utilice al momento de resolverse, es decir, de forma heurística o de optimización.

Un método heurístico resulta más sencillo de resolver, ya que no conlleva necesariamente cálculos matemáticos complejos, y se pueden obtener resultados en un corto periodo de tiempo. Sin embargo, la solución es satisfactoria y no necesariamente óptima.

Un método de optimización, como su nombre lo indica, permite encontrar la solución óptima, mediante restricciones que ayudan a delimitar el problema y existen muchos Software que ayudan a resolverlo, sin embargo, se debe tener conocimiento para el manejo de éstos. Además, el tiempo en encontrar la solución puede ser más extenso debido a la complejidad de conlleva este método.

En el caso de estudio se utilizará la metodología de optimización, eligiendo así el modelo matemático. Esta elección se debe a que es un modelo más completo, y si bien no es el método más sencillo de utilizar, es el que entrega una solución óptima, permitiendo incluir las restricciones que tiene actualmente Madegom. Debido a que no se utilizará una gran cantidad de productos y recursos, es que el modelo matemático de inventario no debiera resultar tan extenso ni requerir demasiado tiempo en su resolución.

Más adelante se estudiará si existe otro tipo de restricción como almacenamiento de productos o restricciones de envío, para poder adecuar el modelo a la realidad de la empresa.

Capítulo 3: Desarrollo

3.1. Introducción

Para el desarrollo de la memoria de título, primero se analizará la situación actual de la compañía, partiendo por clasificar los productos más influyentes en las ganancias de la empresa y recopilando la información pertinente para cuantificar el problema en el cual se trabajará. Se construirán pronósticos de demanda para cada producto según su comportamiento histórico, para luego agrupar los datos obtenidos en un resumen de selección de métodos. Finalmente, se determinará el modelo de inventario que mejor se adapte a la situación de la empresa y que nos permita alcanzar el objetivo de reducir los atrasos de los pedidos.

3.2. Situación actual y antecedentes de la empresa

3.2.1 Clasificación de productos

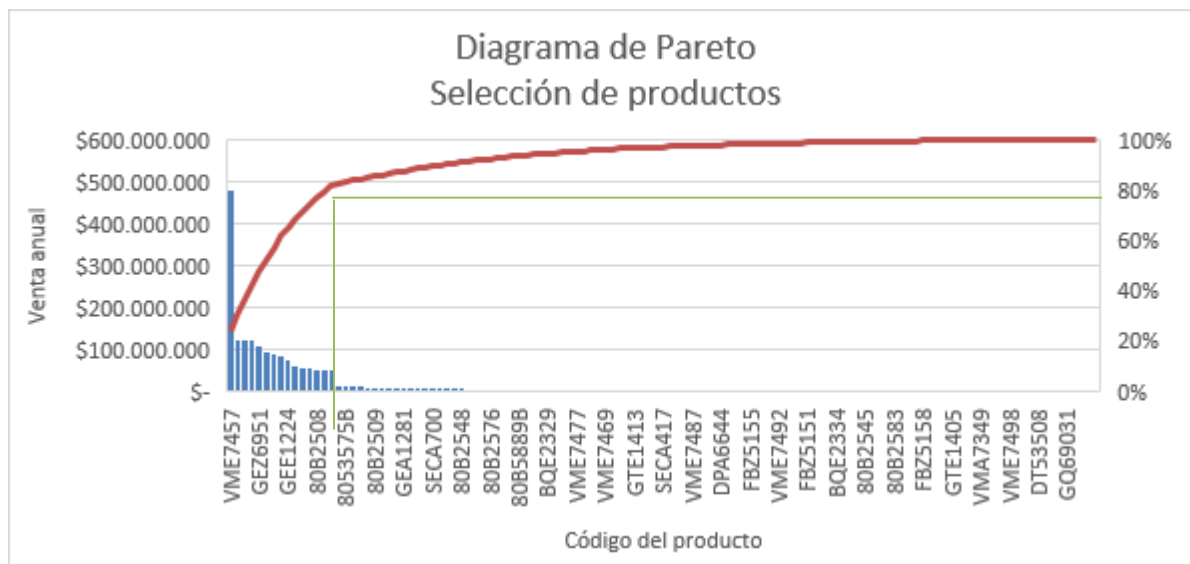
Madegom S.A. cuenta con una gran variedad de productos, dentro de los cuales se destacan los guantes quirúrgicos de látex, que corresponden al 24% del total de productos y están dentro de los más demandados por los clientes. Estos productos proceden de importaciones y de producción en la misma empresa. Si bien los productos producidos por la empresa se posicionan dentro de los más demandados y generan mayores ventas, no participan en el problema que se evalúa, ya que en caso de no encontrarse en el inventario, se producen en el momento, no generando grandes dificultades para abastecer los pedidos a tiempo. Es por esto, que de ahora en adelante cuando se mencionen las ventas de la empresa, se referirá solo a los productos importados.

En el caso de estudio, se debe determinar cuáles son los productos importados más influyentes en relación con las ventas totales, ya que enfocarse en todos los productos dificultaría el encontrar una posible herramienta de mejora.

En el año 1906, Vilfredo Pareto observó que alrededor del 20% de los productos comercializados en una empresa conformaban cerca del 80% de las ventas. De esta forma, es correcto establecer prioridades distintas a cada producto o categoría según su respectiva relevancia (Schroeder, 1992). En el *Gráfico 3.1*, se determina que el 81,87% de las ventas son generadas por 15 productos, detallados más adelante en la *Tabla 3.1* con su respectivo

código y descripción. Por ser los más influyentes en las ventas de la compañía, debido a su mayor demanda, son los que conllevarán un cambio positivo más significativo a nivel global, si se mejora su disponibilidad.

Gráfico 3.1: Diagrama de Pareto para determinar la selección de productos.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1: Código del producto y descripción de los 15 productos seleccionados.

N°	Producto	Descripción
1	80B2506	Envoltorio stericlín fuelle 10x200 S
2	80B2508	Envoltorio stericlín fuelle 25x200 S
3	GEE1066	Guante de procedimiento nitrilo blanco L
4	GEE1222	Guante nitrilo cobalto S
5	GEE1223	Guante nitrilo cobalto médium
6	GEE1224	Guante nitrilo cobalto L
7	GEZ6951	Guante de examinación libre de polvo premium S
8	GEZ6952	Guante de examinación libre de polvo premium M
9	GQ66531	Guante libre de látex n°6 ½
10	GQ67031	Guante libre de látex n°7
11	GQ67531	Guante libre de látex n°7 ½
12	GTE1401	Gasa no tejida estéril 5x5 cms
13	GTE1420	Apósito estéril 20x25 cms
14	RDE7413	Pato urinario desechable
15	VME7457	Pechera plástica desechable standard

Fuente: Elaboración propia.

Los 15 productos seleccionados, se caracterizan por ser importados y almacenados en la bodega principal, donde comparten un espacio en común, y al ser los que más se venden deben tener una cantidad considerablemente mayor que otros en el inventario. La empresa tiene claro que estos productos junto a los que manufactura son los más solicitados por los clientes y requieren más atención que otros, sin embargo, hasta ahora no han podido satisfacer la demanda total, respetando los tiempos pactados con los clientes.

3.2.2 Dimensiones de productos y capacidad de almacenamiento.

En Madegom, los productos terminados son almacenados en una bodega principal, donde se distribuyen tanto los productos importados como los de fabricación propia. Para el caso de estudio, se debe determinar el espacio que la empresa facilita para almacenar los 15 productos seleccionados.

La disponibilidad de la empresa consta de 434 racks de almacenamiento y las dimensiones de cada rack es un dato conocido que fue entregado por la empresa. Con esta información se obtuvo la capacidad volumétrica destinada para los 15 productos, cuyos datos están resumidos en la *Tabla 3.2*.

Tabla 3.2: Medidas de Rack y capacidad de almacenamiento.

Medidas de cada Rack			Capacidad 15 productos
L [m]	A [m]	H [m]	V [m ³]
1,8	0,9	1,5	1.054,6

Fuente: Elaboración propia, con información otorgada por la empresa.

Además, se determinaron las dimensiones de los 15 productos, para determinar el volumen en m³ que ocupa cada producto, tal como indica la *Tabla 3.3*.

Tabla 3.3: Dimensiones 15 productos.

Código	L [m]	A [m]	H [m]	V [m ³]
VME7457	0,500	0,180	0,250	0,023
GEE1223	0,230	0,120	0,070	0,002
GQ67031	0,270	0,150	0,220	0,009
GQ67531	0,270	0,150	0,220	0,009
GEZ6951	0,240	0,120	0,070	0,002
GEE1222	0,230	0,120	0,070	0,002
GQ66531	0,270	0,150	0,220	0,009
GEZ6952	0,240	0,130	0,070	0,002
GEE1224	0,230	0,120	0,070	0,002
GEE1066	0,230	0,120	0,070	0,002
GTE1401	0,320	0,200	0,250	0,016
GTE1420	0,530	0,260	0,435	0,060
80B2508	0,260	0,220	0,220	0,013
80B2506	0,100	0,220	0,220	0,005
RDE7413	0,200	0,110	0,200	0,004

Fuente: Elaboración propia, con información otorgada por la empresa.

3.2.3 Índices de atrasos y disponibilidad de productos.

Actualmente en Madegom se observa un problema de atrasos en los pedidos. Según los registros de la empresa, en el último año el 66% de los pedidos totales fueron entregados en el plazo correspondiente. El no cumplimiento provoca un descontento en los clientes, quienes pueden no aceptar el pedido cuando ya está disponible. Además, los atrasos desordenan los despachos y aumentan la cantidad de viajes que se deben hacer en los repartos, ya que los pedidos que se pudieron entregar en un viaje, en ocasiones se entregan en 2 o más.

La *Tabla 3.4*, indica los pedidos solicitados por los clientes entre noviembre del 2015 y octubre del 2016, y también indica el cumplimiento de pedido por parte de la empresa a nivel unitario y porcentual. Los pedidos considerados son aquellos que contienen uno o más de los 15 productos seleccionados.

En el *Gráfico 3.2*, se muestran los datos de manera comparativa entre los pedidos solicitados y los cumplidos para el mismo periodo antes señalado, dando notoriedad en la diferencia entre ambas curvas, lo que es una demostración del bajo nivel de servicio que tiene Madegom actualmente. Entre los meses evaluados, el mayor nivel de cumplimiento

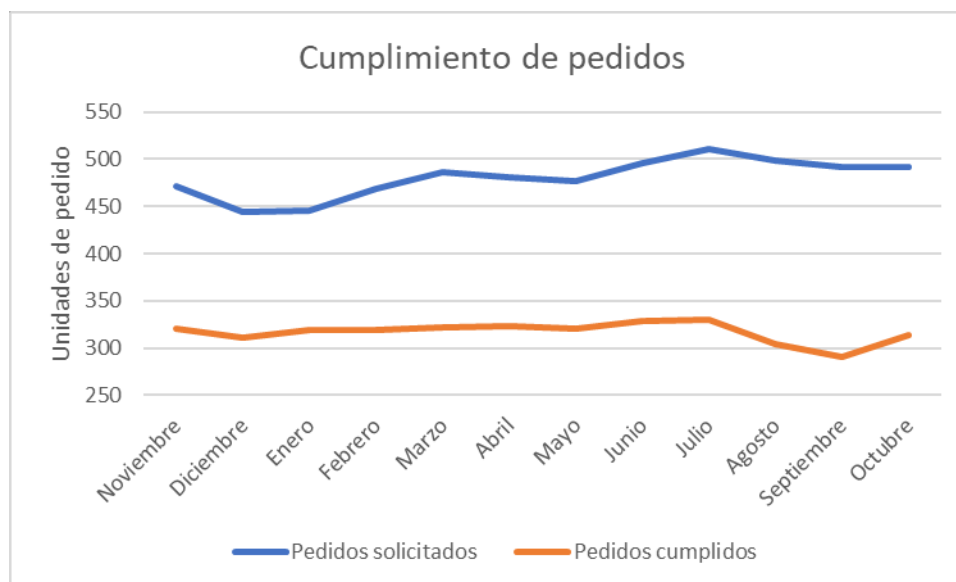
es del 72%, lo que sigue siendo muy bajo según la expectativa de la empresa, por lo que dentro de lo que se espera conseguir es una mejora significativa en el nivel de servicio.

Tabla 3.4: Cumplimiento de pedidos.

Pedidos cumplidos			
Mes	Pedidos solicitados (Un)	Pedidos cumplidos (Un)	Pedidos cumplidos (%)
Noviembre	472	321	68%
Diciembre	445	311	70%
Enero	445	319	72%
Febrero	469	319	68%
Marzo	486	322	66%
Abril	481	324	67%
Mayo	477	321	67%
Junio	496	329	66%
Julio	511	330	65%
Agosto	498	304	61%
Septiembre	492	290	59%
Octubre	492	313	64%
Total	5.761	3.802	66%

Fuente: Elaboración propia, con información otorgada por la empresa.

Gráfico 3.2: Pedidos solicitados vs pedidos cumplidos.



Fuente: Elaboración propia.

Como se explicó anteriormente, los atrasos en su mayoría son efecto de los problemas de disponibilidad de producto. En la *Tabla 3.5*, se muestra la disponibilidad de los últimos 12 meses (entre noviembre del 2015 y octubre del 2016), para tres de los productos seleccionados. En el caso de los productos 80B2506 y GEE1224 se ve que en su mayoría no se ha estado cumpliendo con las demandas y que en promedio tienen un nivel de cumplimiento de un 88% y un 92% respectivamente. El producto GTE1401 presenta un escenario menos favorable, ya que tiene un cumplimiento promedio del 69%. El resto de los productos se pueden ver en el *Anexo 1*.

Tabla 3.5: Disponibilidad de productos seleccionados durante 12 meses.

Producto Mes	80B2506			GEE1224			GTE1401		
	Dem Real	Stock	Cumplimiento	Dem Real	Stock	Cumplimiento	Dem Real	Stock	Cumplimiento
Noviembre	413	355	86%	2.051	1.550	76%	536	450	84%
Diciembre	480	365	76%	1.754	1.350	77%	480	390	81%
Enero	398	365	92%	1.890	1.900	100%	513	300	58%
Febrero	314	355	100%	1.900	1.910	100%	666	630	95%
Marzo	463	420	91%	2.021	1.810	90%	741	360	49%
Abril	343	365	100%	1.864	2.500	100%	544	520	96%
Mayo	374	375	100%	2.120	2.440	100%	666	590	89%
Junio	569	365	64%	2.088	2.320	100%	755	350	46%
Julio	505	395	78%	2.580	2.228	86%	805	320	40%
Agosto	480	405	84%	2.569	2.100	82%	670	460	69%
Septiembre	375	405	100%	2.357	2.450	100%	763	310	41%
Octubre	508	420	83%	2.298	2.100	91%	798	630	79%

Fuente: Elaboración propia, con registro de Madegom.

La *Tabla 3.6*, muestra el porcentaje de cumplimiento promedio de todos los productos en los últimos 12 meses (entre noviembre del 2015 y octubre del 2016).

Tabla 3.6: Porcentaje de disponibilidad del último año.

Producto	Cumplimiento promedio
80B2506	88%
80B2508	93%
GEE1066	93%
GEE1222	91%
GEE1223	86%
GEE1224	92%
GEZ6951	85%
GEZ6952	87%
GQ66531	76%
GQ67031	74%
GQ67531	70%
GTE1401	69%
GTE1420	84%
RDE7413	78%
VME7457	87%

Fuente: Elaboración propia, con registro de Madegom.

3.2.4 Costos de inventario.

Tal como se indica en el ítem de *Gestión de inventario* del marco teórico, Cada producto comercializado tiene 4 costos de inventario asociados: Costo del artículo, costo de preparación de pedido, costo de mantenimiento en inventario y costo de escasez del producto.

El costo del artículo es fijo para cada producto y es establecido por cada proveedor. El costo de mantener un producto lo estableció la gerencia de la empresa, donde decidieron que corresponde al 25% del costo del artículo. El costo de preparación de pedido es un costo fijo mensual para cada tipo de producto, no influye en la cantidad de producto que se pida, sino netamente si el producto está incluido dentro del pedido mensual. Finalmente, el costo de escasez de producto es definido por la empresa, la cual no entrega detalles de cómo se obtiene, pero se basa en las posibles ventas perdidas.

En la *Tabla 3.7*, se presentan los costos por cada producto. El costo de preparación de pedido es un costo fijo por mes, mientras los restantes están por cada unidad de producto. Cabe destacar que estas cifras, otorgadas por la compañía, están presentadas como un valor que se multiplica por un factor confidencial.

Tabla 3.7: Costos de inventario.

Producto	Costo artículo (por unidad)	Costo mantener (por unidad)	Costo ordenar (por pedido)	Costo escasez (por unidad)
80B2506	0,685	0,171	2,334	0,439
80B2508	1,617	0,280	3,129	1,035
GEE1066	0,208	0,036	3,864	0,133
GEE1222	0,225	0,039	2,011	0,144
GEE1223	0,227	0,039	2,872	0,146
GEE1224	0,227	0,039	3,653	0,146
GEZ6951	0,219	0,038	2,839	0,140
GEZ6952	0,219	0,038	3,167	0,140
GQ66531	4,342	0,751	3,750	2,779
GQ67031	4,311	0,746	2,082	2,759
GQ67531	4,331	0,750	2,364	2,772
GTE1401	0,576	0,100	4,624	0,368
GTE1420	1,359	0,235	4,636	0,870
RDE7413	1,861	0,322	4,010	1,191
VME7457	1,061	0,184	3,370	0,679

Fuente: Elaboración propia, con datos proporcionados por Madegom.

Estos antecedentes muestran la situación actual de la empresa a través de datos que serán útiles para analizar el problema. Enfocándose en este, el principal resultado que se espera obtener es una disminución en la cantidad de pedidos atrasados, donde se necesita un sistema que permita llevar un mejor abastecimiento de inventario. En definitiva, se necesita tener un nivel de inventario acorde a la demanda real. El propósito es realizar pronósticos de demanda que reduzcan la incertidumbre y un modelo de inventario que mantenga los niveles de productos adecuados.

3.3. Construcción pronósticos de demanda

Para la construcción de los pronósticos de demanda, se analizará la demanda histórica de los 15 productos seleccionados, correspondiente a un periodo de 36 meses que fluctúa entre noviembre del 2013 y octubre del 2016, detalle que se puede observar en el *Anexo 2*. Cada producto será evaluado de forma independiente, ya que tienen diferentes comportamientos y no se relacionan entre sí. Para comenzar, se seleccionan las demandas mensuales por producto y se grafican para ver su comportamiento, así luego analizar si existe tendencia o estacionalidad, que facilite la elección del modelo a utilizar. Una vez analizado el comportamiento de la demanda, se prueban los modelos de pronóstico que mejor se ajusten a cada producto, para luego elegir el que posea menor error y verificar si es apto para pronosticar mediante los gráficos de auto correlación y Cuantil-cuantil.

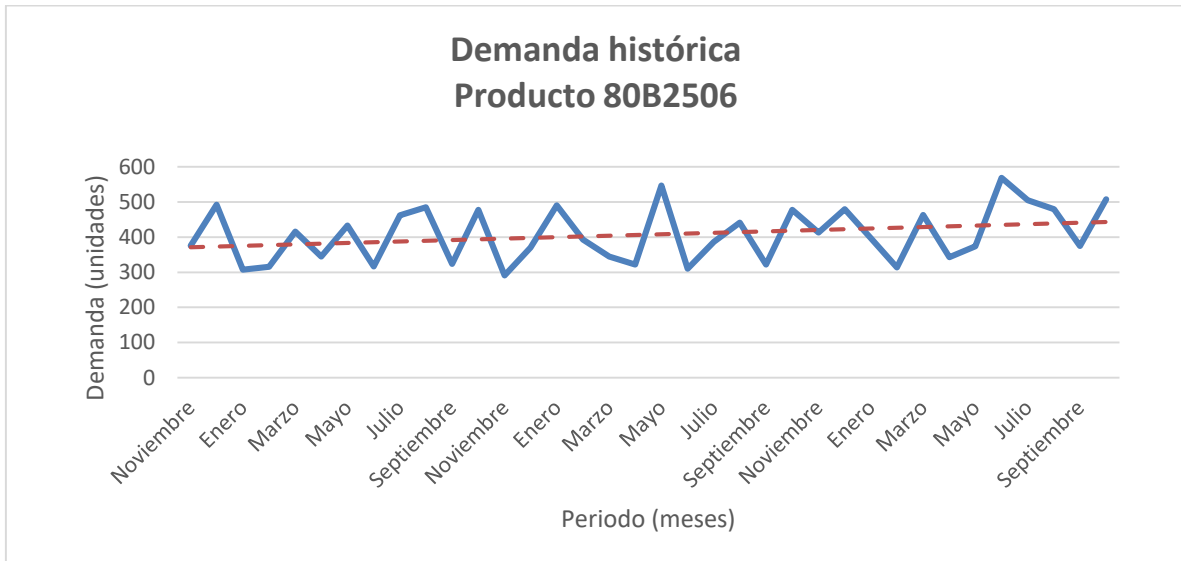
Cabe destacar que los índices que se utilizarán en el modelo de media móvil simple fluctuarán entre $k=4$ y $k=12$, porque estas constantes sirven para analizar un conjunto de datos adecuados, según la cantidad de datos que se disponen. Para el caso de los modelos de suavizamiento y de Holt Winter, que utilizan índices de alfa, beta y/o gama, se prueban diversos valores hasta aproximarse al mínimo error.

De los 15 productos seleccionados se explicarán 3 de ellos, para visualizar el paso a paso del procedimiento. El detalle del resto de los productos de adjuntará en el *Anexo 3*.

- **Producto 80B2506**

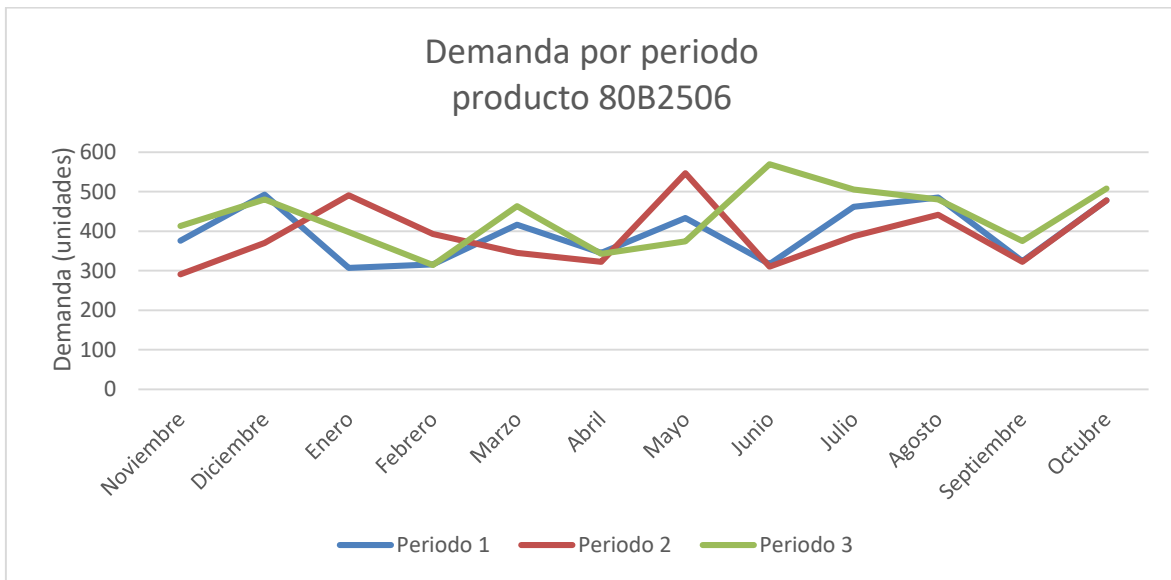
En el *Gráfico 3.3*, muestra la demanda histórica mensual del producto, donde se aprecia una leve tendencia al alza. Además, para términos de estacionalidad a partir del mes de abril del segundo año, comienza a repetirse las fluctuaciones muy parecidas a las anteriores a ese mes. En el *Gráfico 3.4*, se muestra el comportamiento por periodo donde no se ve algún patrón anual y se verifica que la demanda sigue una constancia.

Gráfico 3.3: Demanda histórica, producto 80B2506.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.4: Demanda por periodo dos últimos años, producto 80B2506.



Fuente: Elaboración propia.

Debido a que la demanda tiene una tendencia al alza muy leve, para efectos de cálculo se considerará hipotéticamente una constancia en la recta. Además, tiene un posible patrón estacional, por lo que se probó el método de media móvil simple y holt Winter, en este último se probaron ambas derivaciones (aditivo y multiplicativo), para ambos el periodo de estacionalidad fue de 17 meses, donde el patrón de estacionalidad se asemejaba más. En la *Tabla 3.8*, se muestran algunos de los pronósticos utilizados, que indican los errores más pequeños dentro de todos los evaluados. En el caso del EM, para todas las constantes arroja un valor negativo, por lo que los métodos están pronosticando valores mayores a los reales. Para calcular el pronóstico se utilizará el método **Holt-winter aditivo**, ya que presenta los menores errores.

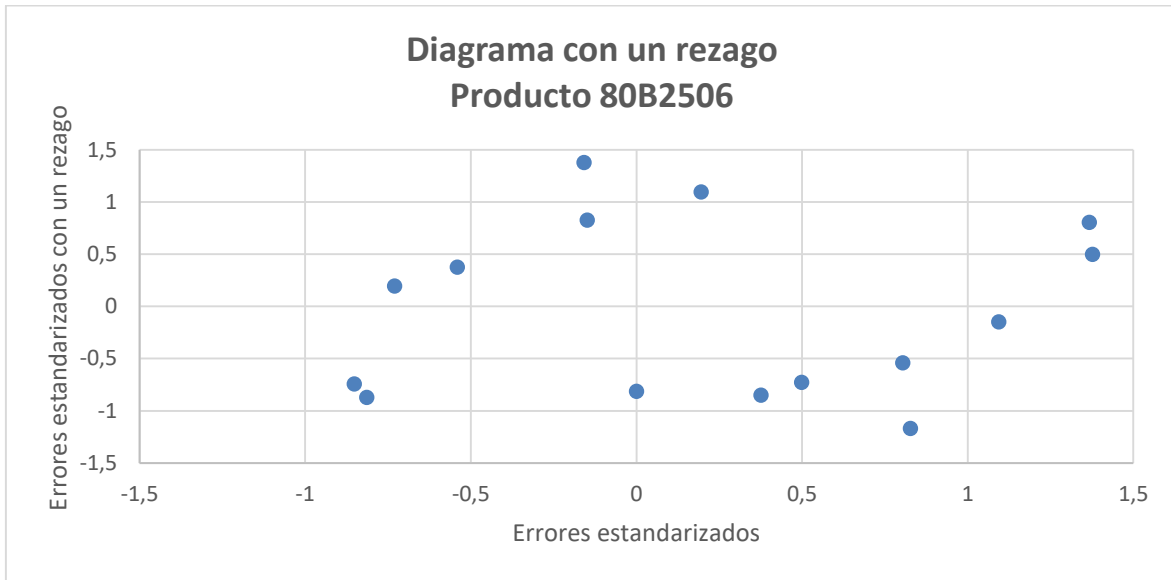
Tabla 3.8: Errores según métodos de pronóstico, producto 80B2506.

		Posibles modelos de pronóstico - Producto 80B2506				
		Media móvil simple			Holt-winter aditivo	Holt-winter multiplicativo
		K=5	K=7	K=10	$\alpha=0,020$; $\beta=0,990$; $\gamma=0,084$	$\alpha=0,015$; $\beta=0,999$; $\gamma=0,001$
ERRORES	ECM	6.578,09	6.560,03	6.080,47	3.163,72	3.244,14
	EM	-9,25	-11,32	-10,12	-12,03	-12,48
	DAM	69,92	71,02	66,70	47,40	47,94
	EPAM	17,26%	17,37%	16,31%	11,19%	11,31%

Fuente: Elaboración propia.

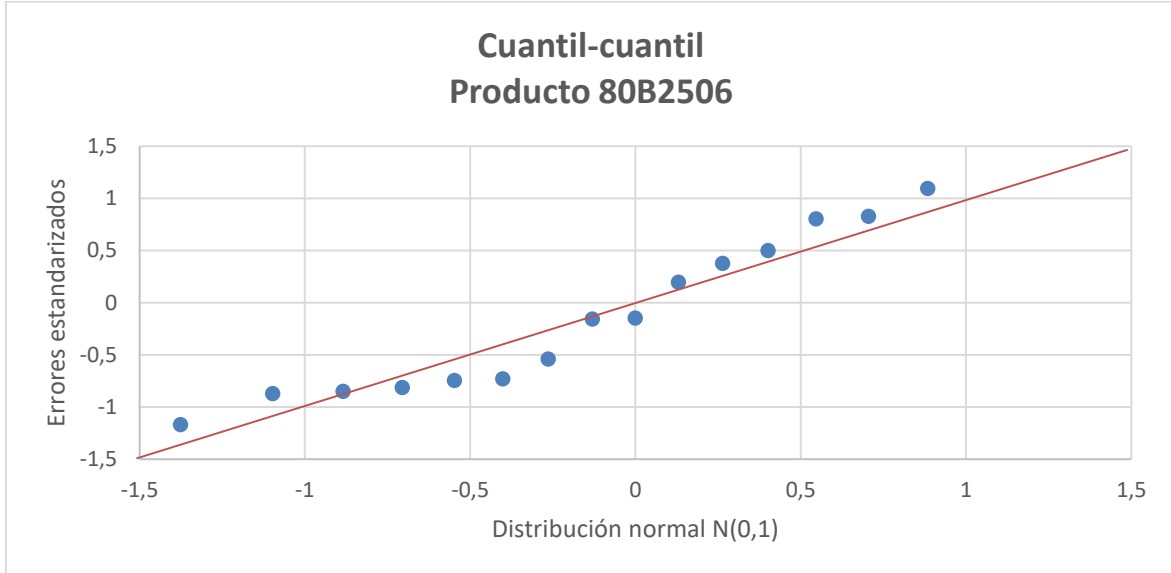
Los *Gráficos 3.5* y *3.6*, muestran los diagramas de autocorrelación y cuantil-cuantil $N(0,1)$ de los residuos estandarizados, donde se aprecia que los residuos actúan de forma independiente y la distribución normal se adecúa para mostrar la distribución de los errores, lo que permite concluir que el modelo de Holt-winter aditivo es apropiado para pronosticar la demanda mensual.

Gráfico 3.5: Diagrama de un rezago, producto 80B2506.



Fuente: Elaboración propia.

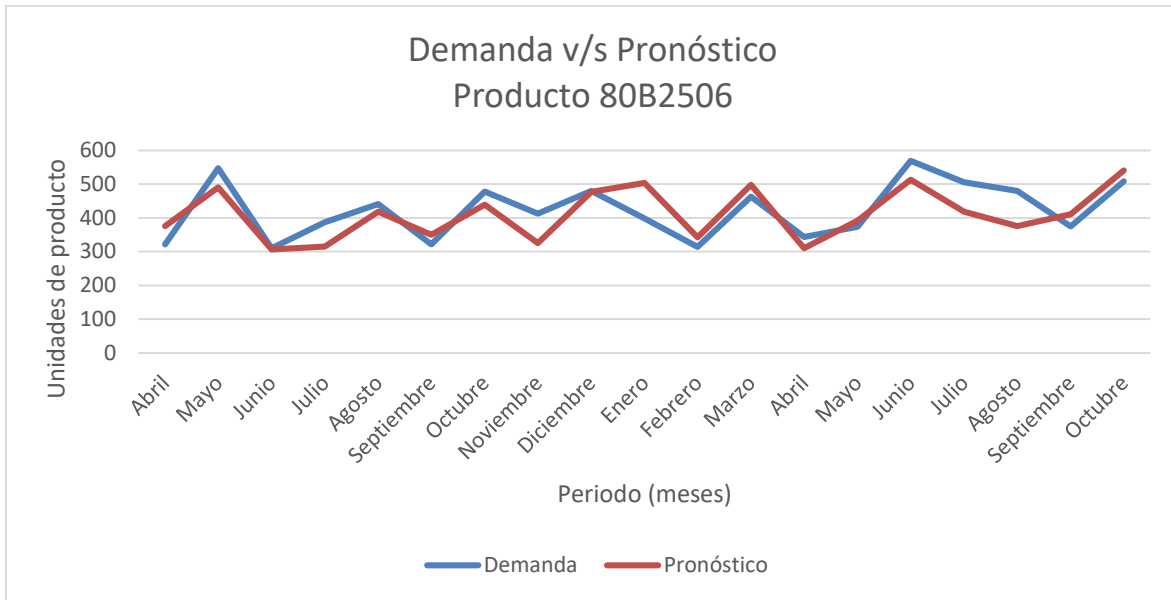
Gráfico 3.6: Diagrama Cuantil-cuantil, producto 80B2506.



Fuente: Elaboración propia.

En el *Gráfico 3.7*, se muestra la demanda histórica en conjunto a la pronosticada durante el mismo periodo, se presenta una diferencia con un error porcentual absoluto medio del 11,19%, lo cual se considera bajo y aceptable.

Gráfico 3.7: Demanda histórica VS pronosticada, producto 80B2506.

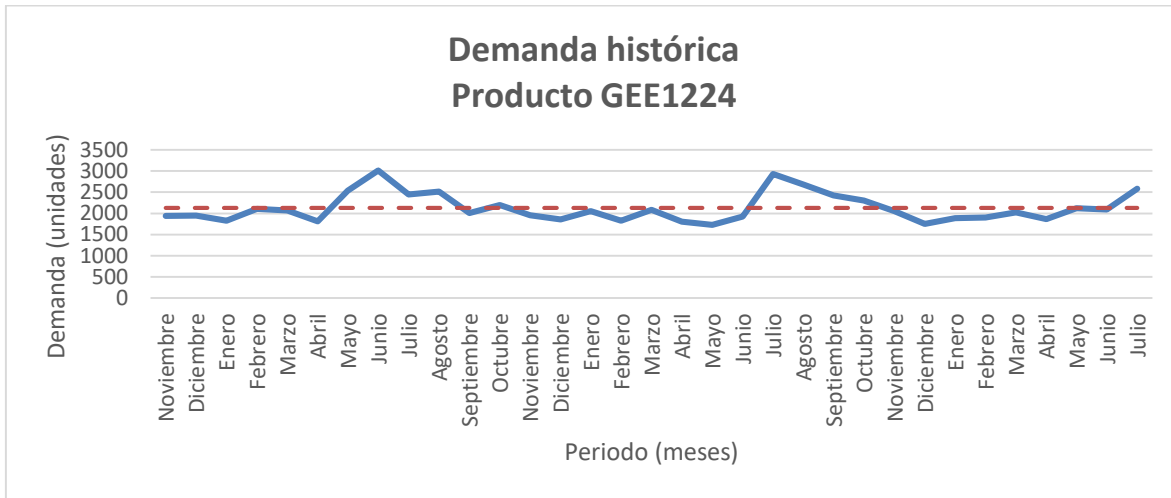


Fuente: Elaboración propia.

- **Producto GEE1224**

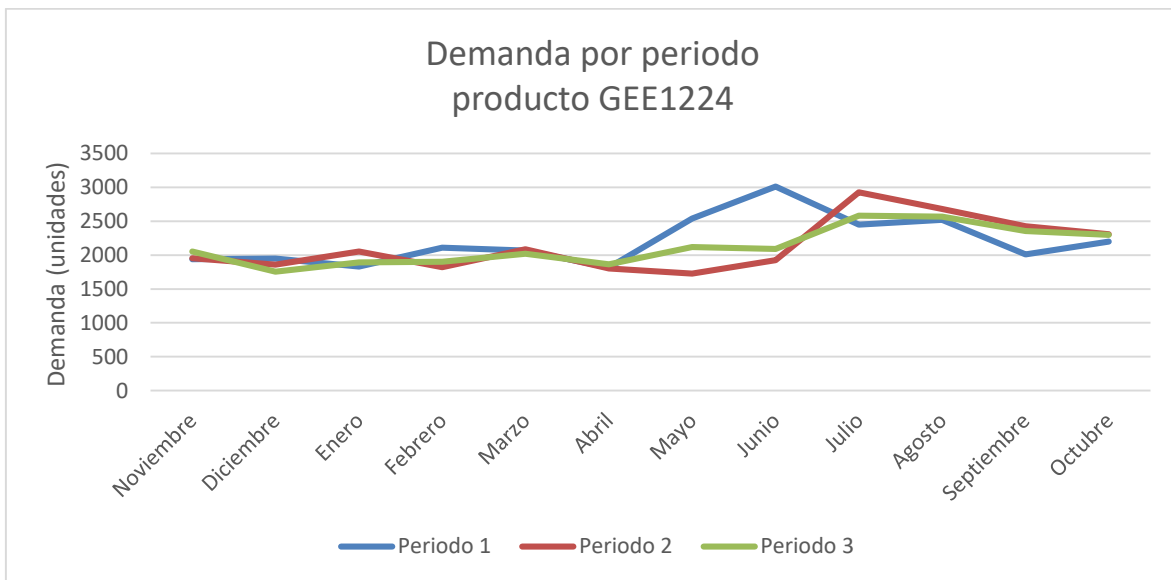
En el *Gráfico 3.8*, muestra la demanda histórica mensual del producto, que tiende a ser constante con respecto al tiempo. Además, se observan alzas en los meses centrales del año, aparentemente relacionadas al periodo de invierno, lo que puede indicar cierta estacionalidad. En el *Gráfico 3.9*, se analiza el comportamiento mensual de los 3 años evaluados, donde se observa de mejor manera el alza que se acentúa entre junio y julio.

Gráfico 3.8: Demanda histórica, producto GEE1224.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.9: Demanda histórica segmentada, producto GEE1224.



Fuente: Elaboración propia.

Para este producto se probaron diversos métodos de pronóstico. Tomando en cuenta que la demanda histórica tiende a ser constante, es que se probó el modelo Media móvil simple, y debido a una posible estacionalidad se probaron los métodos Holt-Winter aditivo y multiplicativo. Los resultados de los métodos mencionados están indicados en la *Tabla 3.9*, donde se aprecia comparativamente que los menores errores se generan al utilizar el método **Holt-winter multiplicativo**, con el cual se pronosticará la demanda del producto GEE1224.

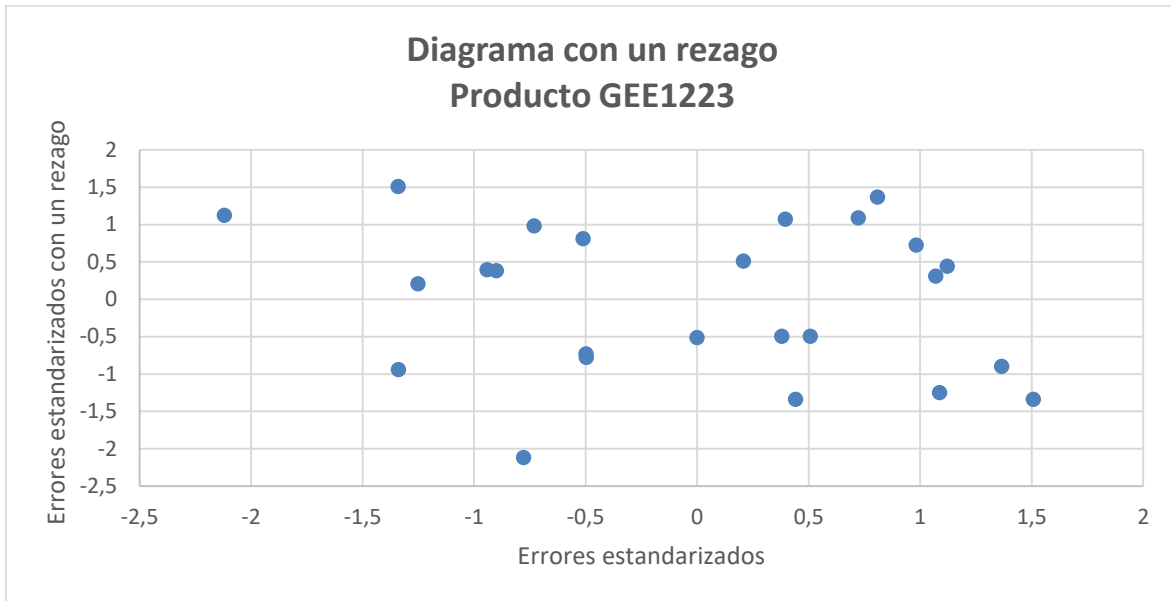
Tabla 3.9: Errores según métodos de pronóstico, producto GEE1224.

		Posibles modelos de pronóstico- Producto GEE1224				
		Media móvil simple			Holt-winter aditivo	Holt-winter multiplicativo
		K=10	K=11	K=12	$\alpha=0,005$; $\beta= 0,990$; $\delta=0,005$	$\alpha=0,007$; $\beta=0,999$; $\delta= 0,001$
ERRORES	ECM	133.563,36	127.619,97	119.369,68	47.106,20	45.856,81
	EM	19,00	13,13	15,69	36,34	28,97
	DAM	299,91	293,27	287,53	162,32	158,78
	EPAM	13,86%	13,59%	13,36%	7,70%	7,54%

Fuente: Elaboración propia.

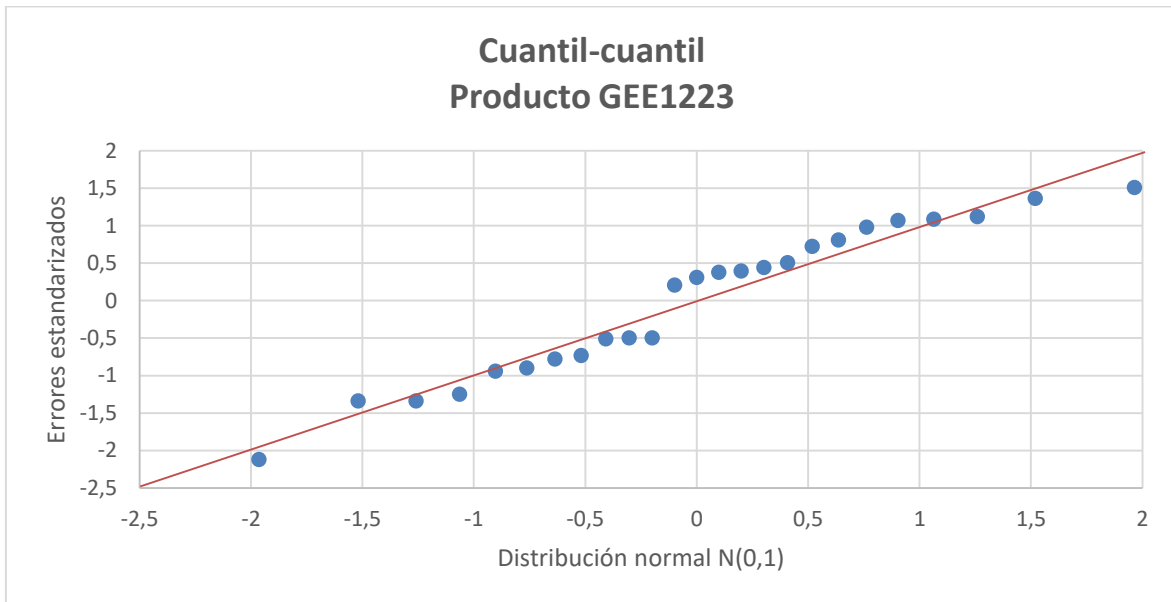
Los *Gráficos 3.10* y *3.11*, muestran los diagramas de autocorrelación y cuantil-cuantil $N(0,1)$ de los residuos estandarizados, donde se aprecia que los residuos actúan de forma independiente y la distribución normal se adecúa para mostrar la distribución de los errores, lo que permite concluir que el modelo de media móvil simple es apropiado para pronosticar la demanda mensual.

Gráfico 3.10: Diagrama de un rezago, producto GEE1224.



Fuente: Elaboración propia.

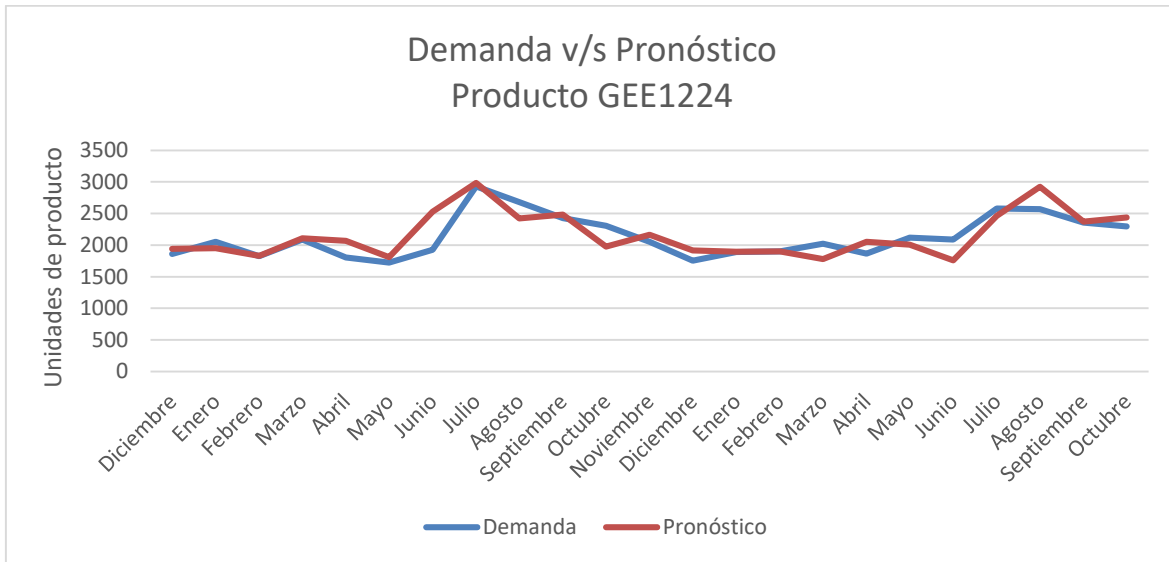
Gráfico 3.11: Diagrama Cuantil-cuantil, producto GEE1224.



Fuente: Elaboración propia.

En el *Gráfico 3.12*, se analiza la demanda histórica en conjunto a la pronosticada durante el mismo periodo, indicando una diferencia que presenta un error porcentual absoluto medio del 7,54%, lo que se considera bajo y aceptable.

Gráfico 3.12: Demanda histórica VS pronosticada, producto GEE1224.

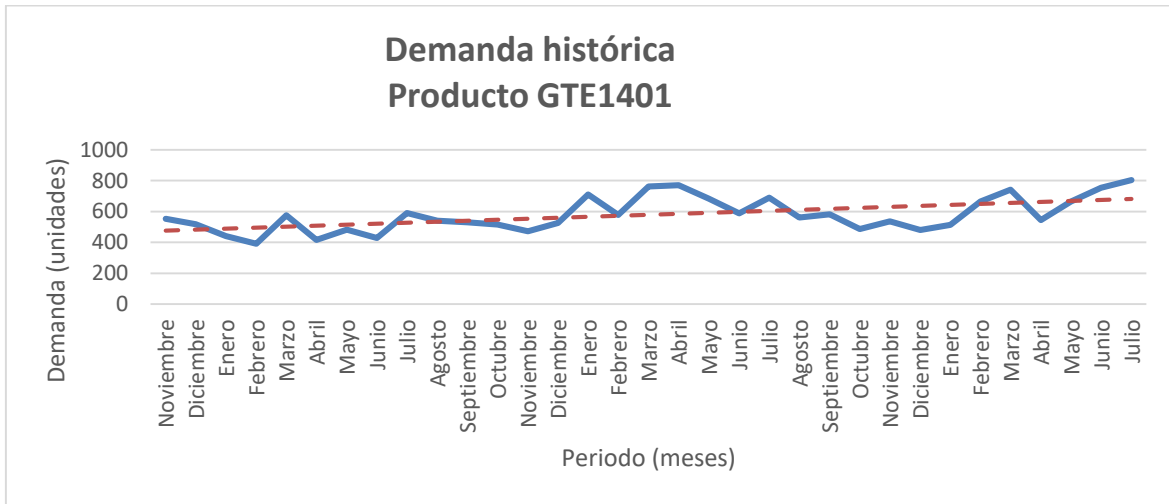


Fuente: Elaboración propia.

- **Producto GTE1401**

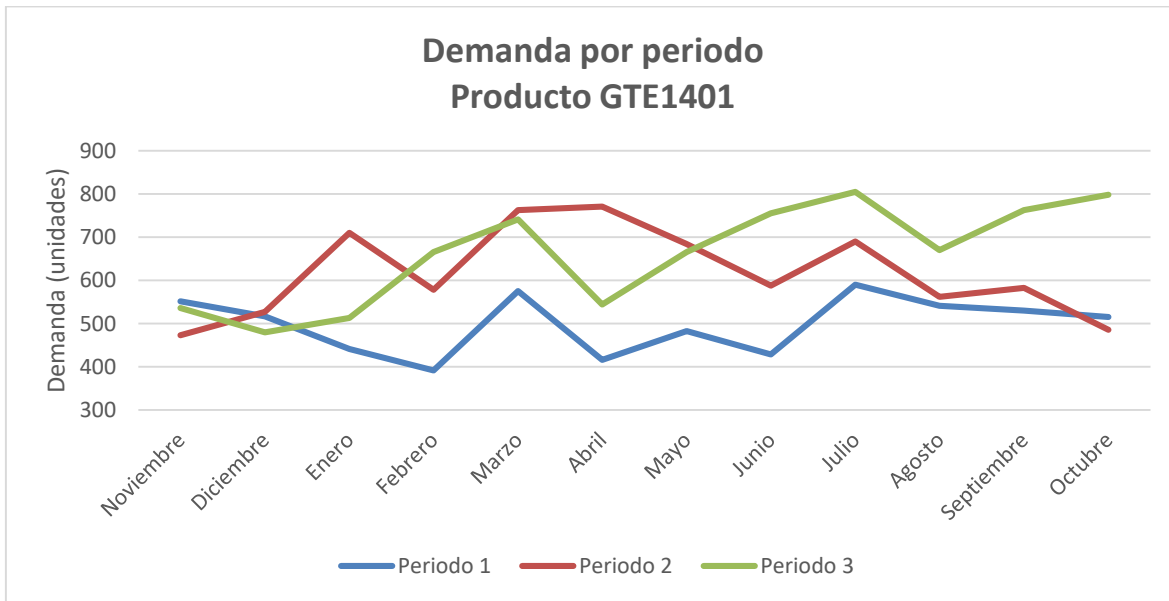
El *Gráfico 3.13* muestra la demanda histórica mensual del producto, donde se aprecia una leve tendencia al alza con respecto al tiempo, que a pesar de no estar tan pronunciada ha sido progresiva. El *Gráfico 3.14* indica la demanda anual, donde se observa un leve aumento entre periodos con énfasis en los meses de marzo y julio, y con bajas a final de año (noviembre y diciembre).

Gráfico 3.13: Demanda histórica, producto GTE1401.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.14: Demanda histórica, producto GTE1401.



Fuente: Elaboración propia.

Para este producto se probaron diversos métodos de pronóstico, tomando en cuenta que tiene una leve tendencia, pero además se realizaron pruebas suponiendo que esta tendencia no existe. Los gráficos 3.13 y 3.14 no muestran una estacionalidad aparente, sin embargo, se probaron métodos estacionales que no están agregados a la tabla comparativa debido a que arrojaron errores muy elevados.

En la *Tabla 3.10*, se muestran algunos de los métodos evaluados, que indican los errores más pequeños. En el caso del EM, para todas las constantes arroja un valor negativo, por lo que los métodos están pronosticando valores mayores a los reales. Para calcular el pronóstico se utilizará el **suavizamiento exponencial**, ya que presenta un EMC inferior, y los errores DAM y EPAM también son pequeños.

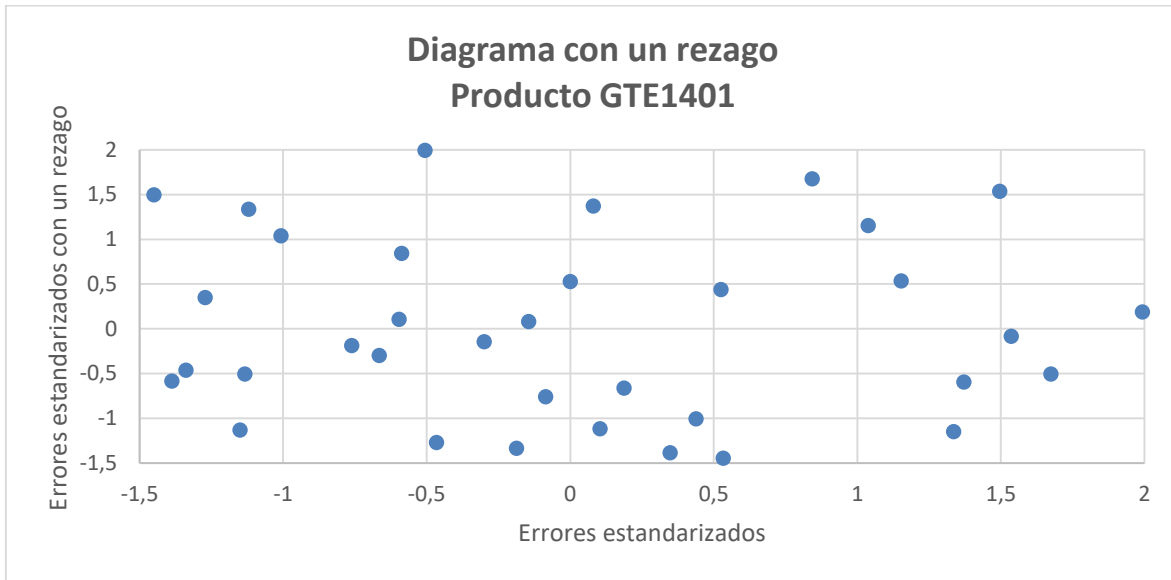
Tabla 3.10: Errores según métodos de pronóstico, producto GTE1401.

		Posibles modelos de pronóstico- Producto GTE1401				
		Media móvil simple			Suavizamiento exponencial	Suavizamiento con tendencia
		K=4	K=5	K=6	$\alpha=0,508$	$\alpha=0,537 ; \beta=0,023$
ERRORES	ECM	8.793,46	10.252,06	11.172,87	1.638,65	1.594,92
	EM	-24,60	-26,23	-33,48	-6,09	-6,00
	DAM	75,04	81,28	86,20	30,06	29,60
	EPAM	12,08%	12,96%	13,51%	17,82%	17,41%

Fuente: Elaboración propia.

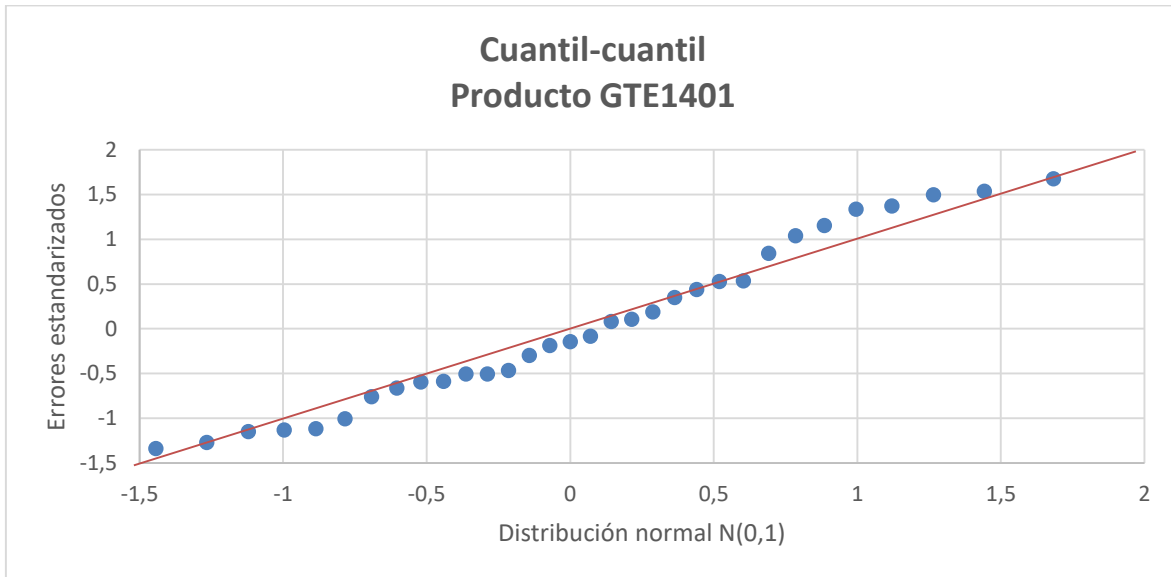
Los Gráficos 3.15 y 3.16, muestran los diagramas de autocorrelación y cuantil-cuantil $N(0,1)$ de los residuos estandarizados, donde se aprecia que los residuos actúan de forma independiente y la distribución normal se adecúa para mostrar la distribución de los errores, lo que permite concluir que el modelo de media móvil simple es apropiado para pronosticar la demanda mensual.

Gráfico 3.15: Diagrama de un rezago, producto GTE1401.



Fuente: Elaboración propia.

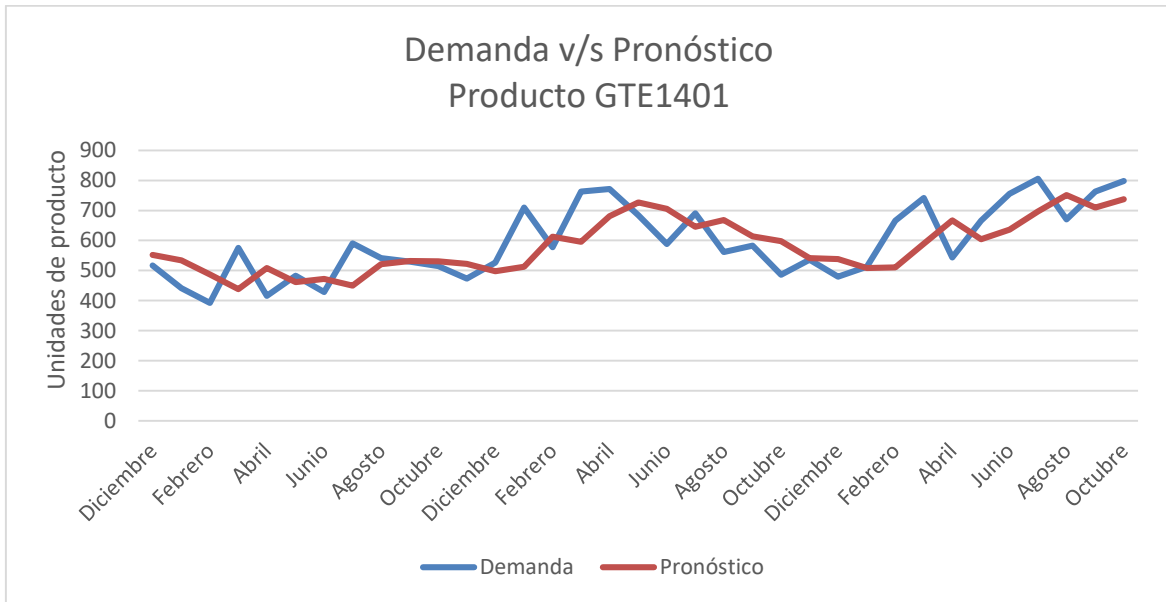
Gráfico 3.16: Diagrama Cuantil-cuantil, producto GTE1401.



Fuente: Elaboración propia.

En el *Gráfico 3.17*, se analiza la demanda histórica en conjunto a la pronosticada durante el mismo periodo, indicando una diferencia que presenta un error porcentual absoluto medio bajo del 12,92%, lo cual se considera bajo y aceptable.

Gráfico 3.17: Demanda histórica VS pronosticada, producto GTE1401.



Fuente: Elaboración propia.

En la *Tabla 3.11*, se muestra el resto de los productos con su respectivo método seleccionado y los errores obtenidos para cada uno. Como se mencionó anteriormente, los gráficos y demostraciones correspondientes se adjuntarán en el *Anexo 3*.

Tabla 3.11: Pronósticos y errores.

CÓDIGO	Pronóstico utilizado	Índices				Errores			
		K	α	β	γ	ECM	EM	DAM	EPAM
80B2506	Holt Winter Aditivo	17	0,0202	0,9990	0,0849	3.163,72	-12,03	47,40	11,19%
80B2508	Media Móvil Simple	5	-	-	-	32,16	0,54	4,52	2,41%
GEE1066	Holt Winter Aditivo	15	0,0010	0,0010	0,0010	14.203,35	-19,77	82,50	2,52%
GEE1222	Holt Winter Aditivo	10	0,0010	0,0010	0,2398	36.788,36	-28,82	149,71	5,62%
GEE1223	Holt Winter Aditivo	11	0,0227	0,9990	0,2775	31.282,62	-39,59	158,27	5,17%
GEE1224	Holt Winter Multiplicativo	13	0,0074	0,9990	0,0010	45.856,81	28,97	158,78	7,54%
GEZ6951	Suavizamiento Exponencial	-	0,5100	-	-	26.881,57	-42,10	154,98	3,30%
GEZ6952	Holt Winter Aditivo	8	0,0076	0,9990	0,2729	79.340,48	-45,19	254,66	9,87%
GQ66531	Holt Winter Multiplicativo	4	0,1033	0,0010	0,0010	122,73	2,12	9,13	9,31%
GQ67031	Holt Winter Aditivo	9	0,0445	0,0010	0,9928	159,48	-0,56	10,53	7,76%
GQ67531	Suavizamiento con Tendencia	-	0,9287	0,1269	-	272,60	-3,24	4,61	4,26%
GTE1401	Suavizamiento Exponencial	-	0,5083	-	-	8.548,02	-12,14	77,10	12,92%
GTE1420	Holt Winter Aditivo	2	0,0350	0,8818	0,5960	377,40	-2,57	15,54	8,03%
RDE7413	Holt Winter Aditivo	9	0,1150	0,3552	0,7248	323,16	-3,77	13,54	9,38%
VME7457	Holt Winter Aditivo	9	0,1257	0,9990	0,8709	71.971,89	-24,64	234,46	7,95%

Fuente: Elaboración propia.

Los pronósticos de demanda obtenidos en este capítulo serán utilizados para la gestión de inventario.

3.4. Desarrollo de la herramienta de gestión de inventario.

Construcción de un modelo matemático para la gestión de inventario.

Actualmente en Madegom hay un sistema de pedido de productos que no está satisfaciendo correctamente la demanda que tiene la empresa, no hay mayor información sobre este sistema ya que la empresa se la reserva.

El modelo de inventario tiene como finalidad establecer la cantidad de productos a pedir en un horizonte de planificación determinado, haciendo uso eficiente de los recursos disponibles. Los datos que proporcionará el modelo se orientan a un mejor nivel de disponibilidad de producto en relación con la demanda, para permitir una mejor toma de decisiones con respecto a cuánto pedir y cuándo pedir.

Consideraciones.

- ∞ Se mantendrá la revisión periódica de un mes por requerimientos de la empresa.
- ∞ Actualmente el tiempo de entrega desde que se hace un pedido, es de 15 días. Los pedidos se realizan el día 15 de cada mes, para que lleguen a fin de mes y esta situación es permanente para todos los meses. Esta política se mantendrá y se tomará en cuenta para ver cómo utilizar el modelo. Sin embargo, el tiempo de entrega no se utilizará como una variable en el diseño del modelo, debido a que no tiene influencia relevante, los pedidos seguirán llegando los mismos días, solo se considerarán las variables que ayuden a regular las cantidades.
- ∞ Para planificar las compras de meses venideros, se considerará el mes en curso como primer periodo.
- ∞ Los costos del artículo, mantenimiento y escasez de producto son conocidos y variables según lote de pedido.
- ∞ El costo de preparación de pedido es fijo para cada producto y conocido por la empresa.
- ∞ El modelo no considera faltantes por periodo, cada periodo corresponde a un mes.
- ∞ La capacidad de almacenamiento es conocida e incluye a los 15 productos en conjunto.
- ∞ Debe existir un inventario de seguridad para cada producto por periodo, el cual corresponde a un porcentaje de la demanda por producto, cuyos valores son definidos por la empresa.

Parámetros.

Conjunto i	Productos correspondientes a la clasificación que muestra la <i>Tabla 3.1</i> del <i>Capítulo 3</i> (Pág. 52); $i = 1,2,3, \dots, 15$.
Conjunto j	Periodo correspondiente a meses; $j = 1,2,3,4$.
D_{ij}	Demanda del producto i en el periodo j (unidades).
Y_{i0}	Inventario inicial del producto i en el periodo 1(unidades).
V	Capacidad volumétrica de almacenamiento para los 15 productos (m^3).
V_i	Volumen de almacenamiento de una unidad del producto i (m^3).
C_{ai}	Costo de adquisición del producto i (unidades monetarias).
C_{pi}	Costo de preparación y colocación de pedido del producto i (unidades monetarias).
C_{mi}	Costo de mantenimiento en el inventario del producto i (unidades monetarias).
Y_{Sij}	Factor que determina el inventario de seguridad para el producto i en el periodo j , presentados a continuación en la <i>Tabla 3.12</i> .

Tabla 3.12: Factor de la demanda correspondiente al inventario de seguridad.

Producto	Y_s
80B2506	0,191
80B2508	0,032
GEE1066	0,049
GEE1222	0,072
GEE1223	0,098
GEE1224	0,154
GEZ6951	0,090
GEZ6952	0,169
GQ66531	0,162
GQ67031	0,163
GQ67531	0,142
GTE1401	0,199
GTE1420	0,208
RDE7413	0,243
VME7457	0,260

Fuente: Elaboración propia.

Variables.

X_{ij} Cantidad de lote de pedido del producto i en el periodo j .

Y_{ij} Inventario del producto i al final del periodo j .

$P_{ij} \begin{cases} 1 & \text{Si se realiza pedido del producto } i \text{ en el periodo } j. \\ 0 & \text{Si no se realiza pedido del producto } i \text{ en el periodo } j. \end{cases}$

Función objetivo.

Función objetivo: minimizar los costos de inventario.

Tal como se explica en el *Capítulo 2*, el costo total de inventario se obtiene mediante la suma de cuatro costos. Sin embargo, como este modelo no permite faltantes, no se considerará el costo de escasez de producto, quedando el cálculo de la siguiente manera:

Costo total de inventario = Costo del artículo + Costo de mantenimiento + Costo de pedido

Matemáticamente, el costo total del inventario se escribe tal como indica la ecuación (3.1). Donde $X_{ij}Ca_i$ corresponde al costo de compra de los productos i en el periodo j ; $Y_{ij}Cm_i$ corresponde al costo de mantener los productos i en la bodega, cuando estos no se han vendido en el periodo j ; y $P_{ij}Cp_i$ corresponde al costo de preparación y colocación de pedido de los productos i que fueron solicitados en el periodo j . Las sumatorias i y j nos permiten obtener el costo total de todos los productos en el periodo de evaluación.

$$\text{Costo total de inventario} = \sum_i \sum_j (X_{ij}Ca_i + Y_{ij}Cm_i + P_{ij}Cp_i) \quad (3.1)$$

Finalmente, la función objetivo queda representada de la siguiente manera, tal como indica la ecuación (3.2).

$$\min \sum_i \sum_j (X_{ij}Ca_i + Y_{ij}Cm_i + P_{ij}Cp_i) \quad (3.2)$$

Restricciones.

1. Naturaleza de las variables

$$X_{ij}, Y_{ij} \geq 0, \text{ enteras } \forall i = 1, 2, 3, \dots, 15; j = 1, 2, 3, 4. \quad (3.3)$$

$$P_{ij} \in \{0, 1\} \quad (3.4)$$

La restricción (3.3) se refiere a la no negatividad de las variables, es decir, todas deben ser positivas y además representar un número entero. La restricción (3.4) referente a la realización del pedido se representa de manera binaria, tal como se indica en la descripción de las variables.

2. Cumplimiento de la demanda

$$D_{ij} \leq X_{ij} + Y_{i(j-1)} - Y_{ij} \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, 15; j = 1, 2, 3, 4 \quad (3.5)$$

La restricción (3.5) hace alusión a que no debe haber faltantes en el inventario, es decir, la cantidad del lote de pedido sumado al inventario que quedó del periodo anterior menos el inventario al final del periodo, debe ser mayor que la demanda en el periodo evaluado.

$$Y_{ij} \geq Y_{S_{ij}} D_{ij} \quad (3.6)$$

Además, cumpliendo la consigna del inventario de seguridad, la restricción (3.6) indica que el inventario al final del periodo debe ser mayor que el porcentaje de demanda establecido para cada producto. El fin de esta restricción es evitar atrasos en los pedidos, en caso de que la demanda real sea mayor a la pronosticada.

3. Límite de almacenamiento

$$V \geq \sum_i (V_i X_{ij} + V_i Y_{i(j-1)}) \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, 15; j = 1, 2, 3, 4 \quad (3.7)$$

La restricción (3.7) indica que el espacio que abarcan los productos de un pedido no debe superar el límite de almacenamiento, lo que debe cumplirse en cada periodo.

Resumen del modelo.

A continuación, se expone el modelo de inventario de manera resumida.

$$\min \sum_i \sum_j (X_{ij}Ca_i + Y_{ij}Cm_i + P_{ij}Cp_i) \quad (3.2)$$

$$X_{ij}, Y_{ij} \geq 0, \text{ enteras } \forall i = 1,2,3, \dots, 15; j = 1,2,3,4. \quad (3.3)$$

$$P_{ij} \in \{0,1\} \quad (3.4)$$

$$D_{ij} \leq X_{ij} + Y_{i(j-1)} \quad (3.5)$$

$$Y_{ij} \geq Y_{s_{ij}}D_{ij} \quad (3.6)$$

$$V \geq \sum_i (V_i X_{ij} + V_i Y_{i(j-1)}) \quad (3.7)$$

El modelo consta de 15 productos para ser evaluados en 4 periodos y cada ítem de costo equivale a 60 posibles resultados. Como los costos a calcular son 3, las variables totales que están involucradas en el modelo corresponden a 180.

Las restricciones (3.4), (3.5), (3.6) y (3.7) tienen 60 combinaciones, lo que da un total de 240 restricciones dentro del modelo.

El detalle de los datos y tablas del modelo se muestran en el *Anexo 4*.

Una vez diseñado el modelo, se prueba su validez comparando los resultados en relación con la situación actual, que será analizada en el próximo capítulo.

Capítulo 4: Resultados y análisis

En el presente capítulo se procede a validar la herramienta propuesta, mediante el análisis de los resultados obtenidos. Este análisis comprende un periodo de un año, entre noviembre del 2015 y octubre del 2016, y se utilizan los datos de demanda, inventario y ventas, proporcionados por la empresa.

4.1 Resultados y análisis

Para comenzar, se evalúa la información entregada por Madegom, correspondiente a la demanda mensual y a la disponibilidad de producto existente para poder surtirla, obteniendo así, el cumplimiento que existe y los costos asociados en el periodo evaluado. Posteriormente se utiliza el modelo diseñado, que entrega una planificación en las compras de productos, para cumplir de forma efectiva y al menor costo los pedidos de los clientes.

El periodo de análisis se segmenta en cuatrimestres, para facilitar los cálculos y las comparaciones, ya que algunos costos se ven optimizados en un periodo más extenso, por lo que no es factible realizar evaluaciones mensuales. En las tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran las respectivas demandas para cada cuatrimestre entre noviembre del 2015 y octubre del 2016, junto al abastecimiento de cada mes. El contenido de las tablas está compuesto por: D: Demanda del producto; Yi: inventario inicial; X: Cantidad de pedido y Yf: inventario final.

Tabla 4.1: Resumen cuatrimestre 1 (noviembre 2015 - febrero 2016)

Producto	Cuatrimestre 1 - Situación real															
	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf
80B2506	413	0	355	-58	480	0	365	-115	398	0	365	-33	314	0	355	41
80B2508	193	0	165	-28	184	0	170	-14	191	0	165	-26	192	0	170	-22
GEE1066	3.025	0	3.110	85	3.088	85	3.035	32	3.050	32	3.260	242	3.496	242	3.210	-44
GEE1222	2.546	0	2.380	-166	2.978	0	2.630	-348	2.506	0	2.530	24	2.487	24	2.270	-193
GEE1223	3.282	0	2.480	-802	3.000	0	3.140	140	2.760	140	3.160	540	3.070	540	2.960	430
GEE1224	2.051	0	1.550	-501	1.754	0	1.350	-404	1.890	0	1.900	10	1.900	10	1.910	20
GEZ6951	4.284	0	3.780	-504	4.605	0	3.880	-725	4.098	0	3.780	-318	4.154	0	3.380	-774
GEZ6952	2.962	0	2.580	-382	1.980	0	2.280	300	3.065	300	2.450	-315	2.431	0	1.880	-551
GQ66531	116	0	65	-51	111	0	65	-46	98	0	60	-38	75	0	70	-5
GQ67031	151	0	120	-31	110	0	80	-30	148	0	40	-108	113	0	120	7
GQ67531	132	0	80	-52	130	0	90	-40	132	0	80	-52	137	0	110	-27
GTE1401	536	0	450	-86	480	0	390	-90	513	0	300	-213	666	0	630	-36
GTE1420	220	0	160	-60	209	0	220	11	255	11	171	-73	199	0	220	21
RDE7413	154	0	80	-74	130	0	150	20	154	20	195	61	198	61	136	-1
VME7457	3.514	0	3.180	-334	2.990	0	2.680	-310	2.987	0	2.880	-107	4.015	0	3.480	-535

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2: Resumen cuatrimestre 2 (marzo 2016 - junio 2016)

Producto	Cuatrimestre 2 - Situación real															
	Marzo				Abril				Mayo				Junio			
	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf
80B2506	463	41	420	-2	343	0	365	22	374	22	375	23	569	23	365	-181
80B2508	188	0	195	7	194	7	175	-12	188	0	180	-8	183	0	175	-8
GEE1066	3.154	0	2.730	-424	3.253	0	2.980	-273	3.130	0	3.030	-100	3.386	0	2.880	-506
GEE1222	2.634	0	2.470	-164	2.689	0	2.500	-189	2.531	0	2.150	-381	2.846	0	2.450	-396
GEE1223	3.232	430	3.080	278	3.288	278	2.400	-610	3.423	0	3.080	-343	3.090	0	2.500	-590
GEE1224	2.021	20	1.810	-191	1.864	0	2.500	636	2.120	636	2.440	956	2.088	956	2.320	1.188
GEZ6951	4.500	0	3.800	-700	4.680	0	3.900	-780	4.613	0	3.850	-763	4.800	0	4.100	-700
GEZ6952	2.768	0	2.100	-668	3.147	0	2.400	-747	2.990	0	2.350	-640	2.724	0	2.700	-24
GQ66531	114	0	75	-39	104	0	90	-14	115	0	100	-15	86	0	60	-26
GQ67031	135	7	130	2	97	2	100	5	149	5	125	-19	172	0	120	-52
GQ67531	142	0	100	-42	143	0	90	-53	149	0	90	-59	148	0	110	-38
GTE1401	741	0	360	-381	544	0	520	-24	666	0	590	-76	755	0	350	-405
GTE1420	220	21	171	-28	215	0	160	-55	238	0	200	-38	200	0	150	-50
RDE7413	166	0	115	-51	188	0	145	-43	195	0	170	-25	200	0	175	-25
VME7457	3.811	0	3.150	-661	3.279	0	3.000	-279	2.950	0	2.900	-50	3.562	0	2.800	-762

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3: Resumen cuatrimestre 3 (julio 2016 - octubre 2016)

Producto	Cuatrimestre 3 - Situación real															
	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre			
	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf
80B2506	505	0	395	-110	480	0	405	-75	375	0	405	30	508	30	420	-58
80B2508	197	0	175	-22	180	0	195	15	188	15	200	27	180	27	190	37
GEE1066	3.408	0	3.230	-178	3.252	0	2.880	-372	3.152	0	2.730	-422	3.400	0	3.080	-320
GEE1222	2.712	0	2.250	-462	2.538	0	2.200	-338	2.604	0	2.350	-254	2.357	0	2.450	93
GEE1223	3.520	0	3.100	-420	3.693	0	2.780	-913	3.231	0	2.620	-611	3.340	0	2.460	-880
GEE1224	2.580	1.188	2.228	836	2.569	836	2.100	367	2.357	367	2.450	460	2.298	460	2.100	262
GEZ6951	4.531	0	3.700	-831	4.678	0	3.950	-728	4.498	0	3.800	-698	4.763	0	3.900	-863
GEZ6952	3.015	0	2.700	-315	2.231	0	2.200	-31	3.347	0	2.800	-547	2.561	0	2.900	339
GQ66531	121	0	65	-56	99	0	100	1	108	1	90	-17	85	0	95	10
GQ67031	130	0	60	-70	163	0	100	-63	121	0	80	-41	170	0	140	-30
GQ67531	154	0	100	-54	158	0	130	-28	162	0	120	-42	160	0	130	-30
GTE1401	805	0	320	-485	670	0	460	-210	763	0	310	-453	798	0	630	-168
GTE1420	243	0	170	-73	211	0	240	29	252	29	249	26	243	26	200	-17
RDE7413	177	0	130	-47	195	0	175	-20	164	0	90	-74	188	0	145	-43
VME7457	3.440	0	2.900	-540	3.790	0	3.300	-490	3.254	0	2.550	-704	3.535	0	2.900	-635

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas anteriores, se observa que hay una gran cantidad de inventarios negativos que describen quiebres en la disponibilidad de productos, esta situación repercute directamente en que los pedidos se entreguen atrasados o que se cancelen del todo. En cada mes evaluado más del 60% de los productos no satisface su demanda particular.

Con esta información se calcula el costo de inventario para cada producto, donde a modo de comparación existen dos formas de visualizarlo. En primer lugar, el costo total de inventario (CTI) para cada producto será el siguiente:

$$CTI \text{ producto } i = XCa + YfCm + PCp + DnCe \quad (4.1)$$

Sea $i=1,2,3...15$; correspondiente al producto,

X = Cantidad de pedido.

Yf = Inventario final.

P = Variable que toma valor 0 o 1 si se realiza o no el pedido.

Dn = Demanda no cumplida.

Ca = Costo del artículo.

Cm = Costo de mantenimiento.

Cp = Costo de preparación y colocación de pedido.

Ce = Costo de escasez o agotamiento.

En segundo lugar, el costo variable de inventario (*CVI*) de cada producto será:

$$CVI \text{ producto } i = YfCm + PCp + DnCe \quad (4.2)$$

El *CVI* toma en consideración solo los parámetros que se pueden optimizar de alguna manera, no considera el costo del artículo ya que éste depende directamente del requerimiento de la empresa y es un gasto que se realiza de todas formas, en cambio los otros costos se pueden tratar de disminuir estratégicamente dependiendo de cómo se realicen las compras. Este costo es el más significativo al momento de analizar, ya que el propósito radica en que el modelo en cuestión lo minimice.

Los costos mencionados en las fórmulas (4.1) y (4.2), fueron descritos en la sección 3.2.4. Además, la demanda no cumplida corresponde directamente a la porción de demanda que no se abastece con la disponibilidad de productos por periodo.

A modo de ejemplo se analizará el producto 1 (80B2506), en el mes de octubre del año 2016.

$$CTI \text{ producto } 1 = 420 * 0,685 + 0 * 0,171 + 2,334 + 58 * 0,439 = \$315,496$$

$$CVI \text{ producto } 1 = 0 * 0,171 + 2,334 + 58 * 0,439 = \$27,796$$

Recordar que en el capítulo anterior, se indicó que el valor de todos los costos esta multiplicado por un factor que solo conoce la empresa.

Para el análisis también se considerará el espacio de almacenamiento utilizado.

$$Espacio \text{ utilizado producto } i = X * Volumen$$

Continuando con el ejemplo,

$$Espacio \text{ utilizado producto } 1 = 420 * 0,005 \text{ m}^3 = 2,1 \text{ m}^3$$

A partir de las fórmulas (4.1) y (4.2) se calculan los costos de cada producto, los cuales se muestran resumidos por periodo en la *Tabla 4.4*. La *Tabla 4.5*, describe el espacio de almacenamiento utilizado por los productos en cada mes y la relación con la capacidad disponible, donde se observa que hay bastante espacio sin utilizar.

Tabla 4.4: Costos de inventario noviembre del 2015 a octubre del 2016

Costos						
Producto	Cuatrimestre 1		Cuatrimestre 2		Cuatrimestre 3	
	CVI	CTI	CVI	CTI	CVI	CTI
80B2506	\$ 106,70	\$ 1.093,43	\$ 97,30	\$ 1.142,27	\$ 121,04	\$ 1.234,54
80B2508	\$ 105,66	\$ 1.189,14	\$ 43,45	\$ 1.215,88	\$ 57,40	\$ 1.286,42
GEE1066	\$ 34,26	\$ 2.662,08	\$ 189,17	\$ 2.609,72	\$ 187,70	\$ 2.670,75
GEE1222	\$ 110,68	\$ 2.315,52	\$ 170,59	\$ 2.321,49	\$ 163,27	\$ 2.242,25
GEE1223	\$ 171,96	\$ 2.842,76	\$ 247,09	\$ 2.763,19	\$ 422,65	\$ 2.916,00
GEE1224	\$ 147,56	\$ 1.674,05	\$ 151,88	\$ 2.215,27	\$ 90,41	\$ 2.110,11
GEZ6951	\$ 337,07	\$ 3.586,69	\$ 424,36	\$ 3.855,98	\$ 449,20	\$ 3.815,04
GEZ6952	\$ 199,19	\$ 2.214,31	\$ 304,42	\$ 2.398,48	\$ 150,85	\$ 2.475,14
GQ66531	\$ 404,01	\$ 1.532,82	\$ 276,19	\$ 1.687,21	\$ 226,10	\$ 1.745,66
GQ67031	\$ 479,88	\$ 2.032,00	\$ 209,46	\$ 2.257,40	\$ 571,23	\$ 2.209,58
GQ67531	\$ 483,40	\$ 2.042,43	\$ 541,61	\$ 2.230,55	\$ 436,28	\$ 2.514,99
GTE1401	\$ 175,06	\$ 1.193,85	\$ 344,88	\$ 1.392,45	\$ 503,28	\$ 1.493,30
GTE1420	\$ 141,79	\$ 1.189,96	\$ 167,33	\$ 1.093,14	\$ 109,79	\$ 1.277,60
RDE7413	\$ 131,46	\$ 1.175,53	\$ 187,56	\$ 1.313,51	\$ 235,20	\$ 1.240,18
VME7457	\$ 886,50	\$ 13.848,65	\$ 1.202,86	\$ 13.772,53	\$ 1.621,72	\$ 13.979,24
Total	\$ 3.915,19	\$ 40.593,23	\$ 4.558,14	\$ 42.269,07	\$ 5.346,14	\$ 43.210,80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5: Espacio utilizado por productos noviembre del 2015 a octubre del 2016

Capacidad de la bodega utilizada		
Mes	Espacio utilizado (m ³)	Espacio utilizado (%)
Noviembre	126,50	12%
Diciembre	118,97	11%
Enero	121,82	12%
Febrero	141,46	13%
Marzo	128,73	12%
Abril	126,31	12%
Mayo	129,26	12%
Junio	120,64	11%
Julio	123,78	12%
Agosto	137,75	13%
Septiembre	120,75	11%
Octubre	132,25	13%

Fuente: Elaboración propia.

Con las tablas presentadas en este capítulo se debe realizar una comparación con los datos arrojados por el modelo, centrándose en los costos de inventario y la capacidad de almacenamiento de la bodega. Además, se considera el cumplimiento de la disponibilidad de productos y pedidos, para ello se debe utilizar la información de las tablas 3.4, 3.5 y 3.6 del *Capítulo 3*, y evaluar la diferencia entre ambas situaciones.

En las tablas 4.6, 4.7 y 4.8 se muestra el abastecimiento de cada cuatrimestre, entre noviembre del 2015 y octubre del 2016, con los datos del modelo. Un aspecto significativo es la disminución de inventarios finales negativos, lo que está relacionado con una disminución directa en los quiebres de inventario. Además, se observa que algunos productos no deberán ser comprados todos los meses, situación que no ocurría en el escenario real.

Tabla 4.6: Resumen modelo cuatrimestre 1 (noviembre 2015 - febrero 2016)

Producto	Cuatrimestre 1 - Situación con modelo															
	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf
80B2506	413	0	895	482	480	482	0	2	398	2	821	425	314	425	0	111
80B2508	193	0	199	6	184	6	382	204	191	204	0	13	192	13	192	13
GEE1066	3.025	0	6.255	3.230	3.088	3.230	0	142	3.050	142	2.944	36	3.496	36	6.392	2.932
GEE1222	2.546	0	5.413	2.867	2.978	2.867	0	-111	2.506	0	2.868	362	2.487	362	5.205	3.080
GEE1223	3.282	0	6.698	3.416	3.000	3.416	0	416	2.760	416	2.467	123	3.070	123	2.940	-7
GEE1224	2.051	0	4.376	2.325	1.754	2.325	0	571	1.890	571	1.894	575	1.900	575	1.905	580
GEZ6951	4.284	0	4.550	266	4.605	266	4.236	-103	4.098	0	4.440	342	4.154	342	8.440	4.628
GEZ6952	2.962	0	3.819	857	1.980	857	5.282	4.159	3.065	4.159	0	1.094	2.431	1.094	2.039	702
GQ66531	116	0	131	15	111	15	98	2	98	2	118	22	75	22	115	62
GQ67031	151	0	178	27	110	27	95	12	148	12	424	288	113	288	0	175
GQ67531	132	0	154	22	130	22	134	26	132	26	130	24	137	24	133	20
GTE1401	536	0	650	114	480	114	539	173	513	173	503	163	666	163	2.392	1.889
GTE1420	220	0	280	60	209	60	246	97	255	97	229	71	199	71	231	103
RDE7413	154	0	188	34	130	34	345	249	154	249	0	95	198	95	125	22
VME7457	3.514	0	4.626	1.112	2.990	1.112	3.231	1.353	2.987	1.353	3.267	1.633	4.015	1.633	3.836	1.454

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.7: Resumen modelo cuatrimestre 2 (marzo 2016 - junio 2016)

Producto	Cuatrimestre 2 - Situación con modelo															
	Marzo				Abril				Mayo				Junio			
	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf
80B2506	463	111	528	176	343	176	1.220	1.053	374	1.053	0	679	569	679	0	110
80B2508	188	13	191	16	194	16	190	12	188	12	570	394	183	394	0	211
GEE1066	3.154	2.932	0	-222	3.253	0	3.197	-56	3.130	0	6.799	3.669	3.386	3.669	0	283
GEE1222	2.634	3.080	0	446	2.689	446	2.636	393	2.531	393	2.688	550	2.846	550	2.909	613
GEE1223	3.232	0	3.031	-201	3.288	0	3.413	125	3.423	125	6.417	3.119	3.090	3.119	0	29
GEE1224	2.021	580	1.763	322	1.864	322	2.094	552	2.120	552	1.999	431	2.088	431	1.721	64
GEZ6951	4.500	4.628	0	128	4.680	128	8.908	4.356	4.613	4.356	0	-257	4.800	0	4.574	-226
GEZ6952	2.768	702	2.539	473	3.147	473	6.424	3.750	2.990	3.750	0	760	2.724	760	2.210	246
GQ66531	114	62	83	31	104	31	123	50	115	50	172	107	86	107	0	21
GQ67031	135	175	0	40	97	40	107	50	149	50	293	194	172	194	0	22
GQ67531	142	20	140	18	143	18	145	20	149	20	145	16	148	16	152	20
GTE1401	741	1.889	0	1.148	544	1.148	0	604	666	604	0	-62	755	0	642	-113
GTE1420	220	103	256	139	215	139	208	132	238	132	242	136	200	136	216	152
RDE7413	166	22	154	10	188	10	213	35	195	35	208	48	200	48	186	34
VME7457	3.811	1.454	3.238	881	3.279	881	3.807	1.409	2.950	1.409	2.931	1.390	3.562	1.390	3.809	1.637

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8: Resumen modelo cuatrimestre 3 (julio 2016 - octubre 2016)

Producto	Cuatrimestre 3 - Situación con modelo															
	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre			
	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf
80B2506	505	110	1.186	791	480	791	0	311	375	311	0	-64	508	0	566	58
80B2508	197	211	103	117	180	117	360	297	188	297	0	109	180	109	103	32
GEE1066	3.408	283	9.801	6.676	3.252	6.676	0	3.424	3.152	3.424	3.370	3.642	3.400	3.642	0	242
GEE1222	2.712	613	2.668	569	2.538	569	2.363	394	2.604	394	8.092	5.882	2.357	5.882	0	3.525
GEE1223	3.520	29	3.703	212	3.693	212	6.406	2.925	3.231	2.925	0	-306	3.340	0	3.425	85
GEE1224	2.580	64	5.566	3.050	2.569	3.050	0	481	2.357	481	4.735	2.859	2.298	2.859	0	561
GEZ6951	4.531	0	4.699	168	4.678	168	4.601	91	4.498	91	9.209	4.802	4.763	4.802	0	39
GEZ6952	3.015	246	3.368	599	2.231	599	1.985	353	3.347	353	3.323	329	2.561	329	2.171	-61
GQ66531	121	21	116	16	99	16	98	15	108	15	179	86	85	86	21	22
GQ67031	130	22	127	19	163	19	155	11	121	11	105	-5	170	0	156	-14
GQ67531	154	20	151	17	158	17	158	17	162	17	161	16	160	16	166	22
GTE1401	805	0	1.472	667	670	667	0	-3	763	0	703	-60	798	0	742	-56
GTE1420	243	152	246	155	211	155	458	402	252	402	0	150	243	150	208	115
RDE7413	177	34	370	227	195	227	0	32	164	32	617	485	188	485	0	297
VME7457	3.440	1.637	3.167	1.364	3.790	1.364	3.690	1.264	3.254	1.264	3.023	1.033	3.535	1.033	3.240	738

Fuente: Elaboración propia.

En la *Tabla 4.9* se muestran los costos arrojados por el modelo, los que se presentan de forma comparativa con la situación real en la *Tabla 4.10*. Se observa que hay una disminución en el costo variable y un aumento en el costo fijo, esto último se debe a que la necesidad de aumentar el abastecimiento de la demanda conlleva necesariamente una mayor compra de productos, lo que aumenta significativamente el costo designado a la compra de artículos y repercute directamente en un aumento en el costo total de inventario.

Caso contrario ocurre con el costo variable, que disminuye considerablemente debido a la estrategia que se tenga al momento de planear las compras. Un ejemplo de ello que difiere de la situación real, serían los productos que conviene no pedir en ciertos periodos, porque el cargo fijo de realizar ese pedido resultaría mayor que el costo de almacenarlos en bodega durante más tiempo. Si bien es cierto que una compra de mayor volumen aumenta los costos de almacenamiento, ésta también produce una disminución en el costo de escasez de productos. El equilibrio se obtiene con la aplicación del modelo matemático que logra disminuir los costos. Finalmente, la *Tabla 4.11* muestra el ahorro obtenido en porcentajes de los costos variables de inventario, donde a medida que se va adaptando el modelo el ahorro es mayor, llegando a un 29% en el tercer cuatrimestre.

Tabla 4.9: Costos de inventario modelo noviembre del 2015 a octubre del 2016

Costos modelo						
Producto	Cuatrimestre 1		Cuatrimestre 2		Cuatrimestre 3	
	CVI	CTI	CVI	CTI	CVI	CTI
80B2506	\$ 179,40	\$ 1.355,25	\$ 350,37	\$ 1.548,14	\$ 231,45	\$ 1.431,97
80B2508	\$ 75,44	\$ 1.325,49	\$ 186,56	\$ 1.724,45	\$ 164,73	\$ 1.080,02
GEE1066	\$ 240,17	\$ 3.487,92	\$ 187,27	\$ 2.269,53	\$ 511,90	\$ 3.255,54
GEE1222	\$ 267,42	\$ 3.298,46	\$ 83,91	\$ 1.934,32	\$ 409,43	\$ 3.358,88
GEE1223	\$ 165,36	\$ 2.919,19	\$ 166,75	\$ 3.092,57	\$ 180,03	\$ 3.258,96
GEE1224	\$ 170,46	\$ 2.030,24	\$ 68,52	\$ 1.792,25	\$ 281,00	\$ 2.624,43
GEZ6951	\$ 224,52	\$ 4.975,28	\$ 243,63	\$ 3.199,87	\$ 202,07	\$ 4.260,59
GEZ6952	\$ 268,02	\$ 2.710,72	\$ 207,95	\$ 2.657,88	\$ 69,84	\$ 2.448,29
GQ66531	\$ 90,89	\$ 2.096,71	\$ 168,30	\$ 1.809,42	\$ 119,45	\$ 1.916,87
GQ67031	\$ 380,84	\$ 3.385,92	\$ 232,50	\$ 1.957,08	\$ 83,14	\$ 2.424,26
GQ67531	\$ 78,41	\$ 2.464,60	\$ 64,92	\$ 2.585,35	\$ 63,42	\$ 2.817,71
GTE1401	\$ 251,51	\$ 2.602,22	\$ 243,63	\$ 613,16	\$ 124,16	\$ 1.803,16
GTE1420	\$ 96,43	\$ 1.436,89	\$ 150,08	\$ 1.403,53	\$ 207,32	\$ 1.447,18
RDE7413	\$ 140,87	\$ 1.365,46	\$ 56,95	\$ 1.473,23	\$ 343,34	\$ 2.180,22
VME7457	\$ 1.032,76	\$ 16.901,31	\$ 989,62	\$ 15.611,81	\$ 821,08	\$ 14.737,89
Total	\$ 3.662,53	\$ 52.355,67	\$ 3.400,95	\$ 43.672,59	\$ 3.812,35	\$ 49.045,95

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10: Comparación de costos de inventario noviembre del 2015 a octubre del 2016

Comparación de costos				
Periodo	CVI		CTI	
	Real	Modelo	Real	Modelo
Cuatrimestre 1	\$ 3.915,19	\$ 3.662,53	\$ 40.593,23	\$ 52.355,67
Cuatrimestre 2	\$ 4.558,14	\$ 3.400,95	\$ 42.269,07	\$ 43.672,59
Cuatrimestre 3	\$ 5.346,14	\$ 3.812,35	\$ 43.210,80	\$ 49.045,95
Total	\$ 13.819,47	\$ 10.875,82	\$ 126.073,10	\$ 145.074,20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11: Ahorro de costos (CVI) con modelo aplicado.

Periodo	CVI Real	CVI Modelo	Mejora
Cuatrimestre 1	\$ 3.915,19	\$ 3.662,53	6%
Cuatrimestre 2	\$ 4.558,14	\$ 3.400,95	25%
Cuatrimestre 3	\$ 5.346,14	\$ 3.812,35	29%
Total	\$ 13.819,47	\$ 10.875,82	21%

Fuente: Elaboración propia.

Como se ha observado, el modelo aumenta la cantidad de productos a comprar. La *Tabla 4.12*, muestra el almacenamiento utilizado. Se observa claramente que a pesar del aumento de espacio utilizado, sigue siendo muy bajo en comparación con la capacidad de la bodega.

Tabla 4.12: Espacio utilizado por productos (modelo) noviembre del 2015 a octubre del 2016

Capacidad de la bodega utilizada (modelo)		
Mes	Espacio utilizado (m ³)	Espacio utilizado (%)
Noviembre	204,51	19%
Diciembre	184,23	17%
Enero	188,17	18%
Febrero	251,26	24%
Marzo	206,43	20%
Abril	215,78	20%
Mayo	203,35	19%
Junio	201,46	19%
Julio	232,85	22%
Agosto	228,59	22%
Septiembre	216,28	21%
Octubre	186,66	18%

Fuente: Elaboración propia.

Enfocándose en el objetivo principal, que se orienta a la reducción de atrasos en los pedidos, las tablas 4.13, 4.14 y 4.15 muestra una comparación con la situación real que se mostró en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6 del *Capítulo 3*. La *Tabla 4.13*, registra las situaciones del escenario real y la del modelo aplicado para los 3 productos ejemplificados, destacando un claro aumento en la disponibilidad de los productos, donde en la mayoría de los meses llega al 100%. El resto de los productos se muestran en el *Anexo 5*.

En la *Tabla 4.14*, se compara el cumplimiento promedio en la disponibilidad de productos, donde en el escenario con modelo se observa que más de la mitad de ellos cumple con el 100%, mientras que el resto también muestra mejoría al superar el 97%. Los valores obtenidos se consideran completamente aceptable por la empresa, ya que cumple con el objetivo propuesto de mantener una disponibilidad de productos mayor al 90%.

La *Tabla 4.15*, indica el cumplimiento de pedidos solicitados basándose en los datos del modelo. En este escenario, la cantidad de pedidos cumplidos en la fecha correspondiente aumenta de manera significativa, dado que disminuyó la causa principal que afectaba el problema, relacionada a la disponibilidad de productos. Si bien no todos los pedidos se cumplen es su totalidad, el resultado es muy cercano al 100%, y el margen de no cumplimiento se debe a los otros factores que también son causantes del problema, los cuales fueron mencionados en el *Capítulo 1*.

Tabla 4.13: Comparación de disponibilidad de productos ejemplificados noviembre del 2015 a octubre del 2016

Comparación disponibilidad de producto															
Producto	80B2506					GEE1224					GTE1401				
	Mes	Dem Real	Real		Modelo		Dem Real	Real		Modelo		Dem Real	Real		Modelo
Stock			Cumplido	Stock	Cumplido	Stock		Cumplido	Stock	Cumplido	Stock		Cumplido		
Noviembre	413	355	86%	895	100%	2.051	1.550	76%	4.376	100%	536	450	84%	650	100%
Diciembre	480	365	76%	482	100%	1.754	1.350	77%	2.325	100%	480	390	81%	653	100%
Enero	398	365	92%	823	100%	1.890	1.900	100%	2.465	100%	513	300	58%	676	100%
Febrero	314	355	100%	425	100%	1.900	1.920	100%	2.480	100%	666	630	95%	2.555	100%
Marzo	463	461	100%	639	100%	2.021	1.830	91%	2.343	100%	741	360	49%	1.889	100%
Abril	343	365	100%	1.396	100%	1.864	2.500	100%	2.416	100%	544	520	96%	1.148	100%
Mayo	374	397	100%	1.053	100%	2.120	3.076	100%	2.551	100%	666	590	89%	604	91%
Junio	569	388	68%	679	100%	2.088	3.276	100%	2.152	100%	755	350	46%	642	85%
Julio	505	395	78%	1.296	100%	2.580	3.416	100%	5.630	100%	805	320	40%	1.472	100%
Agosto	480	405	84%	791	100%	2.569	2.936	100%	3.050	100%	670	460	69%	667	100%
Septiembre	375	405	100%	311	83%	2.357	2.817	100%	5.216	100%	763	310	41%	703	92%
Octubre	508	450	89%	566	100%	2.298	2.560	100%	2.859	100%	798	630	79%	742	93%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14: Comparación porcentaje de cumplimiento de disponibilidad noviembre del 2015 a octubre del 2016

Comparación cumplimiento promedio disponibilidad		
Producto	Cumplimiento promedio (real)	Cumplimiento promedio (modelo)
80B2506	89%	99%
80B2508	94%	100%
GEE1066	93%	99%
GEE1222	91%	100%
GEE1223	87%	99%
GEE1224	95%	100%
GEZ6951	85%	99%
GEZ6952	88%	100%
GQ66531	76%	100%
GQ67031	74%	99%
GQ67531	70%	100%
GTE1401	69%	97%
GTE1420	86%	100%
RDE7413	81%	100%
VME7457	87%	100%

Fuente: Elaboración propia.

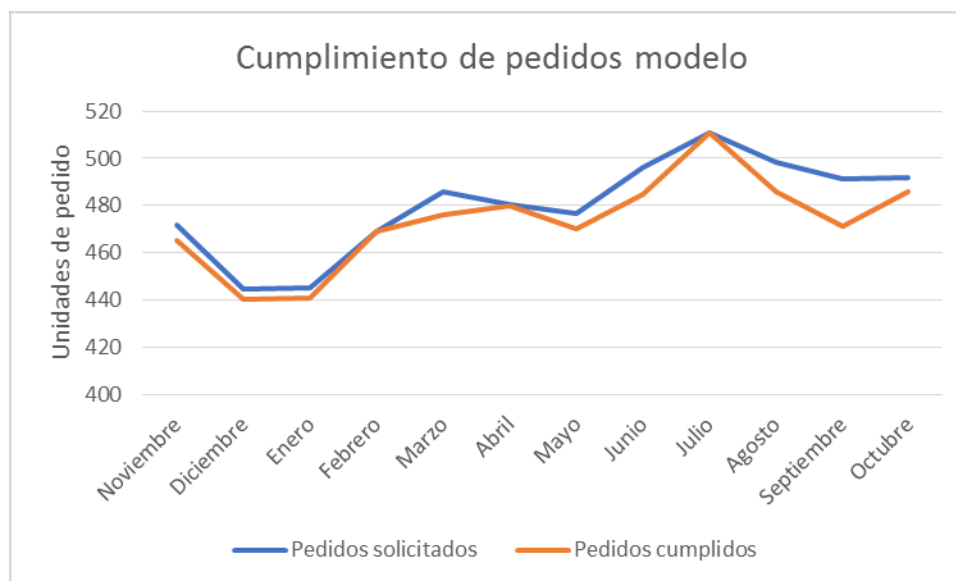
Tabla 4.15: Cumplimiento de pedidos noviembre del 2015 a octubre del 2016

Mes	Pedidos cumplidos modelo		
	Pedidos solicitados (Un)	Pedidos cumplidos (Un)	Pedidos cumplidos (%)
Noviembre	472	465	99%
Diciembre	445	440	99%
Enero	445	441	99%
Febrero	469	469	100%
Marzo	486	476	98%
Abril	481	480	100%
Mayo	477	470	99%
Junio	496	485	98%
Julio	511	511	100%
Agosto	498	486	98%
Septiembre	492	471	96%
Octubre	492	486	99%
Total	5.761	5.680	99%

Fuente: Elaboración propia.

El *Gráfico 4.1*, muestra la cercanía entre las curvas de disponibilidad de productos y de demanda real, la cual es mucho mayor en comparación al *Gráfico 3* del *Capítulo 3*, donde se mostró que la disponibilidad de productos siempre estaba por debajo de la demanda.

Gráfico 4.1: Pedidos solicitados vs pedidos cumplidos modelo.



Fuente: Elaboración propia.

El aumento de disponibilidad de producto no solo produce una disminución en los costos de inventario al aplicar el modelo, también produce un aumento en las ventas con respecto a la situación real al poder satisfacer de mejor manera la demanda.

En la *Tabla 4.16*, se muestra la comparación de las ventas en la situación real y con modelo, para los cuatrimestres entre noviembre del 2015 a octubre del 2016. El aumento de las ventas es progresivo por periodo, llegando hasta un 20% en el tercer cuatrimestre donde el modelo está mejor adaptado. En términos económicos, las ventas demuestran un aumento de \$354.453.100 anuales.

Tabla 4.16: Comparación de ventas entre noviembre del 2015 a octubre del 2016

Resumen de ventas				
Periodo	Real	Modelo	Aumento	%
Cuatrimestre 1	\$ 665.633.900	\$ 767.473.800	\$101.839.900	15%
Cuatrimestre 2	\$ 686.448.450	\$ 801.301.150	\$114.852.700	17%
Cuatrimestre 3	\$ 690.954.000	\$ 828.714.500	\$137.760.500	20%
Total	\$2.043.036.350	\$2.397.489.450	\$354.453.100	17%

Fuente: Elaboración propia.

Con la información mostrada se evalúa el modelo propuesto, logrando abordar correctamente la problemática principal, reduciendo considerablemente los pedidos entregados fuera del plazo comprometido. El abastecimiento de productos mejora en gran medida, ya que se acerca a la demanda real existente.

Los costos asociados al inventario no conllevan un problema para la empresa, ya que el aumento en los costos totales se relaciona directamente con el aumento en el volumen de compra para abastecer la demanda correctamente, lo cual se acepta porque es un gasto que no se restringe.

Centrándose en los costos que son más importantes al momento de querer generar el mínimo gasto posible, el modelo los disminuye al generar una estrategia de compras. En la actualidad, Madegom realiza sus compras de manera mensual y cada producto es necesariamente pedido en cada uno de los periodos. En cambio, en el escenario con modelo se sigue realizando una compra mensual, pero al considerar los gastos que conlleva comprar cada producto y mantenerlos en bodega, ocurre que hay productos que no se deben comprar todos los meses debido a la factibilidad de comprar una vez para varios meses y así disminuir los costos.

Por último, el almacenamiento no registra inconvenientes debido a que los productos actualmente ocupan un espacio reducido en relación con la capacidad de la bodega, y a pesar de que el modelo propone aumentar las compras, la capacidad de la bodega tendría disponible más del 60% de espacio.

Se infiere que el modelo cumple con los requerimientos propuestos, logrando disminuir los costos variables de inventario y aumentar las ventas.

4.2 Implementación del modelo.

Para implementar el modelo propuesto se diseña un prototipo en una planilla de Microsoft Excel junto a la herramienta complementaria Opensolver. El modelo diseñado es lineal y continuo, por lo que su resolución fue realizada con el algoritmo Simplex.

Como en todo proyecto, se considerará un tiempo de adaptación para el funcionamiento adecuado del modelo propuesto en relación con la planificación del inventario. Se estima que el proceso de adaptación a la implementación ocurrirá en un plazo máximo de dos meses.

Existe la posibilidad futura de ampliar el modelo y/o de adquirir un software comercial que sea más eficiente y cuente con mayor capacidad que el diseñado con la herramienta propuesta. Si se observan resultados favorables al utilizar el modelo diseñado, sería factible la idea de ampliar el modelo con más variables a través de la incorporación de más productos (el modelo actual solo considera 15 de los 121 productos que comercializa Madegom, relacionados al 81,87% de las ventas de la compañía). Sin embargo, si se desea incorporar la totalidad de los productos al modelo, la empresa deberá considerar la compra de un software comercial, que abarque más información de manera más sencilla para el usuario y efectiva en los resultados al evitar demoras con el tiempo de resolución, pudiendo incluso agregar información más detallada al incluir variables relacionadas con el despacho de productos o lo que se desee agregar en el momento del análisis de datos.

A continuación, se evaluará la implementación del modelo propuesto a través del uso de la planilla de Microsoft Excel.

Para evaluar la implementación del modelo se consideran tres actividades que están indicadas en la carta Gantt de la *Figura 4.1* que está a continuación.

Figura 4.1: Carta Gantt de la implementación.

Proceso de implementación	Semanas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
- Marcha Blanca	■								
- Capacitación del personal	■								
- Utilización del nuevo sistema					■				

Fuente: Elaboración propia.

La primera actividad que indica la *Figura 4.1* corresponde al periodo denominado como marcha blanca, que consiste en seguir utilizando el método antiguo mientras comienza la segunda actividad, es decir, la capacitación al personal involucrado. Este periodo culmina ya iniciada la tercera actividad debido a la adaptación del uso del nuevo sistema que se pondrá en marcha. Paralelamente, el personal sigue recibiendo capacitaciones durante dos semanas más y se estima que todo el proceso de implementación demore aproximadamente 8 semanas.

Para la obtención del software que se utiliza en la solución del modelo, es necesario conocer de donde proviene Opensolver, éste trabaja como complemento de Microsoft Excel y es gratuito, se puede encontrar más información en la página oficial, junto con el link de descarga <http://opensolver.org/>. Todo lo anterior es estimado considerando que la empresa cuente con el software de Microsoft Excel, si no es el caso, la herramienta para empresas Microsoft office, para un pc y de forma vitalicia, tiene un precio aproximado de \$59.990 (<http://www.microsoftstore.com/>).

Para la implementación de la solución propuesta a través de la planilla electrónica de Opensolver, se deberá contar con un experto en planillas, el cual tendrá la tarea de guiar el proceso de cambio computacional, instalación de la herramienta y capacitación en el uso de ésta. Trabajo que está contemplado realizar por un integrante de esta memoria, que ya ha trabajado en la empresa. El costo de contratar un Ingeniero Civil Industrial recién egresado está avaluado en \$800.000 por Madegom S.A.

En Madegom se pretende capacitar a tres trabajadores para el uso del modelo; al jefe de bodega, ya que debe estar al tanto de las nuevas tecnologías que se incorporen, y a dos oficinistas que corresponden al operador logístico de bodega y al encargado de las importaciones. Todos ellos serán capacitados dentro de las dependencias de la compañía, las últimas 2 horas de su jornada laboral durante 6 semanas. La persona que capacitará a los empleados trabajará con honorarios y se le cancelará un monto aproximado de \$380.000.

Según los datos entregados por la empresa, cada trabajador cumple con un horario de 9 horas diarias, es decir, 45 HH (horas hombre) por semana. Por otro lado, los sueldos de los tres trabajadores a capacitar suman un total de \$6.980.000 por mes. Según la información recopilada el costo destinado a las capacitaciones se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Costo por hora del trabajador en capacitación} = \left(\frac{\text{Remuneración Semanal}}{\text{N}^\circ \text{ de horas trabajadas a la semana}} \right)$$

Sin embargo, como la información de los sueldos no fue entregada de manera detallada, se calculará el costo de la hora de los 3 trabajadores juntos.

$$\text{Costo por hora de los trabajadores en capacitación} = \frac{\$1.745.000}{135} = \$12.926 \text{ CLP}$$

Se invierten 60 horas de capacitación en cada uno de ellos durante esas 6 semanas, por lo que el costo mensual asociado de invertir estas horas en capacitación es igual a:

$$\text{Costo de capacitación de los 3 trabajadores} = 12.926 \times 60 \times 3 = \$2.326.680$$

Según los datos anteriores, la implementación del nuevo sistema se detalla en la *Tabla 4.17* que está a continuación, donde se determina que el costo total de la implementación corresponde a \$2.766.670.

Tabla 4.17: Gastos de implementación

Detalle gastos de implementación	Valor
Software Microsoft Excel	\$ 59.990
Capacitaciones	\$ 2.326.680
Honorarios capacitador	\$ 380.000
Costo total	\$ 2.766.670

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Evaluación económica

Para realizar la evaluación económica, es necesario realizar una estimación de costos de inventario, debido a que la empresa por motivos de confidencialidad no entrega dicha información. Para el cálculo se consideran las ventas realizadas en el periodo de noviembre del 2015 a octubre del 2016, las cuales se dividen en cuatrimestres y a su vez la empresa dice que margina alrededor de un 20%. Además, la empresa menciona que los costos de inventario más las compras que realizan equivalen aproximadamente a un 65% de las ventas. Con esta información y con los factores que nos entregaron en un principio para utilizar de costos, se estima para la situación real y con modelo el costo variable de inventario, que es donde se produce el ahorro al aplicarlo.

La *Tabla 4.18*, muestra la estimación de los costos en términos monetarios para poder cuantificar el ahorro que se produce con la aplicación del modelo. Se reitera que estos datos no son reales, son un aproximado para determinar si es conveniente la inversión propuesta en la implementación del modelo.

Tabla 4.18: Resumen CVI

Resumen de costos variables de inventario				
Periodo	Real	Modelo	Ahorro (\$)	Ahorro (%)
Cuatrimstre 1	\$ 141.275.409	\$ 132.158.326	\$ 9.117.082	6%
Cuatrimstre 2	\$ 146.599.153	\$ 109.381.405	\$37.217.748	25%
Cuatrimstre 3	\$ 148.306.358	\$ 105.757.792	\$42.548.565	29%
Total	\$436.180.919,53	\$347.297.523,37	\$88.883.396	20%

Fuente: Elaboración propia

En la *Tabla 4.19*, se muestra el flujo de caja utilizado para evaluar el proyecto, que considera un horizonte de evaluación de 3 periodos cuatrimestrales entre noviembre del 2015 y octubre del 2016.

La inversión inicial se realizará en dos partes, la Licencia del software Microsoft Excel se requiere antes de la puesta en marcha, por lo que se invertirá en el Periodo 0, y las capacitaciones junto con los costos asociados al capacitador se invertirán en el Periodo 1.

Se considera un impuesto a las utilidades de un 24% para todos los periodos de evaluación (año 2016), según el Artículo N°20, de la Ley de Impuesto a la Renta.

La tasa de descuento tiene como propósito descontar los flujos de caja obtenidos en cada uno de los 3 periodos para estimar el valor actual de un pago futuro, de acuerdo con una tasa que representa la rentabilidad mínima exigible al proyecto. Para calcular su valor, se utilizará el modelo de valorización de activos (CAPM) que determina el costo de capital propio, el cual se representa de la siguiente manera:

$$K_e = R_f + B_i * [E(R_m) - R_f]$$

Donde,

K_e = Tasa de descuento del proyecto sin financiamiento.

R_f = Tasa libre de riesgo correspondiente al 3,7% según el Banco Central de Chile.

B_i = Estimación del Beta correspondiente a 1,02; información adjunta en el Anexo 6.

$E(R_m)$ = Retorno esperado del mercado correspondiente a 12,7%, variación IPSA de noviembre del 2015 a octubre del 2016, por la Bolsa de Santiago de Chile. Ver Anexo 7.

Por consecuencia, la tasa de descuentos del proyecto es de 5,55%.

Tabla 4.19: Flujo de caja para el proyecto

	Periodo 0	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
Ahorro de CVI		\$ 9.117.082	\$ 37.217.748	\$ 42.548.565
Remuneración capacitador		\$ (380.000)	\$ -	\$ -
Capacitaciones		\$ (2.326.680)	\$ -	\$ -
Depreciaciones		\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad antes de impuesto		\$ 6.410.402	\$ 37.217.748	\$ 42.548.565
Impuestos a las utilidades	24,00%	\$ 1.538.497	\$ 8.932.260	\$ 10.211.656
Utilidad después de impuesto		\$ 4.871.906	\$ 28.285.489	\$ 32.336.910
Licencia software Microsoft Office	\$ (59.990)			
Inversión	\$ (59.990)			
Flujo de caja	\$ (59.990)	\$ 4.811.916	\$ 33.097.405	\$ 65.434.314

VAN	\$85.116.656,22
TASA	5,55%

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtener los flujos de caja, se calcula el VAN del proyecto. Si éste es mayor a cero, significa que el proyecto es lo suficientemente bueno para pagar todas las deudas que conlleva y generar riqueza en la empresa. Dado que el VAN del flujo corresponde a \$85.116.656, se recomienda invertir en el modelo propuesto.

Capítulo 5: Conclusiones y propuestas.

5.1 Conclusiones

Con la memoria de título presentada, se concluye que se logró cumplir con el objetivo principal, el cual consistía en proponer una herramienta de gestión de inventario para mejorar el ciclo logístico de Madegom, con el fin de reducir la cantidad de pedidos entregados fuera de plazo y tomar mejores decisiones de inventario. Su cumplimiento fue posible, mediante la construcción de un modelo matemático con funciones lineales, continuo y con restricciones, el cual se encarga de indicar las cantidades de productos que se deben comprar para satisfacer la demanda y mantener los costos de inventario al mínimo. El modelo le entrega a la empresa los siguientes beneficios:

- ∞ Disminución de costos de inventario
- ∞ Utilización correcta de recursos destinados a la importación de productos
- ∞ Estimar certeramente los tiempos y cantidades de pedido por producto
- ∞ Realizar una estimación certera del inventario existente en bodega y en trayecto.
- ∞ Apoyar las decisiones de inventario, para los productos representativos de la empresa.

El modelo tiene diversas restricciones de demanda, inventario y almacenamiento, donde en ésta última se utiliza entre el 17% y el 24% de disponibilidad de la bodega destinada a los 15 productos. Lo cual significa que aún existe espacio disponible suficiente como para satisfacer alzas de demandas futuras.

Al analizar los costos variables de inventario; que incluyen almacenamiento, preparación de pedido y escasez del producto, se observa que éstos disminuyen considerablemente llegando a un 29% de ahorro en el tercer cuatrimestre de aplicación, lo cual es muy favorable para la empresa. Esta diferencia puede observarse en la *Tabla 4.10* y la *Tabla 4.11* del *Capítulo 4*, que muestra la comparación de las situaciones evaluadas. El modelo desde el principio comienza a tener una disminución de los costos de 6% en el primer cuatrimestre, ya que se encarga de utilizar de forma eficiente los recursos de la empresa, sin embargo, a medida que se va adaptando el ahorro aumenta. Mediante la estimación de costos, se calcula el ahorro anual de inventario que corresponde a \$88.883.396, valor que se considera aproximado al utilizar el modelo.

Por otro lado, la inversión que se realiza para la compra de artículos aumenta, lo que se refleja en un gasto mayor que está relacionado directamente con un aumento en las ventas, comenzando con un 15% en el primer cuatrimestre para terminar el año en un 20%. Las ventas aumentarían en \$354.453.100 para el año evaluado, debido a la posibilidad de concretar más transacciones a raíz de la nueva disponibilidad de productos.

Al observar el análisis de resultados se deduce que el modelo es flexible a los cambios, puesto que el modelo se irá alimentando constantemente de datos reales de demanda. Los costos totales de inventario aumentan o disminuyen linealmente con la cantidad de productos que se importen.

Para la medición de resultados, se utilizaron dos indicadores. Primero un indicador para medir el cumplimiento de los productos según la demanda existente, en la realidad la empresa tuvo grandes quiebres de disponibilidad, donde muy pocos productos pudieron cumplir con su demanda particular. Con la aplicación del modelo la disponibilidad de producto aumenta manteniendo la mayoría de los productos en cuestión en un 100% de disponibilidad, lo que genera concretar una mayor cantidad de ventas.

En segundo lugar, se utilizó el indicador para medir el cumplimiento de los pedidos que incluían los productos evaluados, aquí también hubo un aumento favorable donde la cantidad de pedidos que se podrían haber entregado a tiempo aumenta en promedio a un 99%. Con esto se evitaría entregar productos atrasados en el plazo de entrega y se demuestra un mayor grado de cumplimiento y compromiso con el cliente, para que a futuro no se pierdan esas ventas.

Al realizar la evaluación económica, queda demostrado que el proyecto es rentable y conveniente para la empresa, debido a que se recupera el capital invertido al corto plazo y además genera ganancias.

Finalmente, se concluye que el modelo de gestión de inventario es rentable para la empresa ya que disminuye los costos de inventario, controla y/o mide la cantidad de productos que deben comprarse de forma mensual, proporcionándole información para la toma de decisiones de inventario y a su vez les permite cumplir con la entrega de pedidos a sus clientes. Esto le facilitará a Madegom centrar su enfoque en una mejora continua que le permita penetrar aún más al mercado.

5.2 Propuestas.

Según los resultados arrojados por el modelo, en el escenario real de la empresa se mantiene un bajo nivel de inventario de productos, que se traduce en quiebres de inventario recurrentes con mayores costos, sin considerar el costo del artículo. En el escenario con modelo se mantiene un nivel superior de inventario, aumentando la disponibilidad de productos, generando un mayor cumplimiento en los pedidos y disminuyendo los costos.

Además, al aplicar el modelo se incurre en menos costos variables de inventario y se aumentan las compras de productos, manteniendo en uso menos del 50% de la capacidad de la bodega que está destinada para los 15 productos seleccionados. Considerando lo anterior, es que se proponen las siguientes recomendaciones:

- Mantener un permanente monitoreo de la demanda, estudiar sus variaciones con el paso del tiempo y ajustar dichos cambios en los modelos de pronóstico, para continuar con información certera.
- Trabajar en el planteamiento de propuestas estratégicas para aumentar las ventas y así obtener beneficios con el espacio disponible que se tiene actualmente en bodega.
- Utilizar información real en los costos de inventario, ya que, por motivos de confidencialidad, la empresa no proporciona esa información a terceros. Al ingresar al modelo los costos reales, se podrán estimar los costos de manera más eficiente para su minimización y las decisiones de inventario que se tomen a partir de ello serán más certeras.
- Mantener un orden continuo en bodega, guardando los productos en los racks asignados con antelación, para evitar demoras en las actividades de picking.
- Monitorear constantemente la interface del sistema informático SAP con el que trabajan las distintas áreas de la compañía. La información que proporciona este sistema no está actualizada del todo, y al basarse en ella se realizan movimientos erróneos.

- Generar una política de retroalimentación de información entre los departamentos de bodega y ventas, coordinada por los jefes responsables de cada área, donde se realicen reuniones presenciales periódicas, ya que existe disonancia entre lo que los vendedores ofrecen a los clientes y lo que se dispone físicamente en bodega.
- Crear un canal de información para que los empleados puedan exponer problemas y plantear sugerencias que les vayan surgiendo a medida que realizan sus labores, aportando a la mejora continua de la compañía.
- Propuesta a largo plazo: luego de la implementación del modelo y de la adaptación del personal, se propone analizar la posibilidad de incluir gradualmente el resto de los productos, para disminuir los costos de inventario, mejorar las ventas y la organización de la empresa.

Bibliografía

- ∞ Ballou, R. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Educación.
- ∞ *Banco central de Chile*. (s.f.). Obtenido de <http://www.bcentral.cl/>
- ∞ Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2009). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros*. Punta Santa Fe: McGraw-Hill.
- ∞ Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*. Naucalpan de Juárez,: Pearson Educación.
- ∞ Hanke, J. E., & Wichern, D. W. (2006). *Pronósticos en los negocios*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.
- ∞ Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). *Investigación de operaciones*. McGraw-Hill.
- ∞ *MADEGOM Medical Solutions* . (s.f.). Obtenido de <http://www.madegom.cl>
- ∞ Ortiz Zaldivar, C., Varas Guevara, S., & Vera Andreo, J. (2004). *Optimización y modelos para la gestión*. Chile: Lom Ediciones.
- ∞ *Página oficial de Open Solver*. (s.f.). Obtenido de www.opensolver.org
- ∞ Sapag, J. (2007). *Evaluación de proyectos: Guía de ejercicios, Problemas y Soluciones*. Colombia: McGraw Hill.
- ∞ Schroeder, R. G. (1992). *Administración de operaciones*. McGraw Hill.
- ∞ Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones*. Naucalpan de Juárez,: Pearson Educación.

Anexos

Anexo 1: Disponibilidad de productos en situación real.

Producto	80B2508			GEE1066			GEE1222		
	Mes	Dem Real	Stock	Cumplido	Dem Real	Stock	Cumplido	Dem Real	Stock
Noviembre	193	165	85%	3.025	3.110	100%	2.546	2.380	93%
Diciembre	184	170	92%	3.088	3.035	98%	2.978	2.630	88%
Enero	191	165	86%	3.050	3.260	100%	2.506	2.530	100%
Febrero	192	170	89%	3.496	3.210	92%	2.487	2.270	91%
Marzo	188	195	100%	3.154	2.730	87%	2.634	2.470	94%
Abril	194	175	90%	3.253	2.980	92%	2.689	2.500	93%
Mayo	188	180	96%	3.130	3.030	97%	2.531	2.150	85%
Junio	183	175	96%	3.386	2.880	85%	2.846	2.450	86%
Julio	197	175	89%	3.408	3.230	95%	2.712	2.250	83%
Agosto	180	195	100%	3.252	2.880	89%	2.538	2.200	87%
Septiembre	188	200	100%	3.152	2.730	87%	2.604	2.350	90%
Octubre	180	190	100%	3.400	3.080	91%	2.357	2.450	100%

Producto	GEE1223			GEZ6951			GEZ6952		
	Mes	Dem Real	Stock	Cumplido	Dem Real	Stock	Cumplido	Dem Real	Stock
Noviembre	3.282	2.480	76%	4.284	3.780	88%	2.962	2.580	87%
Diciembre	3.000	3.140	100%	4.605	3.880	84%	1.980	2.280	100%
Enero	2.760	3.160	100%	4.098	3.780	92%	3.065	2.450	80%
Febrero	3.070	2.960	96%	4.154	3.380	81%	2.431	1.880	77%
Marzo	3.232	3.080	95%	4.500	3.800	84%	2.768	2.100	76%
Abril	3.288	2.400	73%	4.680	3.900	83%	3.147	2.400	76%
Mayo	3.423	3.080	90%	4.613	3.850	83%	2.990	2.350	79%
Junio	3.090	2.500	81%	4.800	4.100	85%	2.724	2.700	99%
Julio	3.520	3.100	88%	4.531	3.700	82%	3.015	2.700	90%
Agosto	3.693	2.780	75%	4.678	3.950	84%	2.231	2.200	99%
Septiembre	3.231	2.620	81%	4.498	3.800	84%	3.347	2.800	84%
Octubre	3.340	2.460	74%	4.763	3.900	82%	2.561	2.900	100%

Producto	GQ66531			GQ67031			GQ67531		
Mes	Dem Real	Stock	Cumplido	Dem Real	Stock	Cumplido	Dem Real	Stock	Cumplido
Noviembre	116	65	56%	151	120	79%	132	80	61%
Diciembre	111	65	59%	110	80	73%	130	90	69%
Enero	98	60	61%	148	40	27%	132	80	61%
Febrero	75	70	93%	113	120	100%	137	110	80%
Marzo	114	75	66%	135	130	96%	142	100	70%
Abril	104	90	87%	97	100	100%	143	90	63%
Mayo	115	100	87%	149	125	84%	149	90	60%
Junio	86	60	70%	172	120	70%	148	110	74%
Julio	121	65	54%	130	60	46%	154	100	65%
Agosto	99	100	100%	163	100	61%	158	130	82%
Septiembre	108	90	83%	121	80	66%	162	120	74%
Octubre	85	95	100%	170	140	82%	160	130	81%

Producto	GTE1420			RDE7413			VME7457		
Mes	Dem Real	Stock	Cumplido	Dem Real	Stock	Cumplido	Dem Real	Stock	Cumplido
Noviembre	220	160	73%	154	80	52%	3.514	3.180	90%
Diciembre	209	220	100%	130	150	100%	2.990	2.680	90%
Enero	255	171	67%	154	195	100%	2.987	2.880	96%
Febrero	199	220	100%	198	136	69%	4.015	3.480	87%
Marzo	220	171	78%	166	115	69%	3.811	3.150	83%
Abril	215	160	74%	188	145	77%	3.279	3.000	91%
Mayo	238	200	84%	195	170	87%	2.950	2.900	98%
Junio	200	150	75%	200	175	88%	3.562	2.800	79%
Julio	243	170	70%	177	130	73%	3.440	2.900	84%
Agosto	211	240	100%	195	175	90%	3.790	3.300	87%
Septiembre	252	249	99%	164	90	55%	3.254	2.550	78%
Octubre	243	200	82%	188	145	77%	3.535	2.900	82%

Anexo 2: Demanda histórica y pronosticada de los 15 productos

Mes	Demanda histórica de los 15 productos seleccionados														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
nov-13	376	195	3.397	2.584	3.206	1.939	3.726	3.105	120	109	98	552	122	121	1.985
dic-13	492	194	3.390	2.767	2.732	1.950	3.657	2.108	106	160	98	517	134	97	2.070
ene-14	307	196	3.160	2.663	3.092	1.830	3.631	2.989	122	124	103	441	116	113	1.874
feb-14	316	183	3.260	2.304	3.122	2.108	3.724	1.919	93	127	101	392	148	101	1.607
mar-14	416	190	3.379	2.475	2.491	2.067	3.761	2.402	130	143	105	575	134	118	1.768
abr-14	345	191	3.369	2.780	2.716	1.815	3.771	2.894	115	119	107	416	141	124	1.621
may-14	433	188	3.350	2.863	2.953	2.540	3.695	3.300	127	169	112	483	166	119	1.820
jun-14	317	195	2.999	2.582	3.204	3.012	3.647	2.239	88	114	114	429	141	93	2.104
jul-14	462	186	3.298	2.630	3.253	2.449	3.732	3.050	128	182	113	590	159	125	1.887
ago-14	485	196	3.004	2.631	2.908	2.518	3.879	2.501	93	127	112	541	180	131	2.161
sept-14	324	185	3.097	2.985	3.481	2.010	3.860	2.971	118	137	115	530	145	104	2.282
oct-14	478	180	2.950	3.000	3.300	2.200	3.945	2.300	110	113	119	515	204	111	2.260
nov-14	291	181	3.326	2.788	2.964	1.952	3.700	2.860	97	123	120	473	156	127	1.972
dic-14	370	187	3.059	2.430	3.218	1.860	3.998	2.810	90	143	121	527	202	119	2.391
ene-15	491	182	3.189	2.513	3.025	2.053	3.853	3.092	110	125	122	710	187	114	2.195
feb-15	393	185	3.422	2.566	2.328	1.823	4.017	1.976	87	153	124	578	210	124	2.906
mar-15	345	188	3.400	2.840	3.052	2.086	3.764	3.486	117	102	124	763	180	106	2.567
abr-15	322	182	3.134	2.379	2.804	1.802	3.841	1.819	80	156	125	771	202	102	2.704
may-15	547	181	3.469	2.846	3.369	1.725	3.971	3.253	126	113	125	684	169	143	3.395
jun-15	310	197	3.371	2.660	3.548	1.925	3.975	2.408	74	142	126	588	222	115	2.972
jul-15	387	185	3.457	2.696	2.651	2.928	4.027	2.131	100	111	128	690	204	167	3.350
ago-15	441	187	3.324	3.115	3.458	2.679	4.194	3.133	104	128	130	562	210	175	2.785
sept-15	322	197	3.015	2.647	3.259	2.425	4.289	3.058	127	158	131	583	233	155	3.484
oct-15	478	192	3.218	2.537	2.999	2.306	4.154	2.587	76	130	132	486	242	121	3.183
nov-15	413	193	3.025	2.546	3.282	2.051	4.284	2.962	116	151	132	536	220	154	3.514
dic-15	480	184	3.088	2.978	3.000	1.754	4.605	1.980	111	110	130	480	209	130	2.990
ene-16	398	191	3.050	2.506	2.760	1.890	4.098	3.065	98	148	132	513	255	154	2.987
feb-16	314	192	3.496	2.487	3.070	1.900	4.154	2.431	75	113	137	666	199	198	4.015
mar-16	463	188	3.154	2.634	3.232	2.021	4.500	2.768	114	135	142	741	220	166	3.811
abr-16	343	194	3.253	2.689	3.288	1.864	4.680	3.147	104	97	143	544	215	188	3.279
may-16	374	188	3.130	2.531	3.423	2.120	4.613	2.990	115	149	149	666	238	195	2.950
jun-16	569	183	3.386	2.846	3.090	2.088	4.800	2.724	86	172	148	755	200	200	3.562
jul-16	505	197	3.408	2.712	3.520	2.580	4.531	3.015	121	130	154	805	243	177	3.440
ago-16	480	180	3.252	2.538	3.693	2.569	4.678	2.231	99	163	158	670	211	195	3.790
sept-16	375	188	3.152	2.604	3.231	2.357	4.498	3.347	108	121	162	763	252	164	3.254
oct-16	508	180	3.400	2.357	3.340	2.298	4.763	2.561	85	170	160	798	243	188	3.535

Mes	Demanda pronosticada para los 15 productos seleccionados														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
nov-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dic-13	-	-	-	-	-	-	3.726	-	-	-	98	552	-	-	-
ene-14	-	-	-	-	-	-	3.691	-	-	-	98	534	122	-	-
feb-14	-	-	-	-	-	-	3.660	-	-	-	103	487	134	-	-
mar-14	-	-	-	-	-	-	3.693	-	120	-	101	439	119	-	-
abr-14	-	192	-	-	-	-	3.728	-	107	-	105	508	144	-	-
may-14	-	191	-	-	-	-	3.750	-	124	-	108	461	129	-	-
jun-14	-	190	-	-	-	-	3.722	-	95	-	113	472	146	-	-
jul-14	-	189	-	-	-	-	3.683	3.105	121	-	115	450	155	-	-
ago-14	-	190	-	-	-	-	3.708	2.107	108	109	114	521	146	121	1.985
sept-14	-	191	-	2.584	-	-	3.796	2.994	122	161	113	531	163	99	2.114
oct-14	-	190	-	2.767	3.206	-	3.829	1.926	93	124	116	531	171	116	1.983
nov-14	-	188	-	2.664	2.736	-	3.889	2.417	122	126	120	523	159	104	1.828
dic-14	-	186	-	2.305	3.109	1.939	3.792	2.921	106	142	122	497	198	125	2.104
ene-15	-	186	-	2.476	3.151	1.949	3.898	3.334	120	118	122	512	164	131	2.125
feb-15	-	183	3.397	2.781	2.524	1.830	3.875	2.277	90	168	123	613	208	125	2.474
mar-15	-	183	3.390	2.864	2.747	2.108	3.948	3.129	116	113	125	595	186	99	3.007
abr-15	376	185	3.160	2.583	3.000	2.067	3.853	2.263	103	180	125	680	217	133	2.875
may-15	490	185	3.260	2.630	3.252	1.811	3.847	3.031	116	123	126	726	189	131	3.204
jun-15	306	184	3.379	2.632	3.311	2.531	3.911	2.074	89	134	126	705	213	105	3.449
jul-15	315	187	3.369	2.681	2.984	2.986	3.944	2.586	113	111	127	645	183	116	3.359
ago-15	418	187	3.350	2.823	3.555	2.420	3.987	2.928	98	121	129	668	226	130	3.071
sept-15	350	186	2.999	2.694	3.307	2.484	4.093	3.305	114	141	131	614	202	138	3.351
oct-15	439	189	3.298	2.335	2.870	1.977	4.194	2.230	88	124	132	598	225	144	3.117
nov-15	326	192	3.004	2.485	3.206	2.164	4.173	3.268	112	153	133	541	230	151	3.671
dic-15	477	191	3.097	2.730	3.181	1.916	4.230	2.177	99	102	133	539	244	134	3.322
ene-16	504	191	2.950	2.859	2.529	1.897	4.423	3.127	116	158	131	509	231	146	3.277
feb-16	343	191	3.326	2.534	2.903	1.903	4.256	2.196	87	115	133	511	231	181	3.721
mar-16	497	190	3.059	2.683	3.020	1.781	4.204	2.489	110	143	138	590	251	159	3.338
abr-16	310	190	3.190	2.639	3.377	2.051	4.356	3.018	98	112	144	667	215	201	3.710
may-16	391	190	3.398	2.685	3.471	2.005	4.523	3.273	113	128	145	604	236	206	3.091
jun-16	513	191	3.390	2.894	2.984	1.759	4.569	2.362	86	158	151	636	219	190	3.660
jul-16	418	189	3.160	2.682	3.639	2.463	4.688	3.222	111	130	150	696	240	169	3.269
ago-16	376	190	3.261	2.383	3.413	2.922	4.607	2.164	99	151	156	752	211	197	3.602
sept-16	411	188	3.380	2.500	3.049	2.372	4.644	3.156	114	111	160	710	245	176	3.142
oct-16	540	187	3.369	2.789	3.390	2.436	4.569	2.313	87	150	165	737	215	195	3.220
nov-16	355	186	3.350	2.774	3.308	1.942	4.669	2.624	99	115	163	768	255	234	4.295
dic-16	374	186	2.999	2.523	2.792	2.122	4.669	3.114	113	138	165	768	237	203	4.086
ene-17	475	186	3.298	2.671	3.158	1.880	4.669	3.260	86	101	167	768	260	230	3.724
feb-17	404	186	3.004	2.651	3.294	1.865	4.669	2.531	112	151	169	768	243	237	3.449
mar-17	502	186	3.097	2.648	3.571	1.873	4.669	3.236	98	174	171	768	266	236	4.155
abr-17	395	186	2.951	2.882	3.686	1.755	4.669	2.257	113	132	174	768	248	212	4.080
may-17	537	186	3.327	2.689	3.250	2.019	4.669	3.285	86	164	176	768	271	232	4.481
jun-17	556	186	3.060	2.420	3.849	1.977	4.669	2.458	111	122	178	768	254	204	3.993
jul-17	406	186	3.189	2.524	3.743	1.734	4.669	2.701	98	170	180	768	276	227	4.251
ago-17	564	186	3.397	2.685	3.349	2.422	4.669	3.190	113	115	182	768	259	271	5.047
sept-17	387	186	3.390	2.774	3.622	2.868	4.669	3.336	86	138	185	768	282	240	4.838
oct-17	467	186	3.161	2.523	3.555	2.329	4.669	2.607	85	101	187	768	264	268	4.476

Anexo 3: gráficos referentes a los pronósticos de demanda

Producto 2: 80B2508

Demanda histórica general y por periodo.

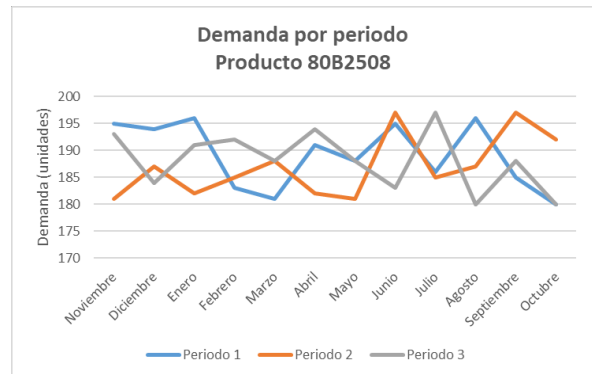
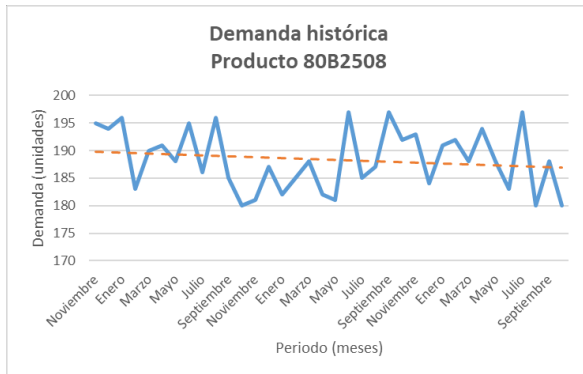
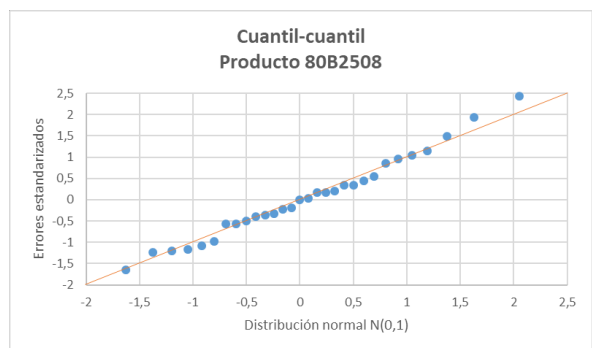
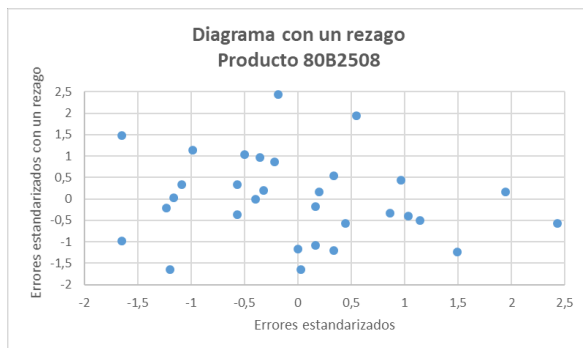
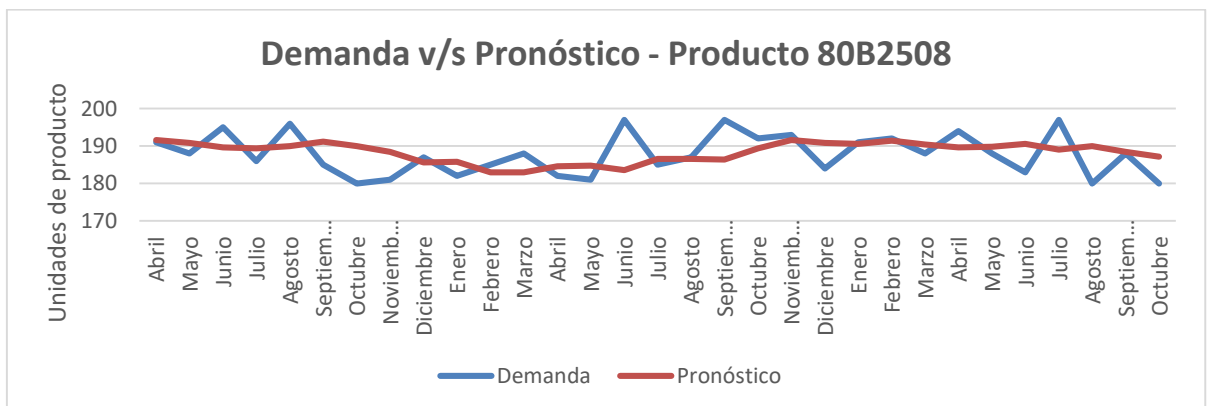


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



▪ **Producto 3: GEE1066**

Demanda histórica general y por periodo.

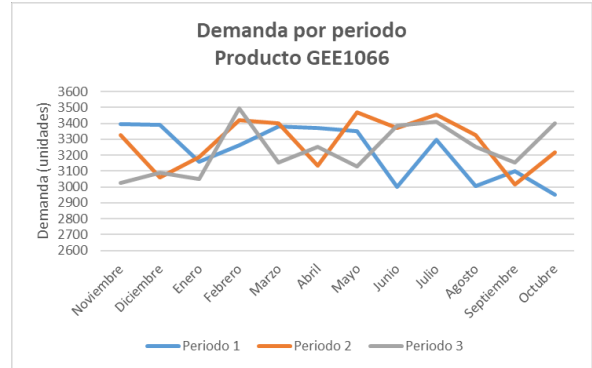
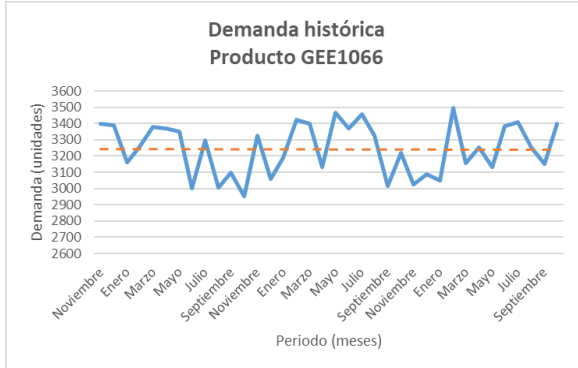
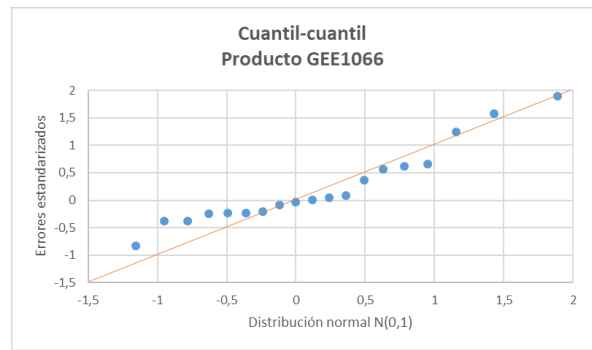
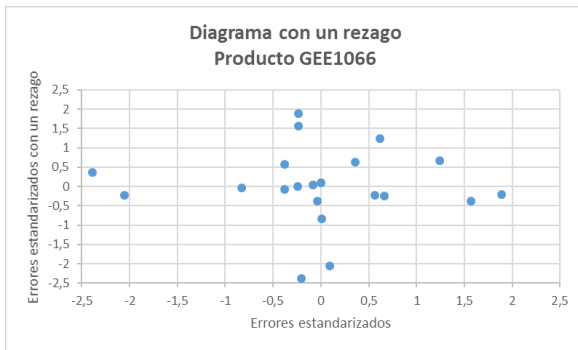
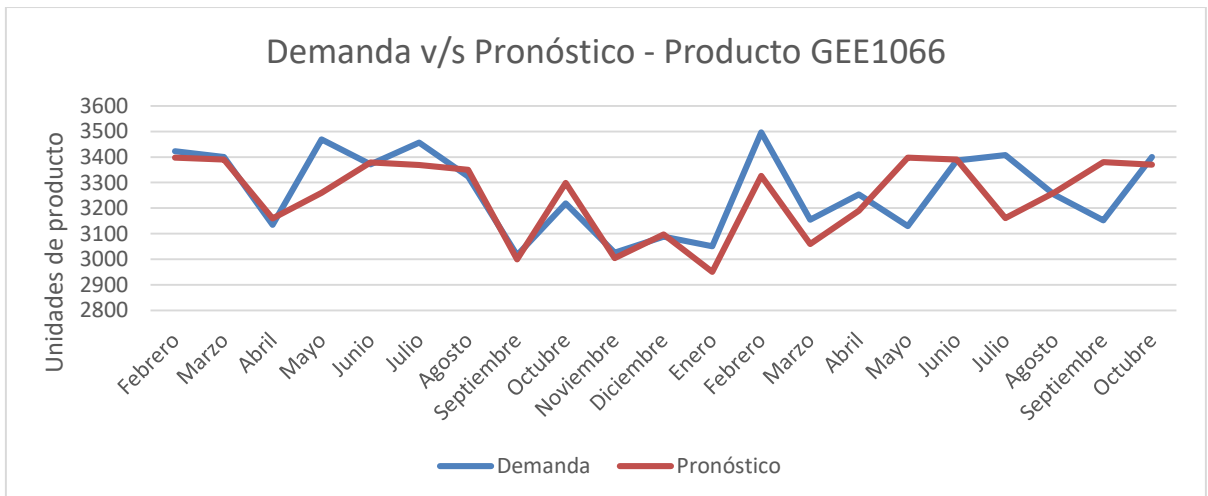


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



▪ **Producto 4: GEE1222**

Demanda histórica general y por periodo.

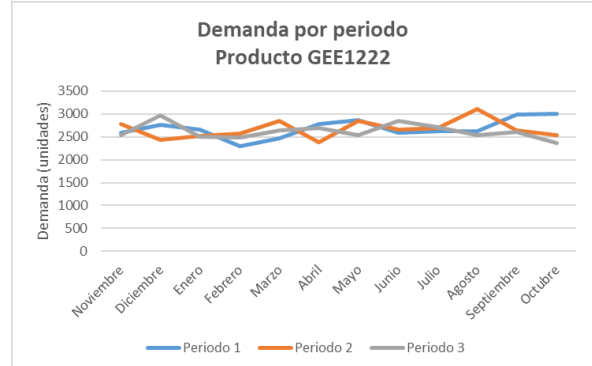
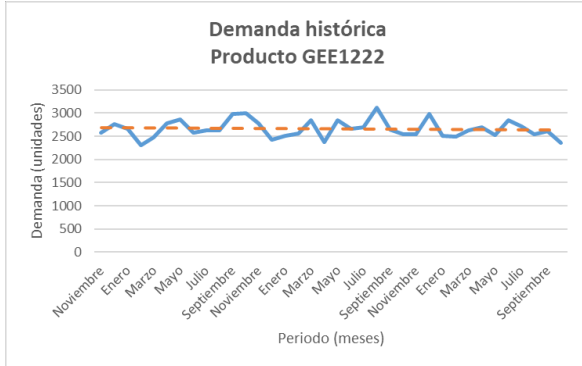
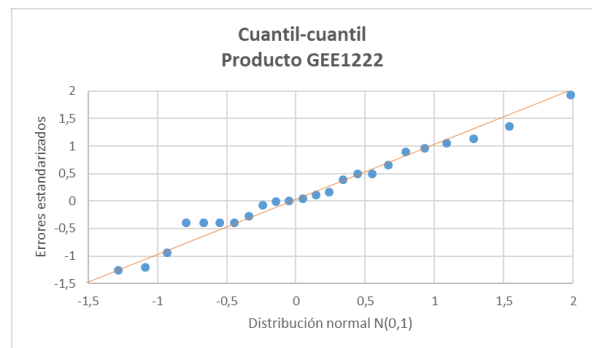
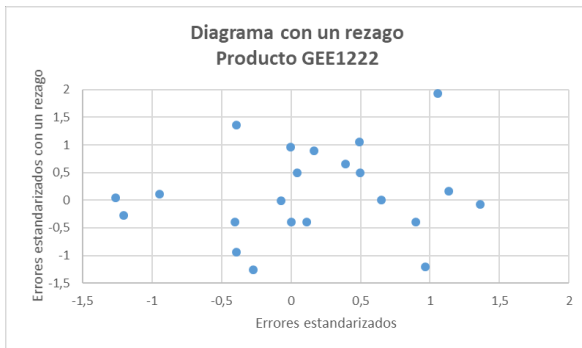
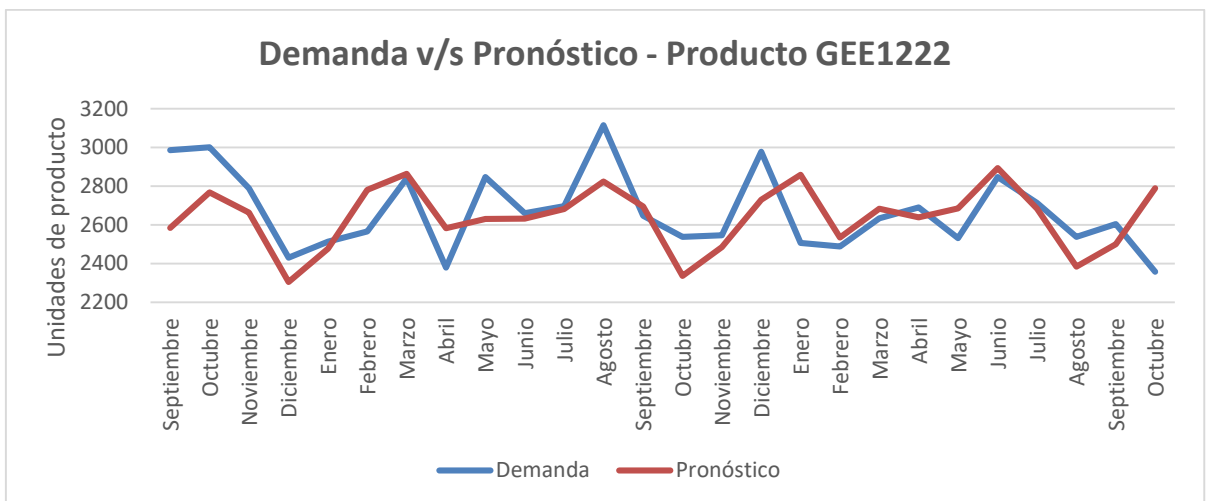


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



▪ **Producto 5: GEE1223**

Demanda histórica general y por periodo.

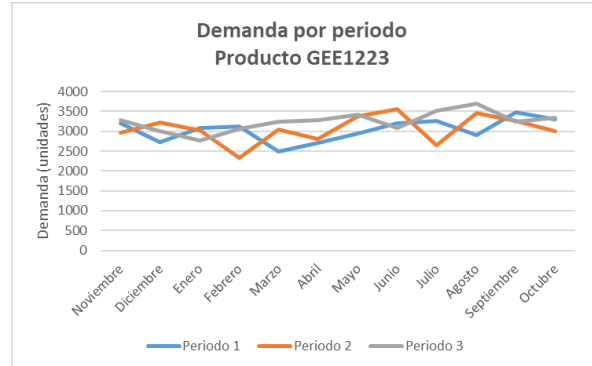
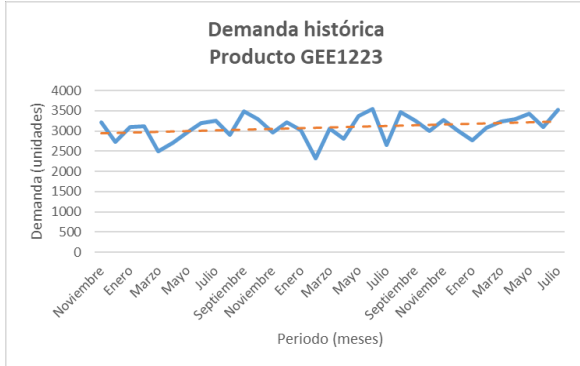
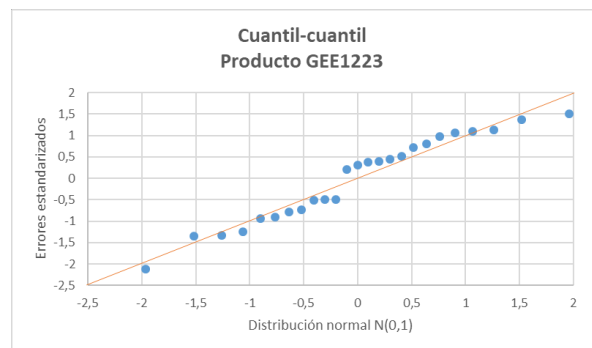
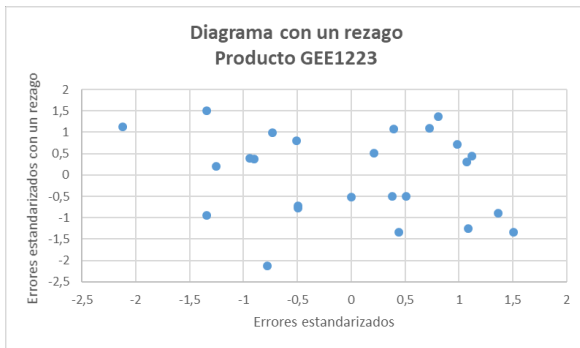
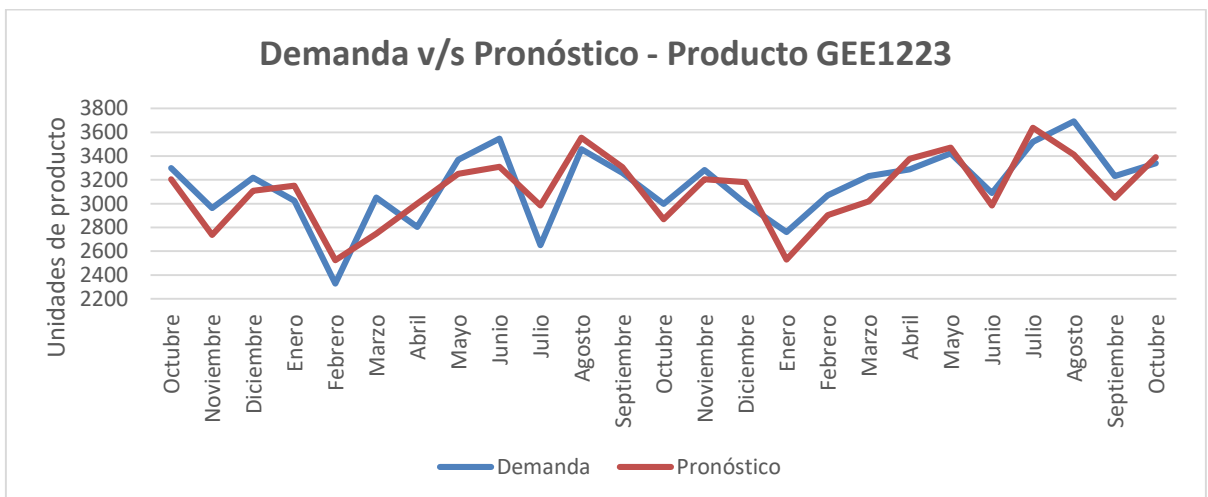


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



▪ **Producto 7: GEZ6951**

Demanda histórica general y por periodo.

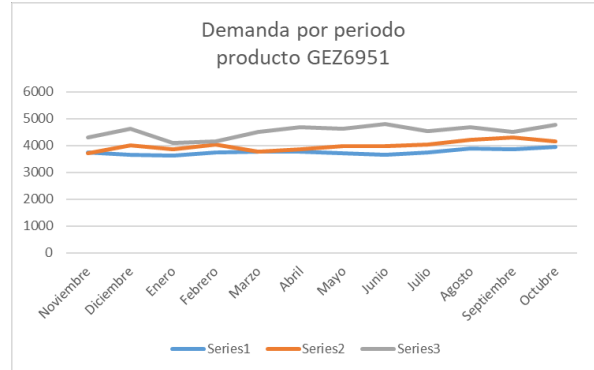
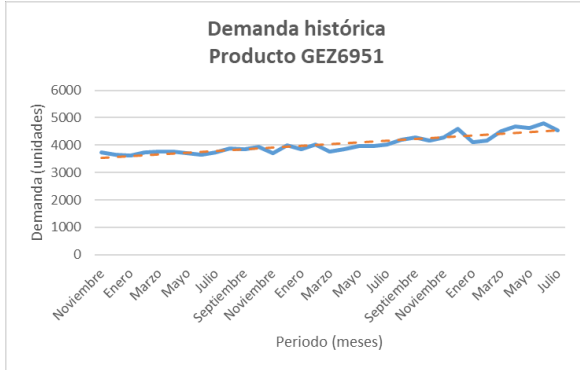
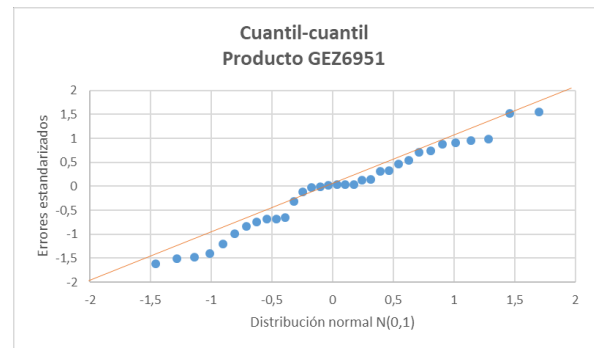
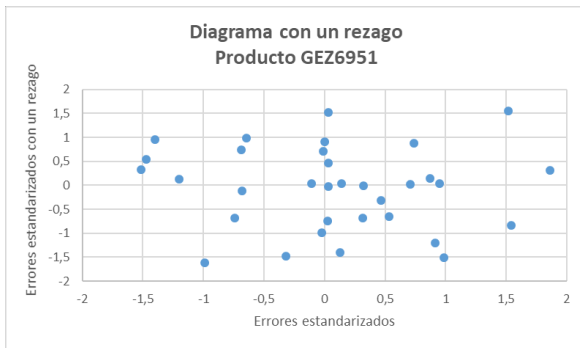
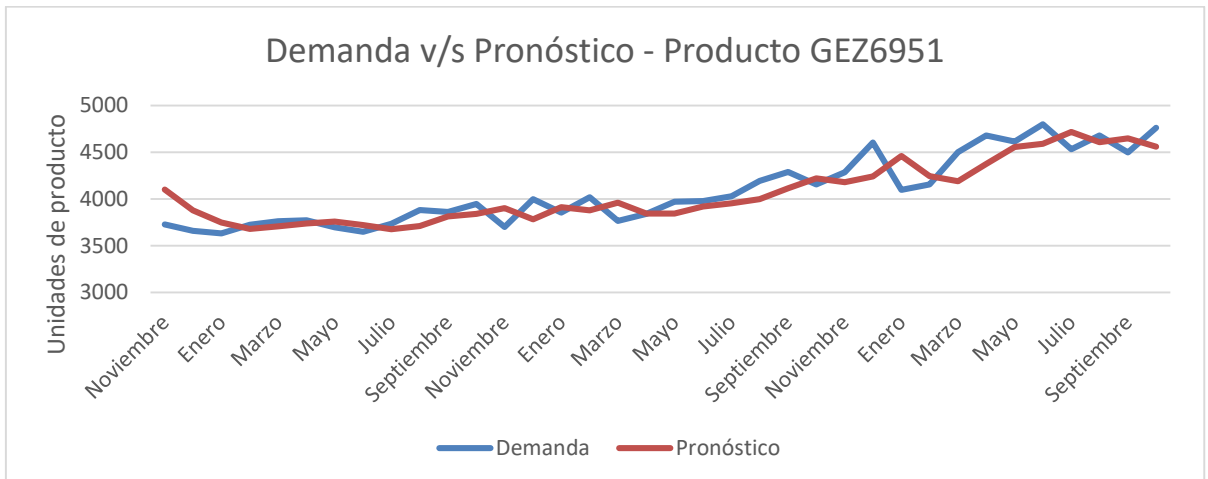


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



▪ **Producto 8: GEZ6952**

Demanda histórica general y por periodo.

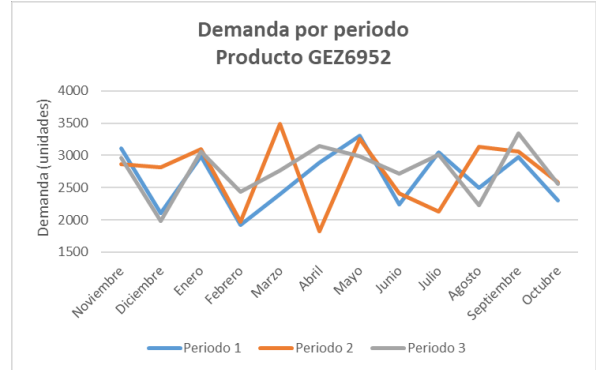
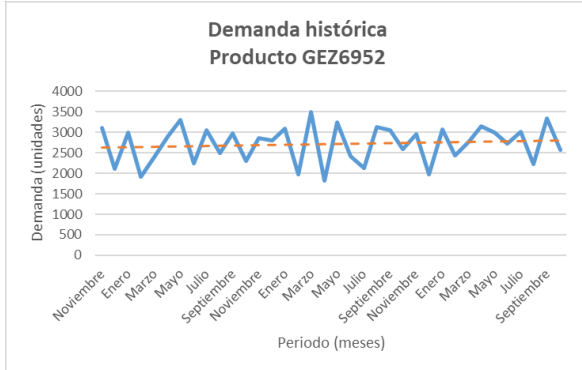
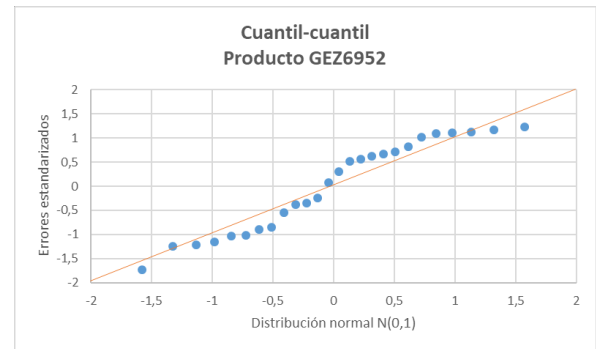
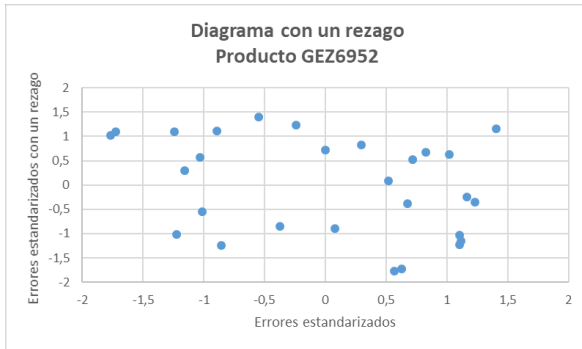
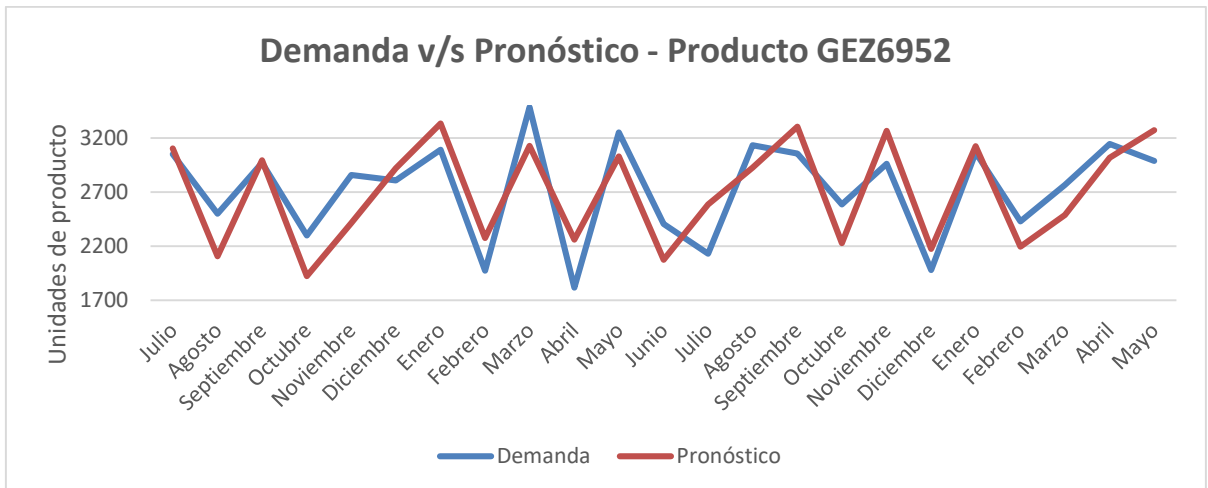


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



■ **Producto 9: GQ66531**

Demanda histórica general y por periodo.

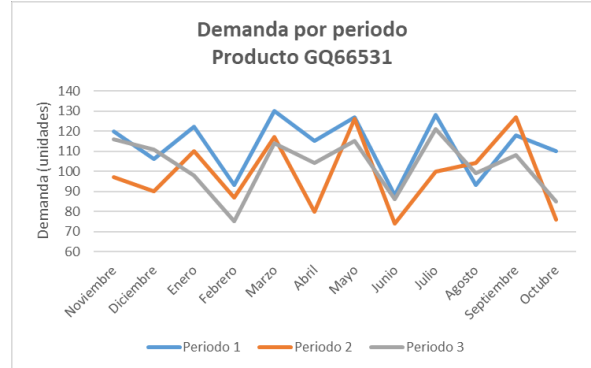
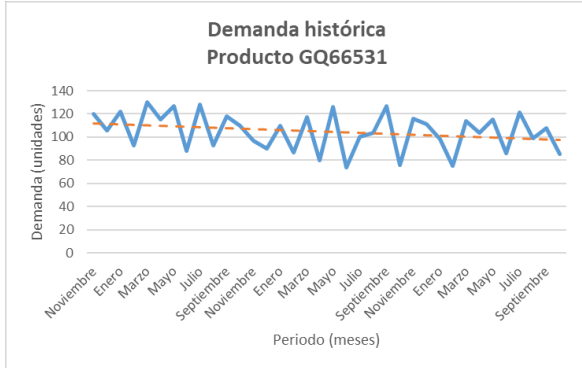
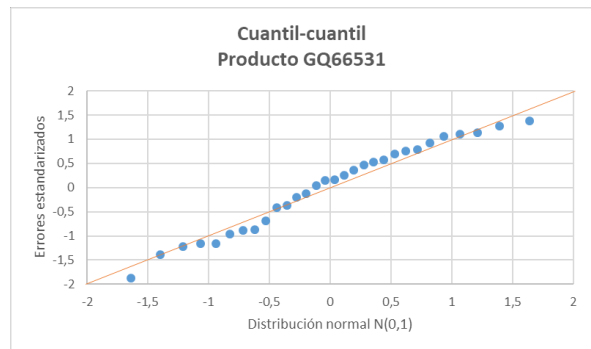
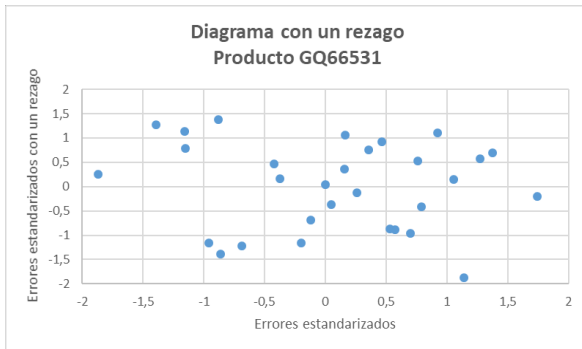
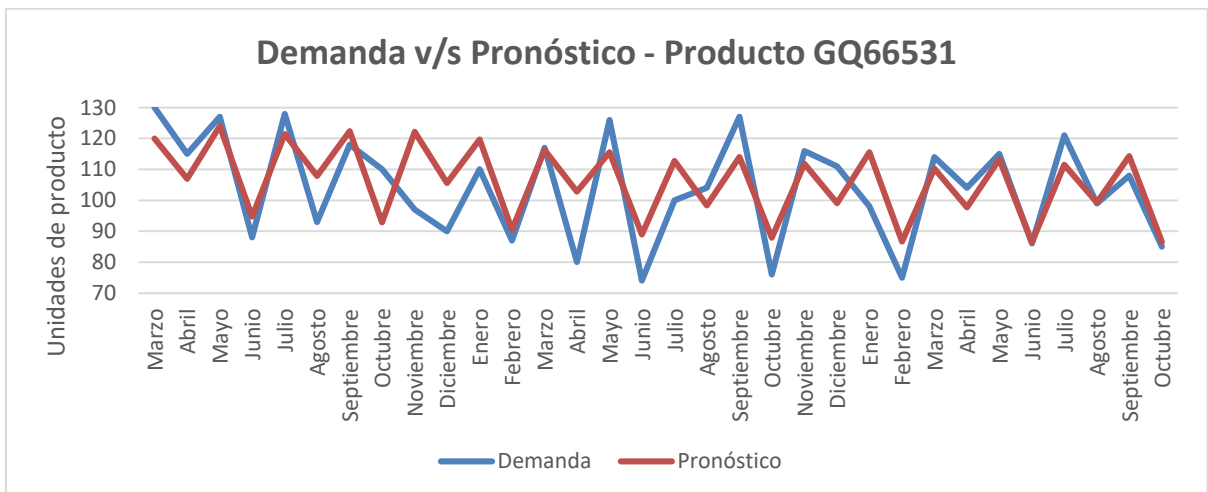


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



▪ **Producto 10: GQ67031**

Demanda histórica general y por periodo.

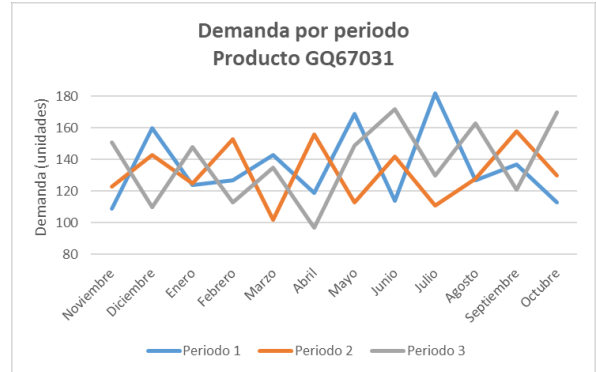
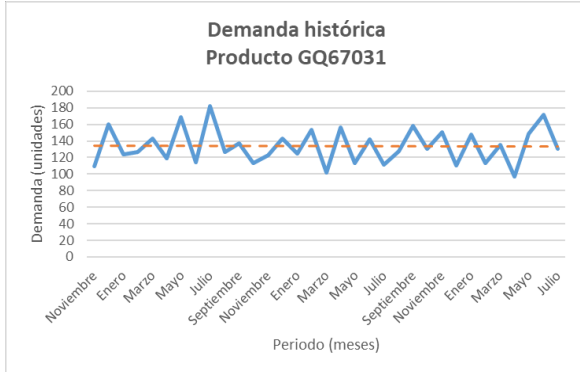
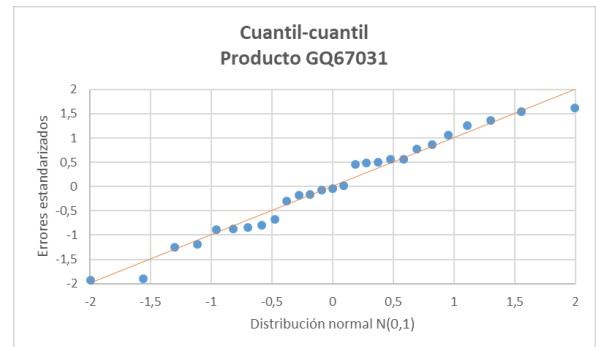
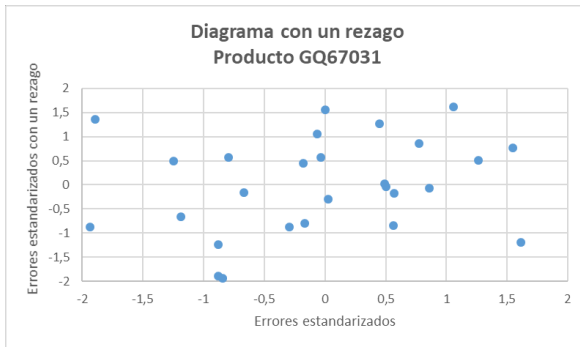
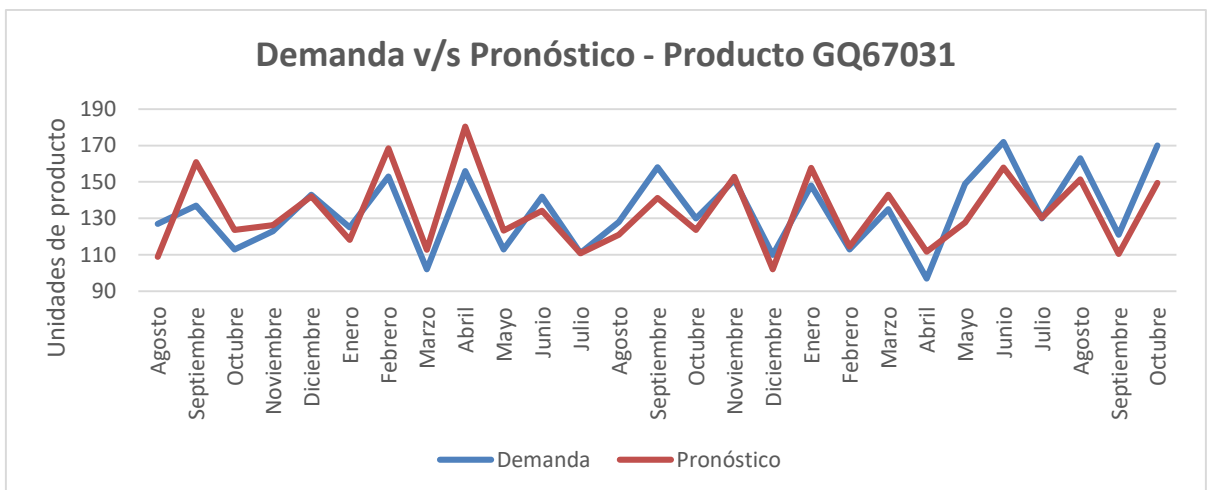


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



▪ **Producto 11: GQ67531**

Demanda histórica general y por periodo.

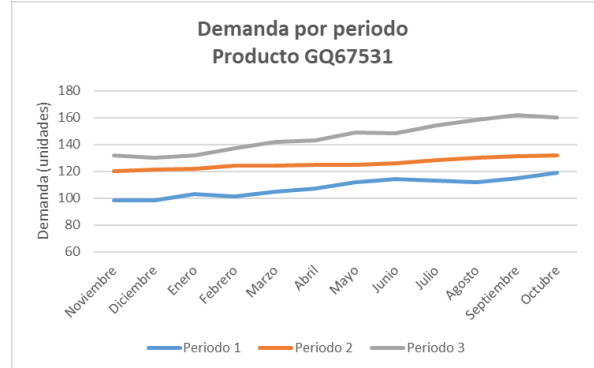
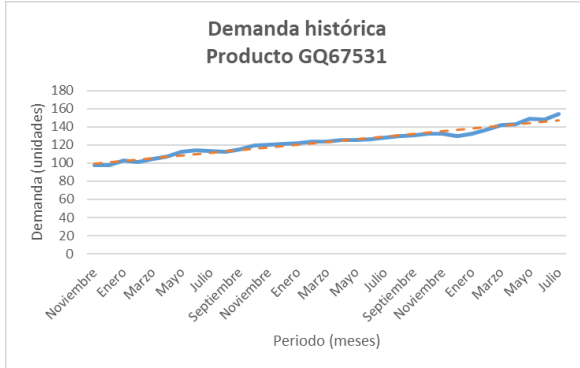
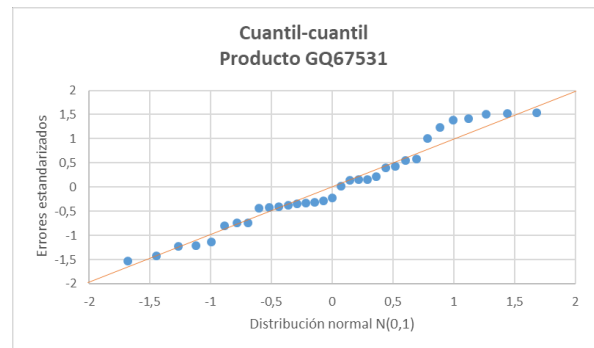
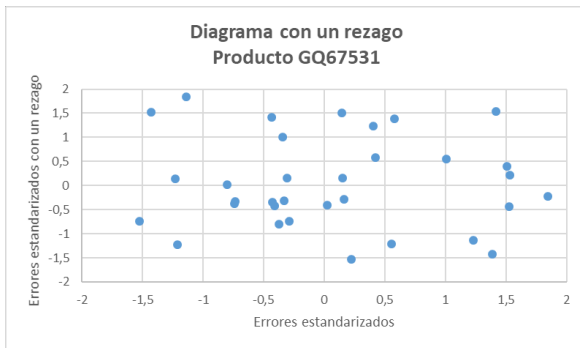
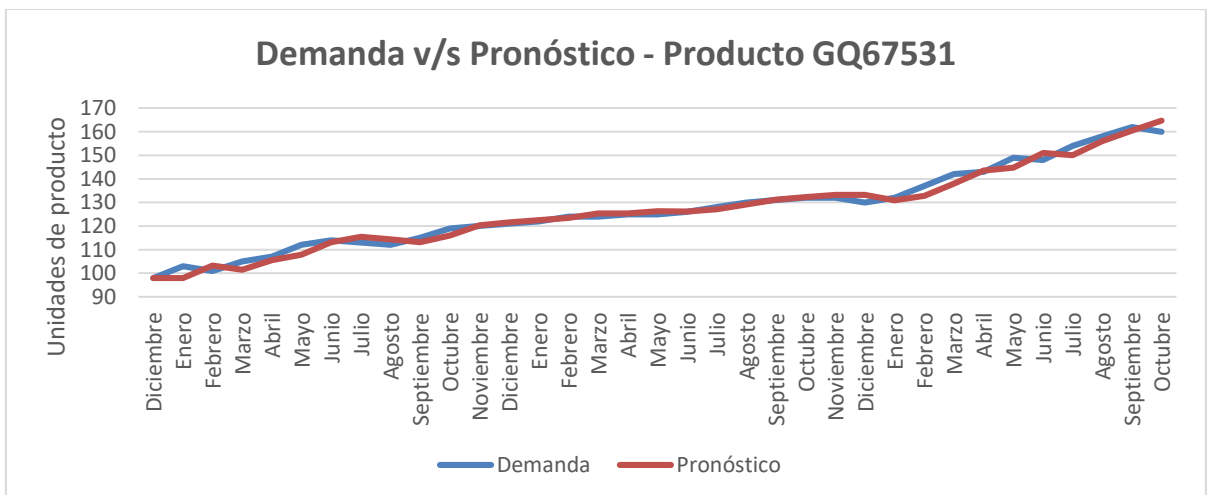


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



▪ **Producto 13: GTE1420**

Demanda histórica general y por periodo.

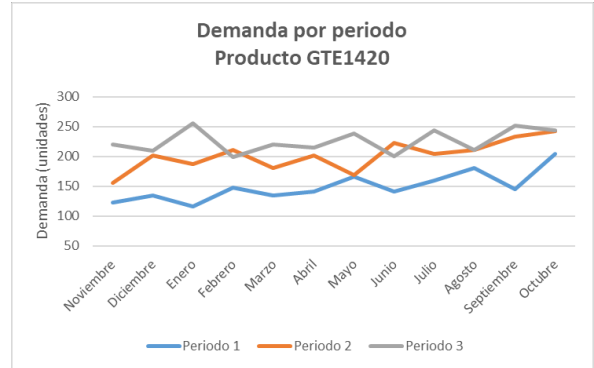
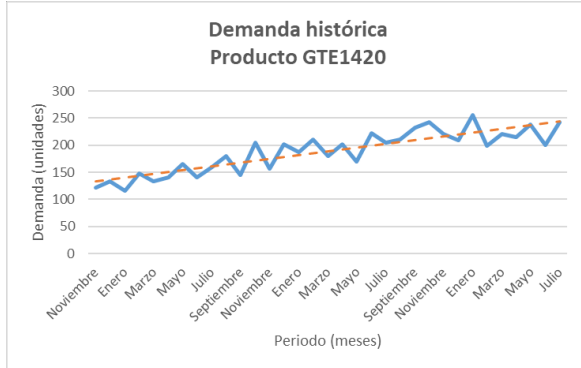
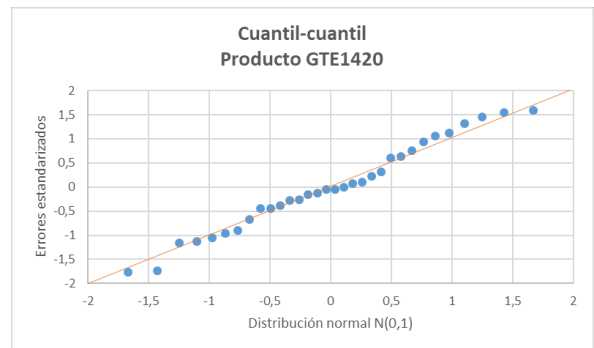
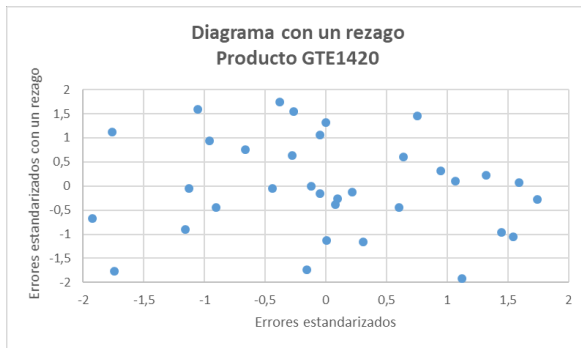
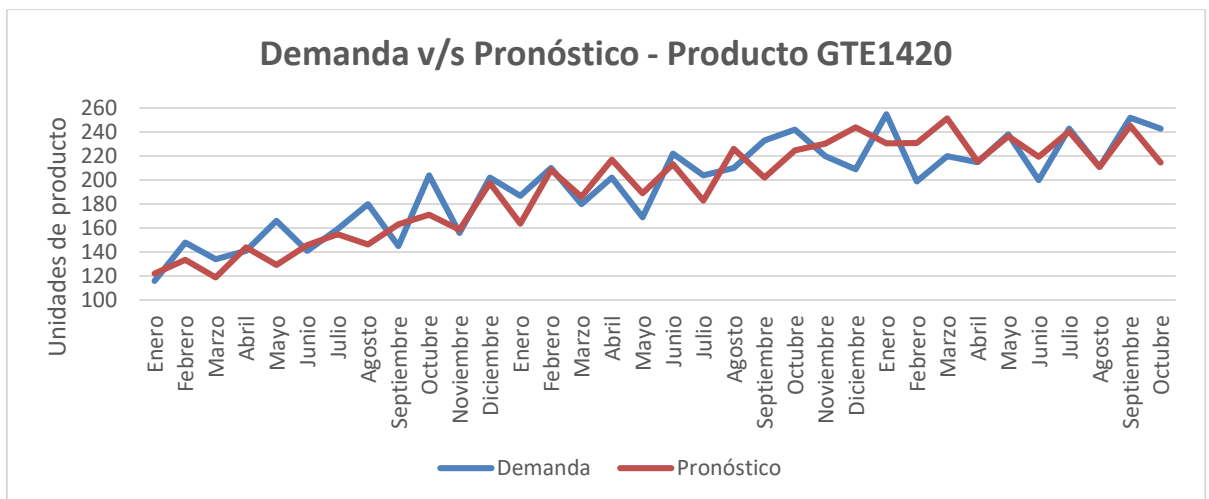


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



■ **Producto 14: RDE7413**

Demanda histórica general y por periodo.

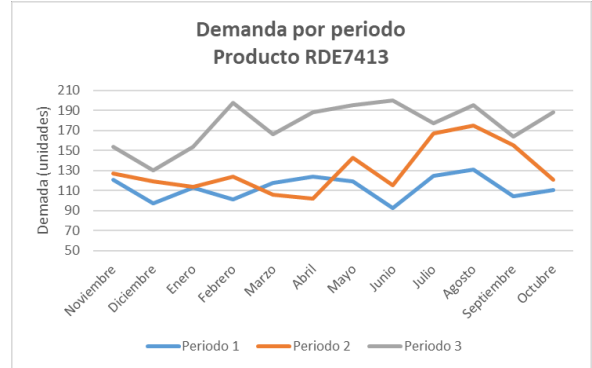
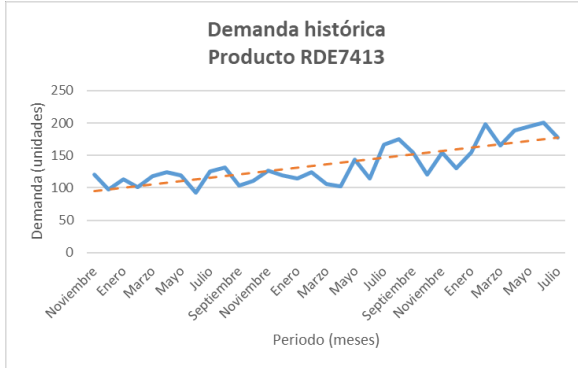
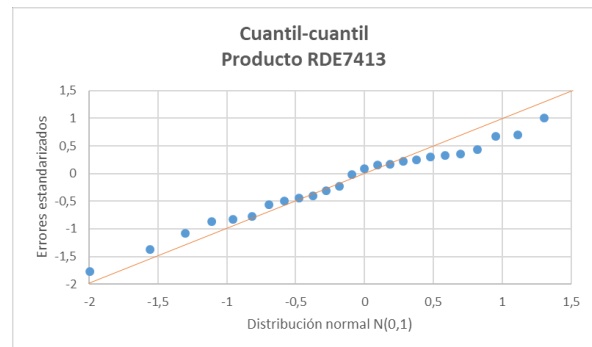
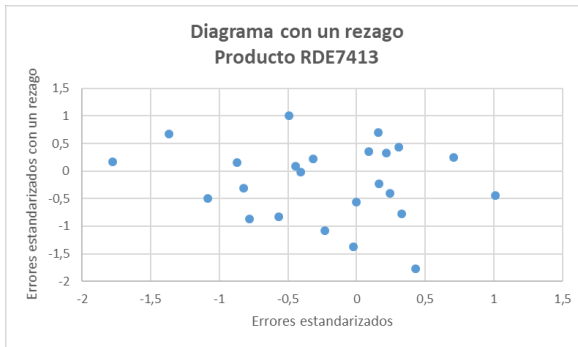
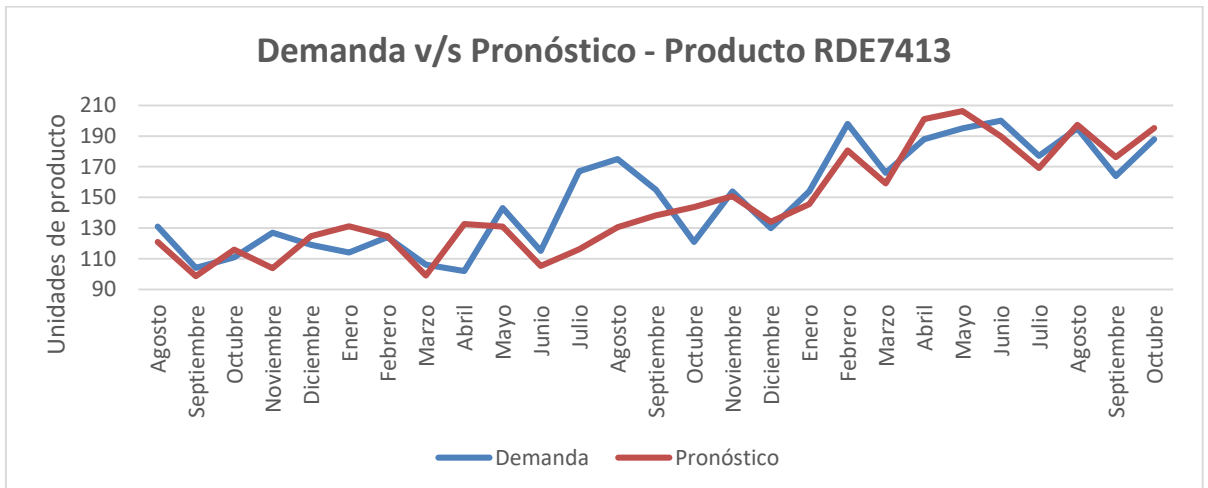


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.



Demanda histórica VS pronosticada.



▪ **Producto 15: VME7457**

Demanda histórica general y por periodo.

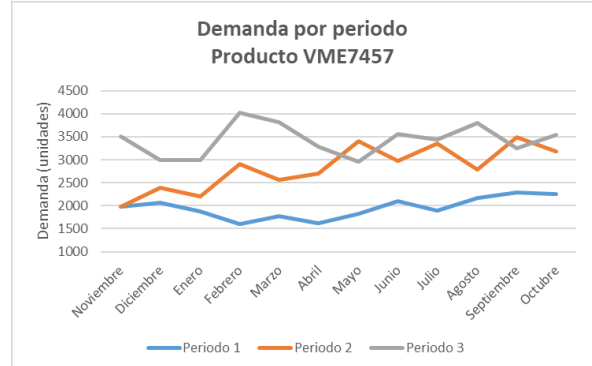
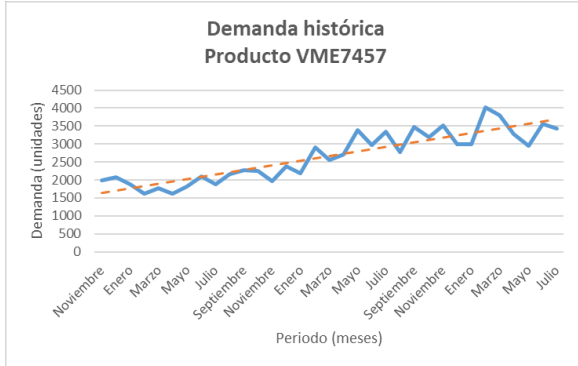
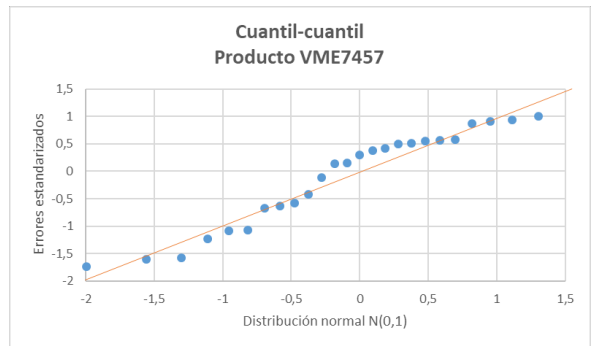
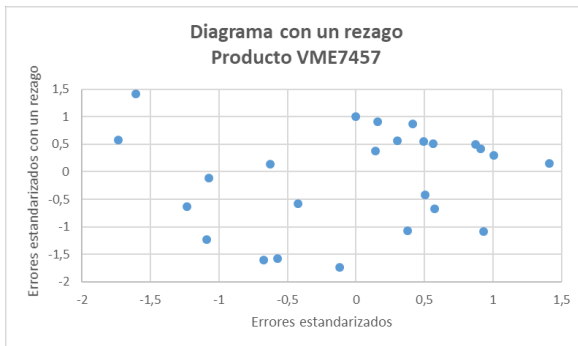
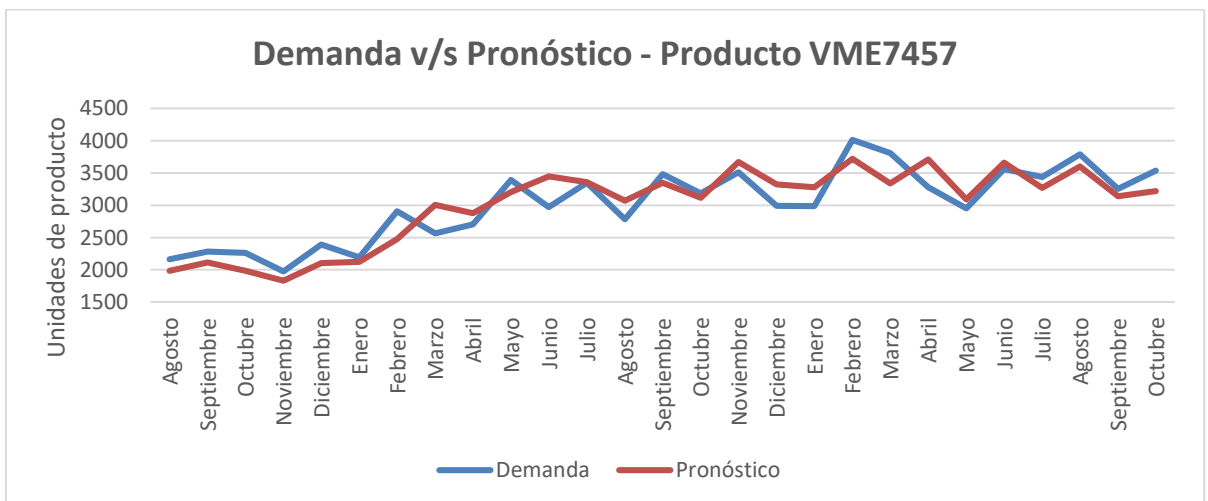


Diagrama de un rezago y Cuantil-cuantil.

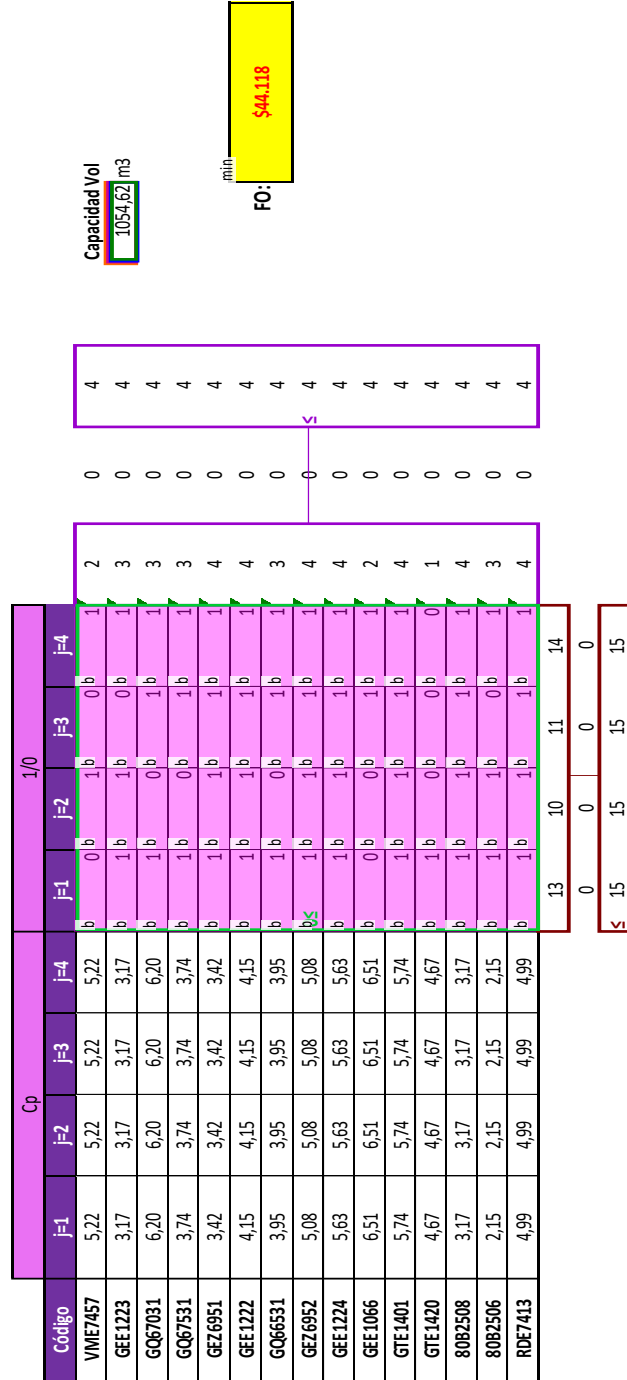


Demanda histórica VS pronosticada.



Anexo 4: Modelo de inventario.

PRODUCTO	j=1				j=2				j=3				j=4			
	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf	D	Yi	X	Yf
1 VME7457	343	409	0	66	498	66	803	371	311	371	0	60	392	60	408	76
2 GEE1223	192	7	192	7	191	7	381	197	190	197	0	7	190	7	190	7
3 G067031	3.327	145	6.392	3.210	3.060	3.210	0	150	3.190	150	3.197	157	3.398	157	3.408	167
4 G067531	2.535	206	5.205	2.876	2.683	2.876	0	193	2.639	193	2.636	190	2.685	190	2.688	193
5 GEE6951	2.904	248	2.940	284	3.020	284	3.031	295	3.378	295	3.413	330	3.471	330	3.480	339
6 GEE1222	1.904	293	1.905	294	1.782	294	1.763	275	2.052	275	2.094	317	2.006	317	1.999	310
7 G066531	4.256	398	8.440	4.582	4.204	4.582	0	378	4.356	378	4.370	392	4.523	392	4.538	407
8 GEE6952	2.196	528	2.039	371	2.490	371	2.539	420	3.018	420	3.107	509	3.274	509	3.317	552
9 GEE1224	87	19	115	47	111	47	83	19	98	19	95	16	114	16	117	19
10 GEE1066	115	283	0	168	144	168	0	24	112	24	107	19	128	19	130	21
11 GTE1401	133	19	133	19	139	19	140	20	144	20	145	21	145	21	145	21
12 GTE1420	511	102	2.392	1.983	590	1.983	0	1.393	667	1.393	0	726	605	726	0	121
13 8082508	231	49	231	49	252	49	256	53	216	53	208	45	237	45	242	50
14 8082506	181	101	125	45	160	45	367	252	202	252	0	50	207	50	208	51
15 RDE7413	3.721	853	3.836	968	3.338	968	3.238	868	3.710	868	3.807	965	3.092	965	2.931	804



Anexo 5: Disponibilidad de productos en situación real y con modelo.

80B2508					GEE1066					GEE1222				
Dem	Real		Modelo		Dem	Real		Modelo		Dem	Real		Modelo	
Real	Stock	Cumplido	Stock	Cumplido	Real	Stock	Cumplido	Stock	Cumplido	Real	Stock	Cumplido	Stock	Cumplido
193	165	85%	199	100%	3.025	3.110	100%	6.255	100%	2.546	2.380	93%	5.413	100%
184	170	92%	388	100%	3.088	3.120	100%	3.230	100%	2.978	2.630	88%	2.867	96%
191	165	86%	204	100%	3.050	3.292	100%	3.086	100%	2.506	2.530	100%	2.868	100%
192	170	89%	205	100%	3.496	3.452	99%	6.428	100%	2.487	2.294	92%	5.567	100%
188	195	100%	204	100%	3.154	2.730	87%	2.932	93%	2.634	2.470	94%	3.080	100%
194	182	94%	206	100%	3.253	2.980	92%	3.197	98%	2.689	2.500	93%	3.082	100%
188	180	96%	582	100%	3.130	3.030	97%	6.799	100%	2.531	2.150	85%	3.081	100%
183	175	96%	394	100%	3.386	2.880	85%	3.669	100%	2.846	2.450	86%	3.459	100%
197	175	89%	314	100%	3.408	3.230	95%	10.084	100%	2.712	2.250	83%	3.281	100%
180	195	100%	477	100%	3.252	2.880	89%	6.676	100%	2.538	2.200	87%	2.932	100%
188	215	100%	297	100%	3.152	2.730	87%	6.794	100%	2.604	2.350	90%	8.486	100%
180	217	100%	212	100%	3.400	3.080	91%	3.642	100%	2.357	2.450	100%	5.882	100%

Producto	GEE1223					GEZ6951					GEZ6952				
Mes	Dem Real	Real		Modelo		Dem Real	Real		Modelo		Dem Real	Real		Modelo	
		Stock	Cumplido	Stock	Cumplido		Stock	Cumplido	Stock	Cumplido		Stock	Cumplido	Stock	Cumplido
Noviembre	3.282	2.480	76%	6.698	100%	4.284	3.780	88%	4.550	100%	2.962	2.580	87%	3.819	100%
Diciembre	3.000	3.140	100%	3.416	100%	4.605	3.880	84%	4.502	98%	1.980	2.280	100%	6.139	100%
Enero	2.760	3.300	100%	2.883	100%	4.098	3.780	92%	4.440	100%	3.065	2.750	90%	4.159	100%
Febrero	3.070	3.500	100%	3.063	100%	4.154	3.380	81%	8.782	100%	2.431	1.880	77%	3.133	100%
Marzo	3.232	3.510	100%	3.031	94%	4.500	3.800	84%	4.628	100%	2.768	2.100	76%	3.241	100%
Abril	3.288	2.678	81%	3.413	100%	4.680	3.900	83%	9.036	100%	3.147	2.400	76%	6.897	100%
Mayo	3.423	3.080	90%	6.542	100%	4.613	3.850	83%	4.356	94%	2.990	2.350	79%	3.750	100%
Junio	3.090	2.500	81%	3.119	100%	4.800	4.100	85%	4.574	95%	2.724	2.700	99%	2.970	100%
Julio	3.520	3.100	88%	3.732	100%	4.531	3.700	82%	4.699	100%	3.015	2.700	90%	3.614	100%
Agosto	3.693	2.780	75%	6.618	100%	4.678	3.950	84%	4.769	100%	2.231	2.200	99%	2.584	100%
Septiembre	3.231	2.620	81%	2.925	91%	4.498	3.800	84%	9.300	100%	3.347	2.800	84%	3.676	100%
Octubre	3.340	2.460	74%	3.425	100%	4.763	3.900	82%	4.802	100%	2.561	2.900	100%	2.500	98%

Producto	GQ66531					GQ67031					GQ67531				
Mes	Dem Real	Real		Modelo		Dem Real	Real		Modelo		Dem Real	Real		Modelo	
		Stock	Cumplido	Stock	Cumplido		Stock	Cumplido	Stock	Cumplido		Stock	Cumplido	Stock	Cumplido
Noviembre	116	65	56%	131	100%	151	120	79%	178	100%	132	80	61%	154	100%
Diciembre	111	65	59%	113	100%	110	80	73%	122	100%	130	90	69%	156	100%
Enero	98	60	61%	120	100%	148	40	27%	436	100%	132	80	61%	156	100%
Febrero	75	70	93%	137	100%	113	120	100%	288	100%	137	110	80%	157	100%
Marzo	114	75	66%	145	100%	135	137	100%	175	100%	142	100	70%	160	100%
Abril	104	90	87%	154	100%	97	102	100%	147	100%	143	90	63%	163	100%
Mayo	115	100	87%	222	100%	149	130	87%	343	100%	149	90	60%	165	100%
Junio	86	60	70%	107	100%	172	120	70%	194	100%	148	110	74%	168	100%
Julio	121	65	54%	137	100%	130	60	46%	149	100%	154	100	65%	171	100%
Agosto	99	100	100%	114	100%	163	100	61%	174	100%	158	130	82%	175	100%
Septiembre	108	91	84%	194	100%	121	80	66%	116	96%	162	120	74%	178	100%
Octubre	85	95	100%	107	100%	170	140	82%	156	92%	160	130	81%	182	100%

Producto	GTE1420					RDE7413					VME7457					
	Mes	Dem Real	Real		Modelo		Dem Real	Real		Modelo		Dem Real	Real		Modelo	
			Stock	Cumplido	Stock	Cumplido		Stock	Cumplido	Stock	Cumplido		Stock	Cumplido		
Noviembre	220	160	73%	280	100%	154	80	52%	188	100%	3.514	3.180	90%	4.626	100%	
Diciembre	209	220	100%	306	100%	130	150	100%	379	100%	2.990	2.680	90%	4.343	100%	
Enero	255	182	71%	326	100%	154	215	100%	249	100%	2.987	2.880	96%	4.620	100%	
Febrero	199	220	100%	302	100%	198	197	99%	220	100%	4.015	3.480	87%	5.469	100%	
Marzo	220	192	87%	359	100%	166	115	69%	176	100%	3.811	3.150	83%	4.692	100%	
Abril	215	160	74%	347	100%	188	145	77%	223	100%	3.279	3.000	91%	4.688	100%	
Mayo	238	200	84%	374	100%	195	170	87%	243	100%	2.950	2.900	98%	4.340	100%	
Junio	200	150	75%	352	100%	200	175	88%	234	100%	3.562	2.800	79%	5.199	100%	
Julio	243	170	70%	398	100%	177	130	73%	404	100%	3.440	2.900	84%	4.804	100%	
Agosto	211	240	100%	613	100%	195	175	90%	227	100%	3.790	3.300	87%	5.054	100%	
Septiembre	252	278	100%	402	100%	164	90	55%	649	100%	3.254	2.550	78%	4.287	100%	
Octubre	243	226	93%	358	100%	188	145	77%	485	100%	3.535	2.900	82%	4.273	100%	

Anexo 6: Tabla β (Damodaran 2011)

INDUSTRY NAME	NUMBER OF FIRMS	AVERAGE BETA	MARKET D/E RATIO	TAX RATE	UNLEVERED BETA	CASH/FIRM VALUE	UNLEVERED BETA CORRECTED FOR CASH
Advertising	28	1,79	36,55%	12,86%	1,36	11,96%	1,55
Aerospace/Defense	63	1,15	23,64%	21,10%	0,97	9,62%	1,07
Air Transport	40	1,21	52,64%	22,30%	0,86	9,70%	0,95
Apparel	48	1,35	15,80%	20,86%	1,2	9,14%	1,32
Auto Parts	47	1,78	24,67%	13,45%	1,46	7,28%	1,58
Automotive	19	1,5	108,58%	20,43%	0,8	13,18%	0,93
Bank	418	0,75	85,86%	13,89%	0,43	8,29%	0,47
Bank (Canadian)	7	0,86	13,77%	20,27%	0,78	7,10%	0,84
Bank (Midwest)	40	0,96	69,03%	18,02%	0,61	9,49%	0,68
Beverage	34	0,92	13,09%	19,08%	0,83	3,69%	0,86
Biotechnology	120	1,13	13,24%	5,74%	1,01	16,31%	1,2
Building Materials	47	1,33	71,38%	11,69%	0,82	6,90%	0,88
Cable TV	24	1,43	68,40%	22,98%	0,94	3,35%	0,97
Canadian Energy	10	1,14	28,44%	10,36%	0,91	3,24%	0,94
Chemical (Basic)	17	1,28	18,75%	22,39%	1,12	5,41%	1,19
Chemical (Diversified)	31	1,51	21,07%	23,87%	1,3	6,22%	1,39
Chemical (Speciality)	83	1,37	23,06%	14,85%	1,14	4,22%	1,2
Coal	25	1,59	16,16%	13,17%	1,39	3,74%	1,45
Computer Software/SVCS	247	1,06	4,68%	13,88%	1,02	9,48%	1,12
Computers/Peripherals	101	1,27	9,13%	8,94%	1,18	10,45%	1,31
Diversified Co.	111	1,22	99,77%	17,14%	0,67	11,99%	0,76
Drug	301	1,11	14,10%	6,72%	0,98	8,96%	1,08
E-Commerce	52	1,14	4,58%	17,19%	1,1	8,09%	1,19
Educational Services	37	0,79	8,89%	27,32%	0,75	11,26%	0,84
Electric Util. (Central)	23	0,78	96,84%	25,40%	0,45	2,35%	0,46
Electric Util. (East)	25	0,73	74,73%	30,56%	0,48	2,26%	0,49
Electric Util. (West)	14	0,75	83,18%	31,47%	0,48	2,60%	0,49
Electrical Equipment	79	1,32	10,91%	15,54%	1,21	6,61%	1,29
Electronics	158	1,13	18,40%	12,85%	0,97	14,08%	1,13
Engineering & Const	17	1,65	7,93%	28,52%	1,56	15,56%	1,85
Entertainment	75	1,72	37,99%	14,68%	1,3	5,92%	1,38
Entertainment Tech.	31	1,39	7,80%	7,49%	1,29	16,71%	1,55
Environmental	69	0,85	41,13%	11,02%	0,62	2,50%	0,64
Financial Services (Div.)	230	1,37	135,83%	18,63%	0,65	13,43%	0,75
Food Processing	109	0,87	28,98%	21,80%	0,71	3,91%	0,74
Foreign Electronics	9	1,14	29,55%	30,06%	0,94	23,30%	1,23
Funeral Services	5	1,22	50,78%	29,02%	0,9	4,27%	0,94
Furn/Home Furnishings	30	1,67	26,18%	16,87%	1,37	8,32%	1,49
Healthcare Information	26	0,94	4,86%	22,42%	0,91	5,67%	0,96
Heavy Truck/Equip Makers	8	1,94	46,41%	19,97%	1,42	8,90%	1,55
Homebuilding	24	1,39	89,05%	6,07%	0,76	27,68%	1,05
Hotel/Gaming	52	1,76	49,08%	15,93%	1,25	6,15%	1,33
Household Products	22	1,17	18,38%	27,46%	1,03	2,14%	1,05
Human Resources	24	1,44	9,14%	23,73%	1,35	14,23%	1,57
Industrial Services	137	0,96	26,26%	20,50%	0,79	7,97%	0,86
Information Services	26	1,1	20,21%	22,44%	0,95	3,28%	0,98
Insurance (Life)	31	1,39	18,28%	20,29%	1,21	15,97%	1,44
Insurance (Prop/Cas.)	67	0,92	11,12%	19,50%	0,85	10,27%	0,94
Internet	180	1,11	1,57%	7,89%	1,09	9,48%	1,21

Machinery	114	1,22	28,52%	19,61%	0,99	5,82%	1,05
Maritime	53	1,37	138,71%	6,54%	0,6	6,88%	0,64
Medical Services	139	0,88	38,70%	20,56%	0,67	15,24%	0,8
Medical Supplies	231	1,02	11,48%	13,12%	0,93	7,65%	1,01
Metal Fabricating	30	1,44	18,24%	22,51%	1,26	12,60%	1,44
Metal & Mining (Div.)	69	1,33	11,01%	7,07%	1,21	3,32%	1,25
Natural Gas (Div.)	32	1,25	34,98%	15,07%	0,97	2,08%	0,99
Natural Gas (Util.)	27	0,65	62,04%	23,93%	0,44	2,08%	0,45
Newspaper	13	1,71	46,80%	29,44%	1,29	4,07%	1,34
Office Equip/Supplies	24	1,45	45,11%	14,81%	1,05	12,11%	1,19
Oil/Gas Distribution	12	0,97	75,32%	15,06%	0,59	2,68%	0,61
Oilfield Svcs/Equip	95	1,48	18,94%	16,42%	1,28	4,76%	1,34
Packaging & Container	27	1,06	44,52%	20,44%	0,78	7,43%	0,85
Paper Forest Products	37	1,52	71,26%	15,23%	0,95	6,62%	1,01
Petroleum (Integrated)	23	1,21	18,37%	27,13%	1,07	4,84%	1,12
Petroleum (Producing)	163	1,36	22,47%	8,47%	1,13	3,08%	1,17
Pharmacy Services	19	0,96	20,38%	25,09%	0,84	3,87%	0,87
Pipeline MLPs	11	0,85	42,18%	3,03%	0,61	0,53%	0,61
Power	68	1,34	98,86%	7,58%	0,7	10,14%	0,78
Precious Metals	74	1,18	6,76%	9,47%	1,12	3,35%	1,15
Precision Instrument	83	1,27	11,20%	12,02%	1,16	11,64%	1,31
Property Management	27	1,2	144,04%	15,63%	0,54	6,22%	0,58
Public/Private Equity	8	2,18	104,42%	0,43%	1,07	11,29%	1,2
Publishing	23	1,3	57,88%	25,44%	0,91	5,55%	0,96
REIT	6	1,29	30,86%	10,21%	1,01	5,94%	1,07
Railroad	14	1,28	27,19%	26,02%	1,07	2,68%	1,1
Recreation	52	1,5	37,21%	17,23%	1,15	4,95%	1,21
Reinsurance	8	0,98	15,27%	15,18%	0,86	20,99%	1,09
Restaurant	60	1,33	16,09%	22,08%	1,18	2,39%	1,21
Retail (Special Lines)	143	1,54	17,17%	19,64%	1,35	8,79%	1,48
Retail Automotive	15	1,44	27,52%	32,05%	1,21	2,98%	1,25
Retail Building Supply	8	0,92	13,61%	26,31%	0,83	2,26%	0,85
Retail Store	38	1,33	25,22%	25,96%	1,12	5,20%	1,19
Retail /Wholesale Food	29	0,74	42,10%	34,50%	0,58	7,41%	0,63
Securities Brokerage	25	1,25	149,83%	26,95%	0,6	20,07%	0,75
Semiconductor	115	1,56	6,24%	7,93%	1,47	12,21%	1,68
Semiconductor Equip	14	1,79	5,84%	5,72%	1,7	13,95%	1,97
Shoe	18	1,31	1,71%	24,51%	1,3	12,52%	1,48
Steel (General)	19	1,59	23,47%	12,88%	1,32	7,91%	1,43
Steel (Integrated)	13	1,72	36,84%	16,43%	1,32	8,07%	1,43
Telecom. Equipment	104	1,04	10,71%	12,42%	0,95	21,59%	1,22
Telecom. Services	85	1,01	34,06%	14,27%	0,78	6,66%	0,84
Telecom. Util.	28	1,03	84,06%	24,23%	0,63	5,11%	0,66
Thrift	181	0,7	7,81%	14,44%	0,66	11,05%	0,74
Tobacco	13	0,73	21,57%	22,47%	0,63	4,18%	0,66
Toiletries/Cosmetics	15	1,27	19,52%	21,52%	1,1	7,31%	1,19
Trucking	33	1,2	42,14%	25,48%	0,91	5,65%	0,97
Utility (Foreing)	5	0,99	58,68%	20,30%	0,67	4,45%	0,7
Water Utility	12	0,7	77,89%	35,46%	0,47	0,32%	0,47
Wireless Networking	48	1,25	18,19%	12,68%	1,08	5,55%	1,15
TOTAL MARKET	5.924	1,23	38,51%	18,18%	0,97	8,05%	1,06

Anexo 7: Cálculo del retorno esperado del mercado; E(R_m)

- Promedio rentabilidad mensual IPSA:

Fecha	Puntos	Variación (%)
nov-15	3.655,30	-4,51%
dic-15	3.680,21	0,68%
ene-16	3.705,92	0,70%
feb-16	3.715,84	0,27%
mar-16	3.937,49	5,97%
abr-16	4.002,07	1,64%
may-16	3.934,71	-1,68%
jun-16	3.995,91	1,56%
jul-16	4.117,47	3,04%
ago-16	4.119,28	0,04%
sept-16	4.015,25	-2,53%
oct-16	4.289,78	6,84%
Promedio	3.930,77	1,00167%

- Rentabilidad anual IPSA:

$$\begin{aligned} E(R_m) &= [(1 + \text{Promedio Rentabilidad Mensual IPSA})^{12}] - 1 \\ &= [(1 + 1,00167\%)^{12}] - 1 = \mathbf{12,7\%} \end{aligned}$$