

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN EN
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN”**

TEMA:

DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE INVENTARIO MULTINIVEL PARA
LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN
Y DISTRIBUCIÓN DE INSUMOS AGROINDUSTRIALES

AUTOR:

CARLOS LUIS ARELLANO DAQUILEMA

Guayaquil - Ecuador

2020

RESUMEN

El presente proyecto de investigación titulado “Diseño de una política de inventario multinivel para la red de distribución de una empresa de producción y distribución de insumos Agroindustriales”, es una aplicación de técnicas que permitirán establecer controles científicos a lo largo de la cadena de suministros, desde el mantenimiento de los niveles correctos de inventario, la planeación de materiales y la distribución de soluciones agrícolas a cada uno de los 53 almacenes a nivel nacional, tomando en consideración los escenarios, variables y factores que influyen y afectan en el proceso logístico. Adicional, la implementación de una política de inventario multinivel proveerá un óptimo cercano del punto de reorden y la cantidad de pedido en cada una de las agencias, considerando como objetivo fundamental la minimización del costo logístico y la mejora del nivel de servicio.

Palabras claves: Política de inventario multinivel, costo logístico, nivel de servicio, punto de reorden.

ABSTRACT

This research project entitled "Design of a multi-level inventory policy for the distribution network of a company for the production and distribution of Agro-industrial inputs", is an application of techniques that establish controls throughout of the supply chain, from the maintenance of the correct levels of inventory, the planning of materials and the distribution of agricultural solutions to each of the 53 warehouses nationwide, taking into account the scenarios, variables and factors that influence and affect in the logistics process. In addition, the implementation of a multilevel inventory policy will provide a close optimum of the reorder point and the order quantity in each of the agencies, determined as the fundamental objective of minimizing logistics cost and improving the level of service.

Key words: Multilevel inventory policy, logistics cost, service level, reorder point.

DEDICATORIA

Posiblemente, en este momento no entiendas esta dedicatoria, sin embargo, cuando puedas hacerlo, quiero que sepas que desde que supimos de tu existencia, fuiste nuestra principal razón para seguir adelante y esforzarnos cada día más, pasaste a ser nuestra gran motivación.

Detrás de este pequeño gran paso, han existido personas maravillosas que aportaron para mi formación personal y profesional, tu mamá Jessica Mercedes, que con su temple, amor y comprensión es mi cable a tierra, tus abuelitos Clarita (+) y Ufredo, quienes, con mucho esfuerzo, noches de arduo trabajo honesto y noble, me dieron las herramientas necesarias para poder salir adelante y hoy poder brindarte todo lo que mereces.

Te esperamos con ansias y mucho amor.

AGRADECIMIENTOS

Cuando iniciamos esta nueva etapa de estudios de cuarto nivel, sufrí la pérdida de mi querida madre, tuve la dicha de poder recibir su bendición antes de su partida, a ella, Clarita Daquilema, quiero agradecer por todo lo que soy, físicamente ya no me acompañas, espiritualmente siempre has estado conmigo.

A mi amada compañera de vida, Jessica Mercedes, quien ha sido sumamente importante, has estado a mi lado en los momentos más tormentosos, este proceso no fue fácil, sin embargo, siempre estuviste apoyándome, te lo agradezco muchísimo, amor.

Mis eternos abuelitos Guillermo y Zoila, gracias por haberme permitido vivir mi niñez a su lado, llevaré en mi corazón cada enseñanza vivida.

A mi papá Kleber Ufredo, gracias por ser el mejor, llevaré conmigo tu lealtad, gracias porque nunca nos faltó nada.

A mi hermano Ronny Michael, que este pequeño paso, sirva de motivación, desde el cielo un ángel nos mira y celebra nuestros triunfos.

A mi tutor, Ing. Víctor Vega, gracias por los conocimientos impartidos, por sus enseñanzas y consejos brindados como profesional y amigo.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.



Ing. Carlos Luis Arellano Daquilema

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Kleber Barcia Villacreses, Ph.D.
PRESIDENTE



Ing. Víctor Vega Chica
DIRECTOR



Pedro Ramos de Santis, M.Sc.
VOCAL 1



Xavier Cabezas Garcia, Ph.D.
VOCAL 2

ABREVIATURAS O SIGLAS

PT	Producto terminado
MP	Materia prima
OTIF	On time in full (a tiempo y completo)
KG	Kilogramos
TN	Toneladas
BPA	Buenas prácticas de almacenamiento
PAV	Productos agropecuarios de venta
PP	Producto en proceso
EOQ	Economic order quantity (cantidad económica de pedido)
EPQ	Economic production quantity (lote económico de producción)
DPF	Demanda de período fijo
MRP	Material requirement planning (sistema de planificación y administración de materiales)
GR	Granulado
GN	Granulado

SIMBOLOGÍA

A	Costo por ordenar
c	Costo unitario
D	Demanda
i	Costo anual por mantenimiento de inventario (% por año)
I	Nivel de inventario
I_t	Inventario disponible para el período de tiempo t
Q	Tamaño de la orden de pedido
Q^*	Cantidad económica para ordenar o producir
R	Punto de reorden
s	Stock de seguridad
T	Período de tiempo

t_1	Nivel de inventario inicial
t_2	Nivel de inventario final
X_t	Posición del inventario en el tiempo t
τ	Tiempo de entrega
Ψ	Tasa de producción
h	Costo total anual por mantenimiento de inventario (\$ por unidad por año)
B	Nivel de faltante
$K(Q)$	Costo total anual promedio como una función del tamaño de lote Q
b	Máximo nivel de faltante en el tiempo T
\bar{B}	Nivel promedio de faltantes

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS O SIGLAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE GENERAL	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Descripción del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	5
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	5
1.4 Hipótesis.....	6
1.5 Alcance.....	6
CAPÍTULO 2	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Estado del arte	7
2.2 Concepto de inventarios.....	11
2.2.1 <i>El Rol del inventario en la organización</i>	11
2.2.2 <i>Clasificación del inventario</i>	11
2.2.3 <i>Costos de inventario</i>	14
2.2.4 <i>Medidas de efectividad</i>	16
2.2.5 <i>Políticas de inventario</i>	17
2.2.6 <i>Política de inventario multinivel</i>	19
2.3 Decisiones de proporción	20
2.3.1 <i>Modelos estáticos de tamaño de lote</i>	21
2.3.2 <i>Modelos dinámicos de tamaño de lote</i>	25

2.4	Decisiones de tiempo	26
2.5	Decisiones de control	26
2.5.1	<i>Análisis de Pareto</i>	27
2.5.2	<i>Sistemas de control de inventario</i>	28
2.5.3	<i>Sistemas de control de inventario multinivel</i>	34
CAPÍTULO 3	37
3. METODOLOGÍA	37
3.1	Descripción de la metodología	37
3.2	Levantamiento de información	38
3.2.1	<i>Descripción del proceso en Bodegas</i>	38
3.2.2	<i>Detalle de productos en Planta y Mayoristas</i>	41
3.2.3	<i>Nivel de cumplimiento de pedidos</i>	45
3.3	Identificación de la problemática con el inventario	46
3.4	Análisis de datos	50
3.4.1	<i>Análisis del inventario</i>	51
3.4.2	<i>Análisis de la demanda</i>	56
3.4.2.1	Determinación de la estacionariedad, estacionalidad y modelos de pronóstico	56
3.4.2.2	Pronósticos de la demanda	81
3.5	Ejecución del modelo matemático	90
CAPÍTULO 4	93
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	93
4.1	Resultado de la función objetivo	93
4.2	Resultados de las variables de decisión	93
4.3	Análisis comparativo	100
CAPÍTULO 5	103
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	103
5.1	Conclusiones	103
5.2	Recomendaciones	104
BIBLIOGRAFÍA	106

APÉNDICES	109
ANEXO A.....	109
ANEXO B.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Red de distribución actual.....	3
Figura 2.1 Modelización del inventario en escalón.....	14
Figura 2.2 Política de revisión periódica	18
Figura 2.3 Política de revisión continua	19
Figura 2.4 Clasificación de los modelos de tamaño de lote	21
Figura 2.5 Bosquejo del inventario EOQ.....	23
Figura 2.6 Bosquejo del inventario EPQ	24
Figura 2.7 Diagrama de Pareto	28
Figura 2.8 Principio fundamental del sistema de control de inventario	30
Figura 2.9 Principio fundamental del sistema de control de inventario	31
Figura 2.10 Gestión administrativa.....	34
Figura 2.11 Canal de suministros multinivel.....	36
Figura 3.1 Metodología empleada.....	37
Figura 3.2 Proceso en planta	39
Figura 3.3 Diagrama de Ishikawa.....	47
Figura 3.4 Clasificación ABC – Km 5.5	53
Figura 3.5 Clasificación ABC – Daule	54
Figura 3.6 Clasificación ABC – Milagro.....	55
Figura 3.7 Comportamiento demanda Urea – Km 5.5.....	61
Figura 3.8 Estacionalidad demanda Urea – Km 5.5.....	63
Figura 3.9 Comportamiento demanda MOP GR – Km 5.5.....	63
Figura 3.10 Estacionalidad demanda MOP GR – Km 5.5.....	65
Figura 3.11 Comportamiento demanda DAP – Km 5.5.....	65
Figura 3.12 Estacionalidad demanda DAP – Km 5.5	67
Figura 3.13 Comportamiento demanda SAM – Km 5.5.....	67
Figura 3.14 Estacionalidad demanda SAM – Km 5.5.....	69
Figura 3.15 Comportamiento demanda Urea – Daule.....	69
Figura 3.16 Estacionalidad demanda Urea – Daule.....	71
Figura 3.17 Comportamiento demanda SAM – Daule.....	71
Figura 3.18 Estacionalidad demanda SAM – Daule.....	73
Figura 3.19 Comportamiento demanda Urea – Milagro	73
Figura 3.20 Estacionalidad demanda Urea – Milagro	75

Figura 3.21 Comportamiento demanda SAM – Milagro	75
Figura 3.22 Estacionalidad demanda SAM – Milagro	77
Figura 3.23 Comportamiento demanda MOP – Milagro.....	77
Figura 3.24 Estacionalidad demanda MOP – Milagro	79
Figura 3.25 Comportamiento demanda NAM – Milagro	79
Figura 3.26 Estacionalidad demanda NAM – Milagro	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Capacidad de almacenamiento de los mayoristas	40
Tabla 3.2 Portafolio de productos en Planta	41
Tabla 3.3 Portafolio de fertilizantes simples en mayoristas representativos	45
Tabla 3.4 Nivel de cumplimiento de pedidos	46
Tabla 3.5 Rangos de evaluación del nivel de cumplimiento de pedidos	46
Tabla 3.6 Clasificación ABC – Km 5.5	52
Tabla 3.7 Clasificación ABC – Daule	53
Tabla 3.8 Clasificación ABC – Daule	54
Tabla 3.9 Ítems seleccionados por mayorista	55
Tabla 3.10 Parámetros demanda Urea – Km 5.5	62
Tabla 3.11 Parámetros demanda MOP – Km 5.5	64
Tabla 3.12 Parámetros demanda DAP – Km 5.5	66
Tabla 3.13 Parámetros demanda SAM – Km 5.5	68
Tabla 3.14 Parámetros demanda Urea – Daule	70
Tabla 3.15 Parámetros demanda SAM – Daule	72
Tabla 3.16 Parámetros demanda Urea – Milagro	74
Tabla 3.17 Parámetros demanda SAM – Milagro	76
Tabla 3.18 Parámetros demanda MOP – Milagro	78
Tabla 3.19 Parámetros demanda NAM – Milagro	80
Tabla 3.20 Pronóstico Urea – Km 5.5	83
Tabla 3.21 Pronóstico MOP – Km 5.5	83
Tabla 3.22 Pronóstico DAP – Km 5.5	84
Tabla 3.23 Pronóstico SAM – Km 5.5	85
Tabla 3.24 Pronóstico Urea – Daule	85
Tabla 3.25 Pronóstico SAM – Daule	86
Tabla 3.26 Pronóstico Urea – Milagro	87
Tabla 3.27 Pronóstico MOP – Milagro	87
Tabla 3.28 Pronóstico NAM – Km 5.5	88
Tabla 3.29 Pronóstico SAM – Milagro	89
Tabla 4.1 Variables de decisión Urea – Km 5.5	94
Tabla 4.2 Variables de decisión MOP – Km 5.5	95
Tabla 4.3 Variables de decisión DAP – Km 5.5	95

Tabla 4.4 Variables de decisión SAM – Km 5.5	96
Tabla 4.5 Variables de decisión Urea – Daule	97
Tabla 4.6 Variables de decisión SAM – Daule	97
Tabla 4.7 Variables de decisión Urea – Milagro.....	98
Tabla 4.8 Variables de decisión MOP – Milagro	99
Tabla 4.9 Variables de decisión NAM – Milagro.....	99
Tabla 4.10 Variables de decisión SAM – Milagro.....	100
Tabla 4.11 Comparativo ventas KM 5.5.....	101
Tabla 4.12 Comparativo ventas Daule	101
Tabla 4.13 Comparativo ventas Milagro.....	102

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, en un mundo tan globalizado y competitivo, las empresas afrontan el día a día una serie de problemas de toda índole, esto debido a los cambios drásticos que se dan en el comportamiento del mercado, en los procesos de mejora continua y en la competitividad, todo en conjunto sumado a los inconvenientes en la adquisición de materiales de producción hasta el manejo y gestión de estos, los cuales generan un impacto económico negativo en la organización.

Una de las alternativas para enfrentar estas limitaciones inseparables a las organizaciones, es que en estas se desarrollen correctas planeaciones operativas, tácticas y estratégicas, soportadas por la aplicación e implementación de metodologías y procesos apropiados al entorno de estas. Bajo las observaciones detalladas, la logística y específicamente la cadena de suministro permite lograr eficiencias tanto para la organización como para el cliente, lo cual da lugar a la sostenibilidad y rentabilidad de la organización.

El presente proyecto intenta liderar la aplicación de una política de inventario multinivel para una empresa de producción y comercialización de insumos agrícolas, situada al sur de la ciudad de Guayaquil. Pérdida de ventas por falta de producto, exceso e insuficiencia de inventarios, escasa gestión de productos caducados, utilización ineficiente de recursos y atención a vehículos con tiempos prolongados de espera son unas cuantas problemáticas que persiguen al negocio.

Lo que se pretende lograr es que la empresa mejore la gestión de abastecimiento e inventario mediante la implementación y ejecución de análisis de la demanda a fin de poder diseñar una política de inventario tanto para planta y puntos de venta retail lo cual apunta a disminuir costos totales de almacenamiento.

El proyecto está compuesto de 5 capítulos, los cuales están estructurados del siguiente modo: en el primer capítulo se describe la situación actual de la organización que será objeto de análisis durante el desarrollo del proyecto; se soporta la necesidad de implantar técnicas científicas que apoyen a la gestión

logística a fin de optimizar los niveles de inventarios, adicional, se presenta la hipótesis y objetivos que se pretenden alcanzar una vez evaluados los diseños propuestos.

En seguida, en el segundo capítulo, recopilaremos y analizaremos la información teórica en base a las dificultades que presenta la organización con el sistema actual, en función del soporte científico y técnicas tales como: Metodología ABC, Pronóstico de la demanda, Punto de reorden, planeación de producción, etc., que se implementarán en el desarrollo del proyecto, del mismo modo, el modelo matemático que se aplicará para el diseño de la política de inventario multinivel.

En el tercer capítulo, se detalla el proceso de búsqueda de solución óptima para el problema planteado, del mismo modo, se observará una serie de características y factores que intervendrán en el proyecto. En el cuarto capítulo, se evaluarán los resultados generados del tercer capítulo, a fin de que estos se demuestren y certifiquen los avances logrados mediante la política de inventarios multinivel planteada.

Finalmente, en el quinto capítulo, se detalla las conclusiones del presente proyecto tomando en cuenta el desempeño de los objetivos planteados y los resultados obtenidos, a su vez, se incluye sugerencias y recomendaciones que servirán de guía para futuras investigaciones y desarrollos.

1.1 Antecedentes

La empresa donde se va a realizar el proyecto fue fundada en el año 1964. Sus instalaciones están ubicadas en la ciudad de Guayaquil, en la vía puerto Marítimo. Es una empresa comprometida con el desarrollo agroindustrial del país, importa y comercializa insumos agropecuarios, brinda asesoría técnica de óptima calidad con personal altamente calificado.

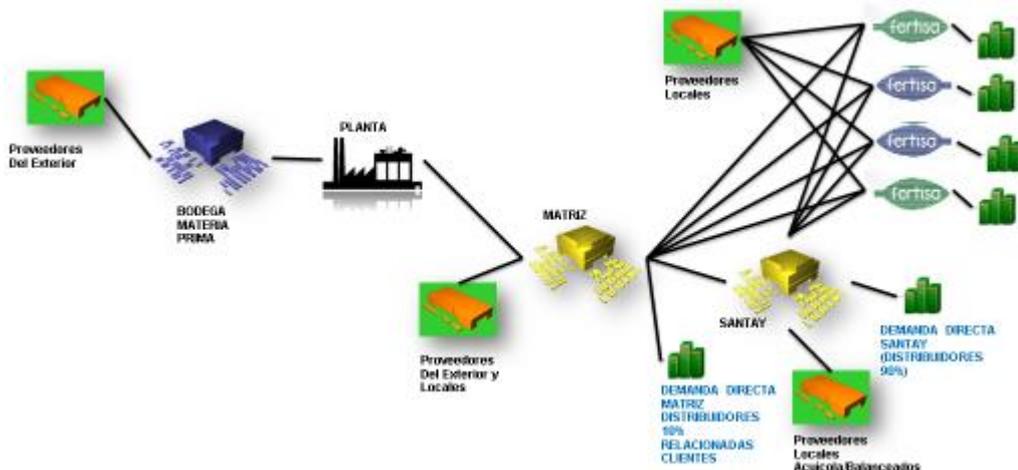
Lidera la importación y comercialización de fertilizantes, formulando técnicamente abonos completos según las necesidades de los diferentes cultivos y suelos. En los últimos años ha diversificado sus líneas de negocios: agroquímicos, pecuarios, acuícolas, y agro insumos en general.

Por efectos de la introducción de nuevos productos y para estar más cerca del consumidor final, la organización creó una red de distribución propia denominada Puntos Agropecuarios de venta (PAV), ubicados estratégicamente en las zonas agropecuarias más importantes del país.

La jornada diaria de operación de la organización arranca desde las 08H00 con los despachos para abastecimiento de manera programada, tanto para los PAV de zona costa como para zona sierra mediante amortiguadores, metodología por la cual se abastecen cada uno de los puntos en base a disponibilidad de producto en Planta.

Adicional a la carga operativa de despachos por abastecimiento a los PAV, existen clientes que optan por retirar producto directamente desde planta (matriz) por diversos factores tales como falta de disponibilidad de producto en las agencias, variación de valor de venta por políticas de precios, entre otros, generando esto un aumento en el volumen de despacho por abastecimiento a agencias propias y atención a clientes. En la figura 1.1 se detalla la red de distribución actual de la organización.

Figura 1.1 Red de distribución actual



Fuente: Empresa, 2020

Como consecuencia de la falta de andenes disponibles, cruce de operaciones de recepción y despacho de producto terminado y la ejecución de gran parte de los procesos de forma manual, se generan cuellos de botella, provocando largos tiempos de espera durante los procesos de despacho, a esto se suma

el poco seguimiento a los controles de lote, productos caducados y trazabilidad de estos. Actualmente, la empresa maneja un ERP, el cual limita el control de los inventarios que se manejan tanto en Matriz como en los PAV, dado que no ofrece alternativas estadísticas para una correcta toma de decisiones.

El reflejo de la problemática está representado en los reportes de ventas perdidas, productos caducados y devoluciones. El impacto logístico reportado mes a mes indica que existe una repercusión económica en la empresa por temas de sobre stock y bajas de producto por una mala gestión de rotación del inventario.

1.2 Descripción del problema

Según el giro de negocio, los clientes finales deberían comprar sus productos en la agencia más cercana, la realidad de la empresa marca que muchos de ellos prefieren retirarlo directamente desde planta, por diversos factores tales como: falta de disponibilidad de los productos en las Agencias, variación de valor de venta por política de precios y descuentos por anillos (zonas), entre otros.

Como efecto de lo anteriormente expuesto, el volumen de despachos desde planta matriz va en considerable aumento dado que se toma en cuenta la programación de despachos por abastecimiento a agencias propias y atención a clientes, es decir, el objetivo principal de atender únicamente a los clientes desde los PAV no se lleva a cabo en su totalidad.

De acuerdo con los datos facilitados por el área de Ingeniería en ventas del departamento Comercial, el 80% de los almacenes propios presentan pérdidas de venta por falta de producto, motivo que representa entre un 7% a 29% de las ventas perdidas por mes, se considera que este valor podría variar dado que no se lleva un registro confiable de ventas perdidas en cada una de las agencias.

Otro de los factores que influyen en la disponibilidad de producto es la rotación de inventario, la cual de momento no se ejecuta eficientemente originando

productos caducados difíciles de gestionar por la poca visibilidad que se tiene sobre el proceso. Hoy en día, la empresa no dispone de una política de inventario que provea un óptimo cercano del nivel de punto de reorden y de la cantidad de pedido en los minoristas y en la bodega respectivamente. En el capítulo tres se detallará con un diagrama de causa y efecto la problemática mencionada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una política de inventario multinivel (Planta -Mayorista- Minorista) para la red de distribución de una empresa de producción y distribución de insumos Agroindustriales considerando el costo de almacenamiento, stocks mínimos y costos de adquisición, lo cual permita mejorar el nivel de servicio proporcionado.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento de la demanda en cada una de las agencias y planta (Matriz) para definir el portafolio de productos y determinar los niveles de reabastecimiento para cada una de las unidades logísticas.
- Realizar un pronóstico de la demanda a nivel de las agencias por cada uno de los SKU de categoría A que se analicen con la clasificación ABC, considerando factores tales como: datos históricos, estacionalidad, entre otros.
- Evaluar el nivel de servicio que brinda la empresa para identificar oportunidades de mejoras.
- Identificar los puntos críticos (cuellos de botella) para plantear los respectivos planes de acción en los procesos de reaprovisionamiento.
- Desarrollar una política de inventario multinivel para definir pisos operativos en cada uno de los puntos de almacenamiento.
- Evaluar diferencias obtenidas entre el modelo actual y modelo propuesto optimizado.

1.4 Hipótesis

El trabajo desarrollado en este documento busca planificar y controlar el abastecimiento en los puntos de venta mediante el análisis de la demanda para mejorar la gestión de inventarios, por ello, se detalla la siguiente hipótesis:

- La determinación de un método adecuado para el análisis de la demanda posibilita el diseño de una política de inventario apropiada para la planta y agencias, lo que permite disminuir los costos totales de almacenamiento.

1.5 Alcance

La empresa productora y comercializadora de insumos agroindustriales consta de las siguientes líneas de productos: Nutrición vegetal, protección de cultivos, pecuaria, acuícola e implementos agrícolas. Dentro de estas líneas se cuenta con productos fertilizantes, agroquímicos, balanceados, medicina, entre otros.

Según la información proporcionada por el área Comercial, los fertilizantes se categorizan en simples, compuestos, especialidades, ferfos, fertiaqua, ferticultivos y forrajeros. Siendo los de categoría simples los más rentables para la organización, por tanto, se tomó la decisión de considerar únicamente la línea de fertilizantes simples para el diseño de la política de inventarios multinivel, dado que es la que representa mayor movimiento de productos a nivel nacional.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de este proyecto se tuvo en cuenta que, en la actualidad, existen varias alternativas para estimar la cantidad a demandar a los proveedores y mantener en stock los materiales necesarios a fin de satisfacer las necesidades de la demanda. En cada uno de los métodos a detallar se manejan diferentes variables y componentes que diferencian el uno del otro.

Los pronósticos, según (Chase, Aquilano, & Jacobs, 2005) son de vital importancia para toda organización y para toda decisión o gestión administrativa. Estos tienden a no ser perfectos dado que en los giros de negocio existen diversos factores los cuales no se pueden prever con absoluta certeza, sin embargo, es de suma importancia revisarlos y evaluarlos constantemente. Las áreas logísticas demandan el uso de pronósticos a fin de poder tomar decisiones oportunas de manera periódica respecto a la planeación de la producción, la capacidad para producir, el nivel de inventario, etc.

2.1 Estado del arte

En la actualidad, expertos logísticos coinciden en que los inventarios representan el mayor de los activos circulantes de una organización, dado que ahí es donde se concentra la mayor cantidad de dinero invertido. La presencia de los inventarios es fundamental para el desarrollo de una cadena de suministros en varias formas, por lo que es necesario ejercer un control científico que nos ayude a mantener niveles necesarios de existencias a fin de maximizar ganancias y optimizar costos.

El artículo “Políticas de inventario máximos y mínimos en Cadenas de Suministros multinivel” (Chamorro, Díaz, Fuentes, & Lovo, 2018) presenta una revisión a la literatura del problema de una bodega y N puntos de venta, siendo este tipo de cadena de suministros bastante común en empresas de distribución de consumo masivo, donde existen múltiples proveedores que abastecen a un centro de distribución, y este a su vez, distribuye a distintos puntos de venta. Durante el estudio, la política de inventarios es evaluada

mediante los indicadores de nivel de servicio y rotación de inventario, la cual concluye que la política de pedidos máximos y mínimos garantiza un alto nivel de servicio mínimo del 98%.

Según el artículo “Metodología de Gestión de Inventarios para determinar los niveles de integración y colaboración en una Cadena de Suministros” buscan disminuir eficiencias en el manejo de los inventarios debido a la ausencia de buenas prácticas para gestionar los inventarios de manera colaborativa entre los diferentes niveles de la cadena de suministros.

Esta metodología involucra 5 pasos tales como definición de políticas de inventarios, planificación colaborativa, integración de procesos claves y críticos, medición del desempeño, definiendo instrumentos de medición que contemplan tres aspectos tales como la integración interna, externa y sinergia entre eslabones de la cadena de suministros, pretendiendo amplificar beneficios de la integración, suspensión de cuellos de botella, mejora de la imagen de la organización, aumento de la tasa de cumplimientos de pedidos, aumento de la productividad y disminución de costos por excesos de inventarios (Salas Navarro, Miguél Mejía, & Acevedo Chedid, 2017).

Según la tesis “Diseño de una política de inventarios Multinivel para un Centro de Distribución de productos congelados”, buscan diseñar una política que provea un óptimo cercano del nivel del punto de reorden y de las cantidades de pedido en los puntos minoristas y bodega, con el objetivo de minimizar el costo total logístico.

El modelo utilizado para diseñar la política, integra y analiza tres componentes fundamentales en toda la cadena de suministro, tales como el inventario en los minoristas, la demanda en proceso e inventario en bodega. Dentro de las conclusiones obtenidas, se menciona la solución a los problemas de inventario mediante la clasificación ABC, análisis de demanda y diseño del modelo matemático (Mendoza Muñoz & Rincón Pin, 2012).

De acuerdo con la tesis titulada “Propuesta de un sistema logístico de planificación de Inventarios para aprovisionamiento de una empresa comercial agrícola” por (Pantoja Riveros, 2017), se busca evitar la disminución de sus

utilidades como consecuencia de ventas perdidas por falta de inventario, inadecuada planificación y control de los inventarios, deficiencias en el sistema de distribución de la mercadería y en la planificación de compras.

Dentro de las recomendaciones, se recalca la aplicación de la clasificación ABC no solo para ordenar un almacén, si no como primer paso para una mejor gestión logística, también se hace énfasis en el costo del aprovisionamiento, el cual puede optimizarse si el proceso y los involucrados actúan eficientemente con diversas estrategias logísticas tales como negociación con proveedores por descuentos por lotes de compra, asociaciones estratégicas entre otros.

Al final se obtienen resultados como disminución de tiempo de compras de 8:23 horas a 2:42 horas, por lo consiguiente también se presentan mejoras en la planificación de compras y aprovisionamiento. También se muestra una disminución del 50% al 100% de despachos no conformes (Pantoja Riveros, 2017).

Las empresas se enfrentan al reto de acoplar su abastecimiento en función de la demanda de los clientes. El método que utilice la compañía para resolver este desafío tendrá un gran impacto sobre su rendimiento, ya que, su sistema de inventario podría manejar diversos puntos de almacenamiento en lugar de uno, y así, la demanda del centro de distribución central o de la fábrica dependerá de la demanda de sus beneficiarios.

Este tipo de sistemas se denomina inventario multinivel, cuyo objetivo es reducir los costos mediante la organización de los pedidos a través de la cadena de suministro. La optimización de este inventario consiste en evaluar los niveles adecuados de stock en toda la red, con base en la variabilidad de la demanda en varios nodos para evitar cualquier tipo de riesgo.

La optimización del inventario multinivel tiene como finalidad determinar continuamente los valores del stock de seguridad en todos los niveles de la red, para interpretar la proximidad de última concepción y optimizar el inventario en toda la cadena de abastecimiento. Por ello, en los últimos años

diversos estudios se han orientado al análisis de la política de inventario multinivel para su implementación dentro de las compañías.

Debido a esto, (González & Nieves, 2018) en su proyecto titulado “Solución del problema de optimización de inventario de dos escalones con demanda estocástica para una red de distribución de un solo producto”, propone la programación de un modelo matemático MILP usando el software GAMS, para configurar los leadtimes e identificar soluciones viables y óptimas que tengan efectos relevantes en el costo total y la cantidad de pedidos realizados.

Para la programación del modelo matemático los autores consideran una demanda estocástica con base en inventarios de múltiples escalones, ya que se trabajará con un depósito centralizado y diversos minoristas para que la empresa tenga la posibilidad de mejorar su actividad productiva. Con el trabajo realizado, se distinguió la necesidad de adaptar el modelo para el caso de multiproductos y así poder emplearlo en futuros proyectos.

A su vez, la revista chilena *Ingeniare* analiza en su artículo titulado “Evaluación de políticas de gestión de inventarios de medicamentos para un sistema multinivel y multiproducto en el Hospital Universitario de La Samaritana (HUS)” creado por los autores (Otálora, Murillo, Camacho, Duarte, & Ahumada, 2017); la efectividad del inventario multi escalón dentro de la cadena de suministros con varios proveedores, una bodega central y cuatro minoristas.

El objetivo de este trabajo fue definir las cantidades correctas de los pedidos que se realicen desde el almacén central hacia los proveedores y, desde las farmacias hacia el almacén central. Con la finalidad de minimizar el costo total de la adquisición de inventario y la cantidad de días que se permanece con unidades faltantes.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de un modelo lógico de simulación indicaron que este produce un ahorro del 50% con respecto a los costos totales de inversión y del 95 % en relación con el número de días que las farmacias mantienen productos.

2.2 Concepto de inventarios

El inventario para toda organización representa un sistema de vital importancia y de gran complejidad, por tanto, antes de analizarlo se debe comprender su real naturaleza. En este capítulo se precisará en el papel que juega el inventario dentro de la organización, definiciones, costos incurridos y medidas de efectividad para el manejo de este.

2.2.1 El Rol del inventario en la organización

Hasta el día de hoy se describe al inventario de muchas formas, entre ellas sobresale la establecida por (Bulfin & Sipper, 1998), en la cual se detalla como una porción de haberes que se encuentran bajo posesión de la empresa durante un período de tiempo para satisfacer la demanda.

Esta definición indica que el inventario representa un amortiguador entre dos procesos fundamentales de la organización: la demanda y el aprovisionamiento. El proceso de aprovisionamiento aporta con bienes al inventario, a su vez la demanda consume el mismo. La necesidad del inventario se da por los requerimientos que nacen desde los demandantes y los tiempos en los que se incurre durante el aprovisionamiento.

2.2.2 Clasificación del inventario

En esta sección se distinguen los tipos de ambiente de demanda y varias clases de inventarios.

Ambientes de demanda: Según (Trujillo Coloma, 2006), estos ambientes de demanda se clasifican en:

- **Determinístico o estocástico:** Determinístico significa que se conoce con certeza la demanda futura de un producto en el inventario, cuando la demanda es aleatoria se le denomina estocástico. Es importante destacar que cada uno de los casos mencionados requiere un trato y análisis diferente.
- **Dependiente o independiente:** La demanda dependiente es muy común, sobre todo a nivel de manufactura (la demanda de una unidad va de la mano con la demanda de otra). Un claro ejemplo de este tipo

de demanda es el expuesto por (Iglesias López, 2014) en la fabricación de automóviles, la Dirección puede determinar fabricar 120 unidades; por lo que se precisarán 120 carburadores, 120 volantes, 600 ruedas, etc. La demanda de carburadores, volantes y ruedas es una demanda dependiente de la decisión tomada por la propia empresa para fabricar 120 automóviles. Por otro lado, se entiende por demanda independiente aquella que se origina por las decisiones de los clientes, debido a que la cantidad de stock, la planeación y reabastecimiento se centran en estos, ejemplo: Demanda de 100 automóviles para el siguiente mes, (Calua Saravia & Marrufo Bustamante, 2019).

Tipos de inventario: En los sistemas de producción, los tipos de inventario se clasifican en función del valor añadido durante el proceso de manufactura.

Entre las clasificaciones tenemos:

- Materia prima (MP).
- Productos en proceso (PP).
- Producto terminado (PT).

Puntos de almacenamiento: Para (Fresa, 2014) un sistema de inventario puede estar conformado por diversos puntos de almacenamiento en lugar de solo uno. Por ello, considera que, según la cantidad de puntos de almacenamiento, el inventario puede considerarse de un solo nivel o de varios niveles conocido también como multinivel. A continuación, se detalla la definición de cada uno:

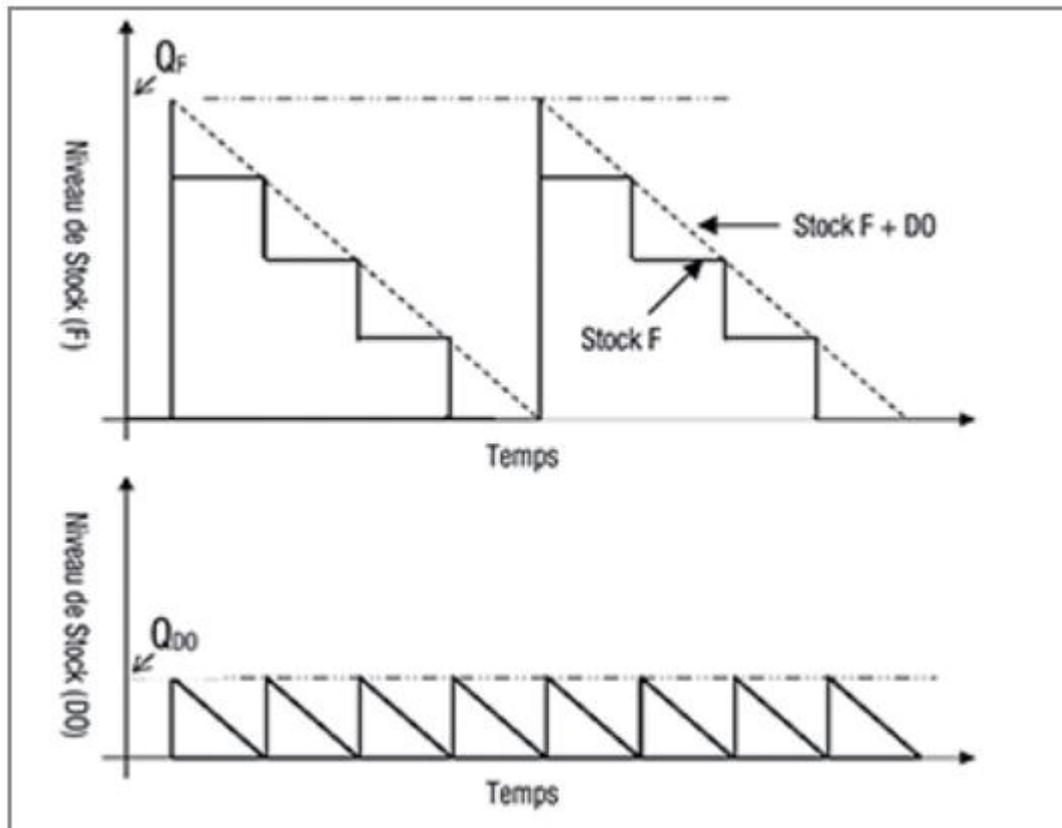
- Inventario de un solo nivel: La gestión de inventarios para una sola instalación considera únicamente el inventario de dicho lugar, con el fin de optimizar los parámetros de la política de inventario. Este planteamiento secuencial de un solo nivel pronostica la demanda y decide el nivel de stock indispensable, para cada nivel por separado. No obstante, al tener en cuenta la esencia de las relaciones manifestadas entre los diferentes actores de la cadena de suministro, se puede concluir que estos modelos de inventario tienden a ser limitados y se alejan de la realidad (Sepúlveda, 2016).

- Inventario multinivel: También conocido como inventario multisitios o multiescalón, es la cantidad de inventario que existe en diferentes niveles y según (Sepúlveda, 2016) corresponde a:
 - El almacenamiento de un ítem en varios lugares con la finalidad de distribuirlo según el flujo.
 - El almacenamiento de un ítem según las diversas fases de elaboración por las que debe pasar.

(Clark & Scarf, 1960) fueron quienes incorporaron el concepto de inventarios multiescalon en las primeras investigaciones sobre modelos multinivel o en etapas. Estos docentes universitarios analizaron un sistema en serie conformado por N etapas que trabajan bajo una política de revisión periódica de inventarios, en donde cada nivel, sea este mayorista o distribuidor pertenece a un eslabón de la cadena.

El inventario multi escalón en cada uno de estos eslabones corresponde al stock que se conserva en esa etapa sumado al inventario que se encuentre por debajo de la cadena, considerando también el inventario en tránsito. La estrategia de reposición asociada a este modelo de inventario indica que la cantidad a ordenar (Q) por un eslabón (i) de la cadena es equivalente a un múltiplo entero (n, mayor a cero) de la cantidad ordenada por el cliente. En conclusión, $Q_i = n^*(Q_{i-1})$, la figura 2.1 refleja el esquema del inventario multinivel.

Figura 2.1 Modelización del inventario en escalón



Fuente: Sepúlveda, 2016

2.2.3 Costos de inventario

Para (Trujillo Coloma, 2006), el inventario se define como la cantidad de una existencia, y como tal, este atrae costos. Entre los costos que se incurren se pueden detallar: el costo de adquisición, el costo de ordenar o preparar el pedido, costo de almacenamiento, costo de agotamiento y el costo de operación.

A continuación, en base a los conceptos de (Trujillo Coloma, 2006) y (Gestión de Operaciones, 2015) se describe cada uno.

- Costo de adquisición: Es el costo asociado al pago por artículo que se emite a un proveedor para reaprovisionamiento del inventario. Si c hace referencia al costo unitario y Q a la cantidad comprada (dimensión del lote), el valor total de compra es una función lineal de Q denotado como $c \cdot Q$. En ciertos contextos el proveedor mantiene una tabla de costos que varía en función de las unidades compradas.

Este costo unitario se convierte en una función de Q y, por tanto, el costo de adquisición se vuelve una función más compleja. Para elaborar una unidad, c (costo unitario) comprende el costo fijo y variable de los materiales y su producción, así, el costo total de fabricación para un lote de producción equivale a $c \cdot Q$.

- Costo de ordenar o preparar el pedido: Es el costo generado cada vez que se coloca una orden de pedido al proveedor, el cual al ser independiente a la dimensión del lote se transforma en un costo fijo.
- Costo de almacenamiento: El inventario involucra el capital y ocupación de espacio, a su vez, necesita de mantenimiento, por lo que esta actividad ocasiona un costo de dinero que involucra los siguientes puntos:
 - Costo de almacenamiento y manipulación de materiales.
 - Costo de oportunidad.
 - Seguros e impuestos.
 - Caducados, obsolescencia, daños, mermas, robos, etc.
- Costos de Agotamiento: Este es determinado por las ventas no realizadas al no disponer de existencias en el momento que se receipta el pedido, este a su vez se cuantifica con el valor de las ganancias que se dejaría de percibir por no tener la capacidad de atender un pedido cuando el cliente lo ha solicitado. Este costo va más allá de una venta perdida, dado que, cada venta perdida representa un cliente insatisfecho, lo cual puede trascender en una pérdida definitiva de un comprador potencial y por consiguiente disminución de ventas futuras. De aquí la gran importancia de mantener siempre artículos disponibles para atender la demanda de los clientes.
- Costos operativos: Aquellos costos que están relacionados con la operación, control y manejo de sistemas de inventario, incluyen el costo de computadoras y softwares para el control y manejo de inventarios.

2.2.4 Medidas de efectividad

Las técnicas de inventario permiten analizar el equilibrio entre los beneficios y perjuicios de mantenerlos, el objetivo principal es maximizar los beneficios a la par que se minimiza el costo. La meta es aún más complicada cuando el inventario posee una cantidad considerable de diferentes artículos.

Según (Trujillo Coloma, 2006), en la práctica se encuentran 2 enfoques que permiten medir la efectividad, el modelado y el gerencial. A continuación, se detallará cada uno.

- Enfoque modelado: Este enfoque permite optimizar el sistema de inventarios considerando el criterio de minimización del costo, aunque, también se podría tener en cuenta la maximización.
- Enfoque gerencial: Este enfoque es más apropiado para sistemas de inventarios con múltiples artículos. El propósito es notificar el tamaño del inventario a la gerencia, valor que otorga la inversión total a la fecha en que se genera el reporte. La cantidad disponible de cada ítem se multiplica por su costo y se suma el resultado para la totalidad de artículos. La obtención de una medida relativa sobre la cantidad de inventario que se posee (demasiado o poco) o la comparación entre el cumplimiento de los parones industriales con el de la competencia se puede obtener empleando las medidas que se detallan en las ecuaciones 2.1 y 2.2.

$$\text{Meses de abastecimiento} = \frac{\text{Inversión en inventario total}}{\text{Demanda promedio pronosticada } \left(\frac{\$}{\text{mes}}\right)} \quad (2.1)$$

$$\text{Rotación del inventario anual} = \frac{12 \left[\text{demanda promedio pronosticada } \left(\frac{\$}{\text{mes}}\right) \right]}{\text{Inversión en inventario total}} \quad (2.2)$$

El primer indicador de la ecuación 2.1 muestra el período de tiempo durante el cual se podrá cumplir con la demanda en del inventario actual; el segundo indicador reflejado en la ecuación 2.2, detalla la rapidez con la que el stock rota; a mayor rotación, más baja será la inversión respecto al inventario. Estos indicadores tienden a variar un poco dependiendo los diferentes objetivos y tipos de inventarios (MP, PP, PT).

Para evaluar el desempeño a futuro, se tiende a usar el pronóstico de la demanda y para evaluar el desempeño pasado se utiliza el valor de la demanda real. Una forma rápida para determinar la rotación del inventario se refleja en la ecuación 2.3.

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Valor de las ventas}}{\text{Valor del inventario}} \quad (2.3)$$

2.2.5 Políticas de inventario

El factor principal que genera afectación al inventario es la demanda. (Trujillo Coloma, 2006) identifica la existencia de tres factores fundamentales en un sistema de inventarios, a los que denomina variables de decisión y que se identifican con las siguientes interrogantes:

- ¿Qué se debe ordenar? (variable de decisión correspondiente a variedad).
- ¿Cuándo se debe ordenar? (variable de decisión con respecto al tiempo).
- ¿Cuánto debe ordenarse? (variable de decisión concerniente a la cantidad).

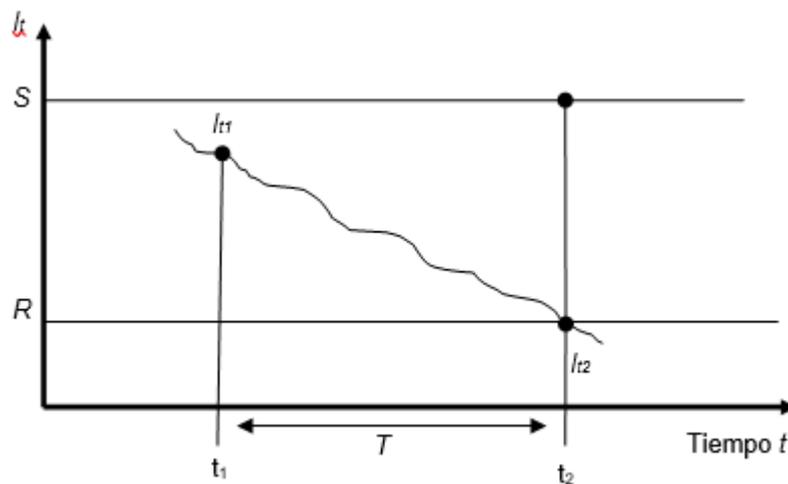
Para llevar a cabo este trabajo de tesis, el enfoque se basa en las dos últimas variables de decisión anteriormente mencionadas, dado que el giro del negocio de la empresa corresponde a elaboración y comercialización de insumos agrícolas, por lo que sería irrelevante su análisis.

Las variables de decisión de tiempo y cantidad deben ser evaluadas mediante distintas políticas de inventarios, tales como: política de revisión periódica y política de revisión continua, en seguida, se proporciona una breve descripción de cada una de estas:

- 1) Política de revisión periódica o de tiempo fijo: En esta se revisa el nivel del inventario (I) para intervalos de tiempo fijo, es decir, una semana, un mes o cualquier período de tiempo (T), el cual se denomina período de revisión, y, se coloca una orden de pedido en caso de que I sea menor que el punto de reorden R. La dimensión del pedido u orden equivale a la cantidad Q requerida para incrementar a S el nivel de inventario. Esta cantidad Q varía entre períodos. La figura 2.2 refleja

esta política bajo el supuesto de que la demanda es única y que los pedidos se suministran de manera inmediata. En el primer período de tiempo (t_1), el nivel de inventario es superior al punto de reorden R , por tanto, no se necesita crear ninguna orden. En el tiempo de revisión t_2 , luego de T períodos después de t_1 , el producto del inventario I por t_2 es menos que el punto de reorden R , por tanto, se debe ordenar la cantidad de Q equivalente a la diferencia entre el aumento del inventario S y el producto antes mencionado de I por t_2 unidades.

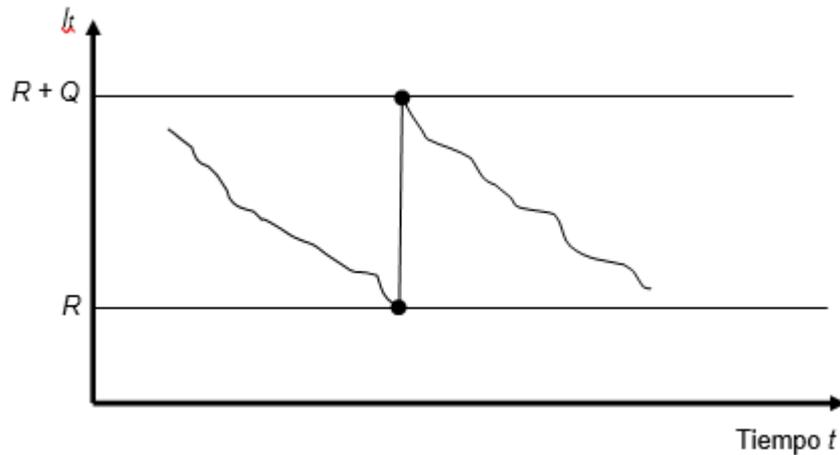
Figura 2.2 Política de revisión periódica



Fuente: Trujillo, 2006

- 2) Política de revisión continua o cantidad fija de reorden: En esta política, el control sobre el nivel del inventario es continuo. Cuando el nivel del inventario llega al punto R (punto de reorden), se coloca una orden de cantidad fija Q . La figura 2.3, presenta esta política bajo el supuesto de que se requiere solo una unidad que debe ser entregada de manera inmediata.

Figura 2.3 Política de revisión continua



Fuente: Trujillo, 2006

2.2.6 Política de inventario multinivel

La política de control de inventario multinivel define de manera simultánea todos los parámetros, considerando la interrelación que existe entre el centro de abastecimiento y los almacenes. El rendimiento del sistema, es decir, su capacidad de reaprovisionamiento se logra optimizar mediante la aplicación de esta política.

Con la optimización del inventario se podrá definir los niveles de servicio específicos para cada canal, de manera que, las órdenes de pedido que ingresan por el sistema, por el centro de llamadas y por cada punto de venta; puedan ser atendidas desde los lugares y en los tiempos que se determine (Francisco, 2016).

Aunque algunas políticas de inventario con estaciones individuales sean evidentemente dominantes, no significa que en el caso de los modelos de inventario multinivel ocurra lo mismo. Según (González & Nieves, 2018), una política de pedidos por lotes tiene la ventaja de poder emplear información en tiempo real, pero, una política de inventario base, facilita mejores mecanismos para la coordinación de órdenes y la acumulación de información del inventario.

2.3 Decisiones de proporción

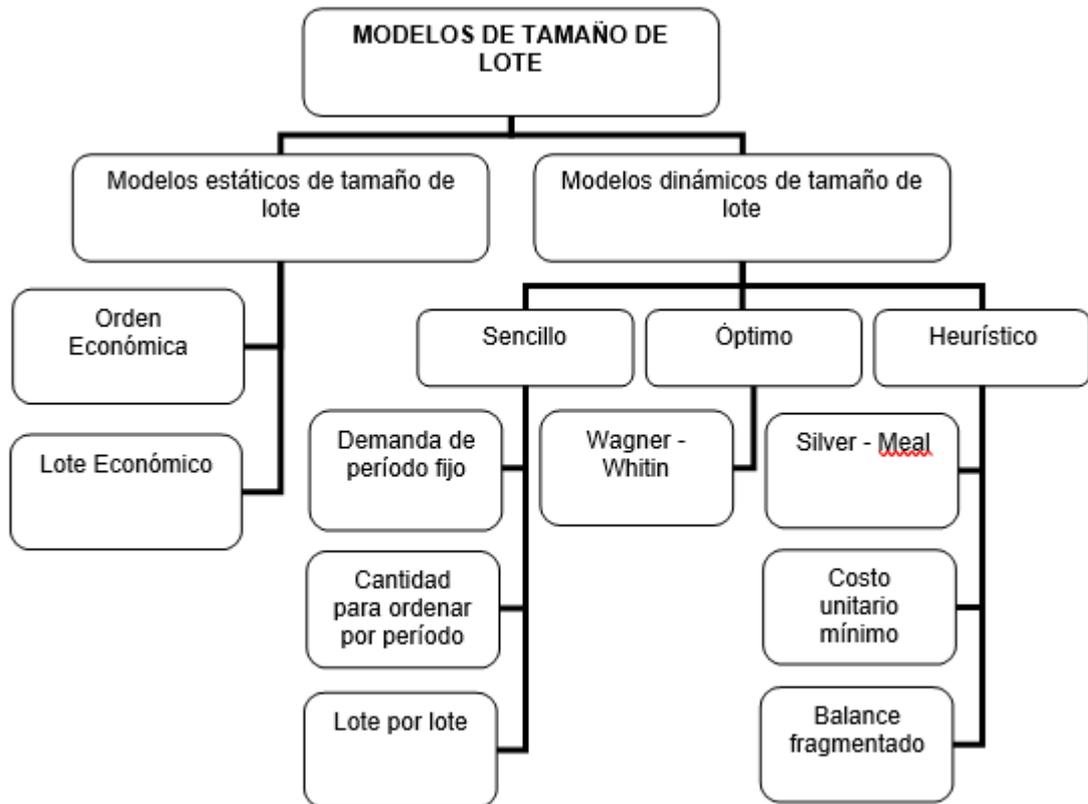
En este apartado se medita sobre una de las decisiones más importantes respecto a los sistemas de inventario de una organización, siendo esta la determinación de cuánto se debe ordenar. Esta decisión tiene un impacto destacado en cuanto a la cantidad de inventario que se mantiene y, por ende, influye directamente en los costos de este.

A continuación, se presentarán los modelos más comunes que han sido desarrollados según (Trujillo Coloma, 2006) y se analizan en conjunto para brindar una visión clara de lo ejecutado. El elemento común de estos modelos es que trabajan con una demanda conocida y con un solo ítem. Habitualmente, los modelos para la toma de decisiones de cantidad son denominados modelos de tamaño de lote y se dividen en dos grupos:

- 1) Modelos para demanda estática: Estos modelos son empleados bajo el supuesto de una demanda uniforme y constante durante un horizonte de planeación (Rodríguez Montenegro, 2011).
- 2) Modelos para demanda dinámica: Este tipo de modelos son empleados bajo el supuesto de que la demanda es conocida con certidumbre pero que esta puede variar durante el horizonte de planeación, lo que se entiende como una demanda irregular.

En la figura 2.4, se presenta de manera resumida la distribución de los modelos de tamaño de lote, luego, se describe cada uno de ellos y el alcance correspondiente.

Figura 2.4 Clasificación de los modelos de tamaño de lote



Fuente: Trujillo, 2006

2.3.1 Modelos estáticos de tamaño de lote

Para (Rodríguez Montenegro, 2011) en esta categoría se presentan 2 modelos, a continuación, se detallan:

1) Cantidad económica para ordenar (EOQ): A nivel de modelos de inventarios, este es esencial, conocido también como el modelo de Harris – Wilson (Betancourt, 2017). En la actualidad, es uno de los modelos más utilizados en la industria ya que sirve como base para modelos más complejos. La toma de decisiones dentro de este modelo se realiza bajo el siguiente escenario:

- En el sistema de inventario se dispone de un solo ítem.
- La demanda, identificada como D , debe ser uniforme y determinística, con el monto de D unidades por período de tiempo (este puede ser día, semana, mes o año).
- Los faltantes no deben existir.

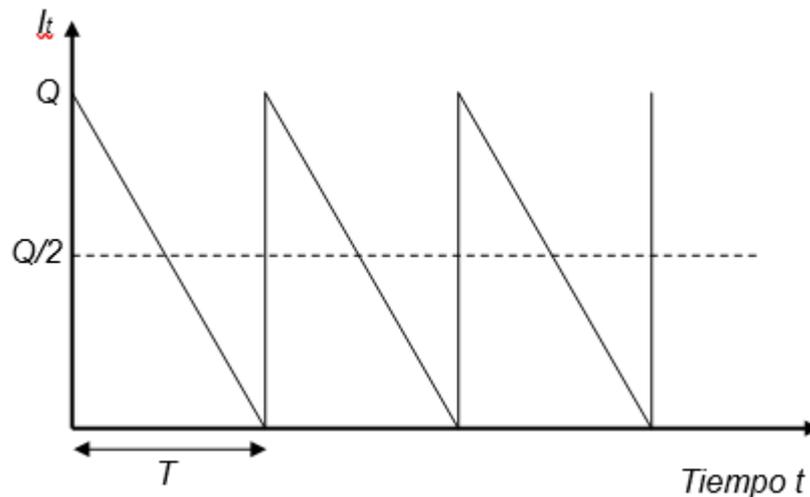
- El tiempo de entrega, considerando desde que se coloca la orden de pedido hasta que se recibe, no ha sido calculado.
- La tasa de reabastecimiento es infinita, es decir, todo lo que ha sido ordenado llega al mismo tiempo.

El modelo es ideal para la adquisición de materia prima en el área de producción o para el escenario de ventas al detalle. La decisión que prevalece en este modelo es sobre la cantidad de unidades a ordenar (Q), la cual debe ser un número entero positivo, para ello, es importante conocer con certeza los parámetros de costo. A continuación, se detallan los establecidos por (Trujillo Coloma, 2006):

- c = costo unitario (\$/unidad)
- i = costo total anual de mantener el inventario en la organización (% por año)
- $h = i*c$ = costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año)
- A = costo de ordenar (\$/orden)
- D = demanda por unidad de tiempo
- T = longitud de ciclo, el tiempo que transcurre entre la colocación de órdenes sucesivas de abastecimiento.
- $K(Q)$ = costo total anual promedio como una función del tamaño de lote Q .
- I^*t = inventario disponible en el tiempo t (cantidad real de material que hay en almacén)

El principio de este modelo consiste en balancear los costos de ordenar y de almacenar. El costo de ordenar se parametriza como un costo fijo; mientras más se ordene, el costo unitario será menor. A su vez, el costo de almacenamiento es variable y depende de la variación del inventario. El balance antes mencionado se logra minimizando $K(Q)$, considerado el costo total anual promedio.

Figura 2.5 Bosquejo del inventario EOQ



Fuente: Trujillo, 2006

La figura 2.5 muestra que la cantidad de inventario para el período igual a cero es Q , este se agota a un nivel de D unidades por año. Si el inventario queda en cero, se ordenan Q unidades. Bajo el supuesto de que el tiempo de entrega es cero y que la tasa de reabastecimiento es infinita, el nivel de inventario incrementa a Q de manera rápida y se repite el proceso. Según la geometría del inventario que se observa en el gráfico y con los cálculos que se realizan, se obtiene la expresión detallada en la ecuación 2.4:

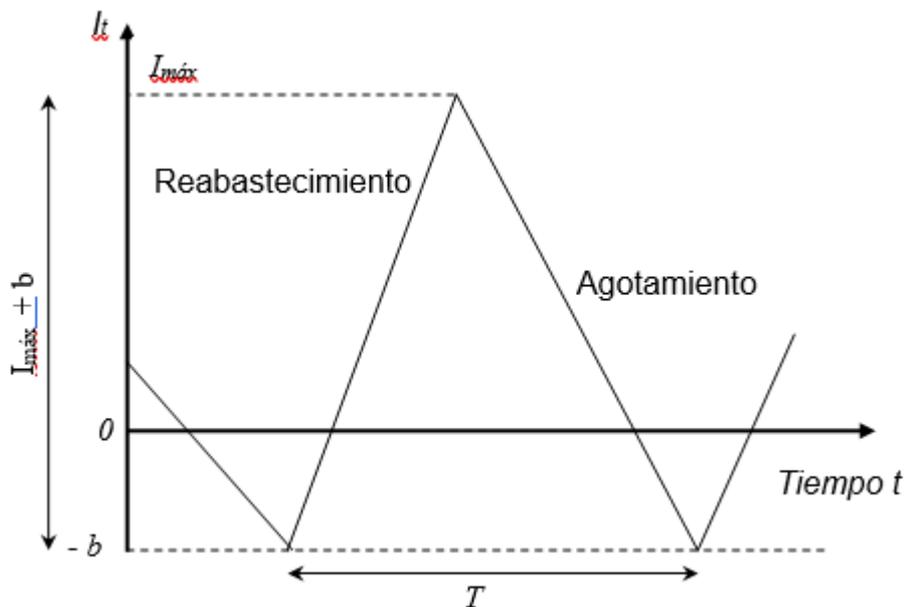
$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (2.4)$$

Siendo Q^* conocido como EOQ, la cantidad óptima a ordenar o como el lote económico.

2) Lote económico para producir (EPQ): Esta es una prolongación del modelo EOQ que debilita el supuesto de trabajar con una tasa de reabastecimiento infinita. Bajo este esquema, los faltantes están prohibidos, por tanto, el costo asociado es infinito. La figura 2.6 detalla el comportamiento geométrico de este modelo, siendo:

- Ψ = tasa de producción, medida en las mismas unidades que la demanda.
- Q = tamaño del lote de la producción.
- A = costo de preparar el producto.
- c = costo unitario de producir el artículo.
- B^*t = nivel de faltante (orden atrasada) en el tiempo t .
- \bar{B} = nivel promedio de faltantes.
- b = máximo (B^*t).

Figura 2.6 Bosquejo del inventario EPQ



Fuente: Trujillo, 2006

De este gráfico, se obtiene la fórmula para calcular el costo total anual promedio dado por la ecuación 2.5:

$$K(Q, b) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{h[Q(1-\frac{D}{\Psi})-b]^2}{2Q(1-\frac{D}{\Psi})} + \frac{\pi bD}{Q} + \frac{\pi b^2}{2Q(1-\frac{D}{\Psi})} \quad (2.5)$$

Al no planificar faltantes para este caso, se tiene que $b = 0$. La ecuación 2.6 refleja la función de costo que se convierte en:

$$K(Q) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{hQ}{2} \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right) \quad (2.6)$$

Si se deriva e iguala a cero, se obtiene la ecuación 2.7:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h(1-\frac{D}{\psi})}} \quad (2.7)$$

Siendo Q^* el lote económico de producción o EPQ.

2.3.2 Modelos dinámicos de tamaño de lote

Estos modelos nacen cuando se dispone de una demanda irregular, aquella que no es uniforme durante el horizonte de planeación (Marulanda, Ampudia, Navia, & Rodriguez, 2014). El análisis de los modelos dinámicos se ejecuta con 3 técnicas o reglas, las cuales se detallan a continuación:

- 1) Reglas simples o sencillas: Estas reglas no se enfocan en la reducción de costos, sino en los sistemas MRP. Dentro de esta técnica existen 3 reglas simples que: la demanda de período fijo, la cantidad a ordenar por período y lote por lote, a continuación, se precisa una breve reseña de cada uno de estos:
 - Demanda de período fijo (DPF): Esta perspectiva consiste en ordenar m meses de demanda futura. Para el caso donde se ordene la demanda de n meses, se debe sumar la demanda estimada para ese período, siendo esta la cantidad que finalmente se ordene. El enfoque de esta demanda está orientado a la cantidad de un solo ítem.
 - Cantidad por ordenar durante el período: Este enfoque es una modificación de la perspectiva anterior, en esta se utiliza una estructura para la selección del período fijo. La cantidad del lote promedio que se requiere debe ser dividido entre la demanda promedio.
 - Lote por lote (LxL): Este caso deriva de la regla de período fijo, donde la cantidad que se debe ordenar es siempre equivalente a la demanda de un período. Generalmente esta regla se aplica para ítems sumamente costosos y que poseen una demanda muy variable.
- 2) Regla del óptimo: También conocido como el algoritmo Wagner – Whitin. Este es un planteamiento para optimizar la demanda inestable

con el propósito de disminuir el costo variable del inventario durante el horizonte de planeación (Calua Saravia & Marrufo Bustamante, 2019). La optimización se basa en una programación dinámica que analiza todas las soluciones factibles para ordenar una cantidad óptima Q_i de costo mínimo y que cubra la demanda en cada uno de los períodos del horizonte de planeación.

- 3) Reglas heurísticas: Estas reglas facilitan la obtención de una solución de bajo costo que no necesariamente podría ser la óptima, pero sí la más cercana (Trujillo Coloma, 2006). El método heurístico se utiliza cuando computacionalmente no es factible llegar a una solución óptima.

2.4 Decisiones de tiempo

Dentro de un sistema de inventarios, la segunda decisión más importante corresponde a cuándo ordenar. El efecto de esta decisión recae en el tamaño y costo del inventario, así como también en el nivel de servicio al cliente. Según (Trujillo Coloma, 2006), las decisiones de tiempo presentan tres categorías importantes que permiten entender el comportamiento de los sistemas de inventario, estas son:

- Decisiones de una sola vez.
- Decisiones para sistemas de revisión periódica, que pueden ser de tiempo continuo o intermitente.

2.5 Decisiones de control

Las decisiones de control tienen una principal participación en la administración de sistemas de inventarios para artículos múltiples, desde 30 hasta 30.000 ítems. Independientemente de la cantidad de artículos, lo que se pretende lograr es minimizar el costo mientras se maximiza el nivel de servicio.

El control del inventario bajo un enfoque administrativo con condiciones reales es de especial interés dentro de los modelos de inventario. La evaluación de este enfoque se realiza mediante la técnica del análisis de Pareto, una

herramienta sumamente útil para el manejo de sistemas de inventario con múltiples artículos.

2.5.1 Análisis de Pareto

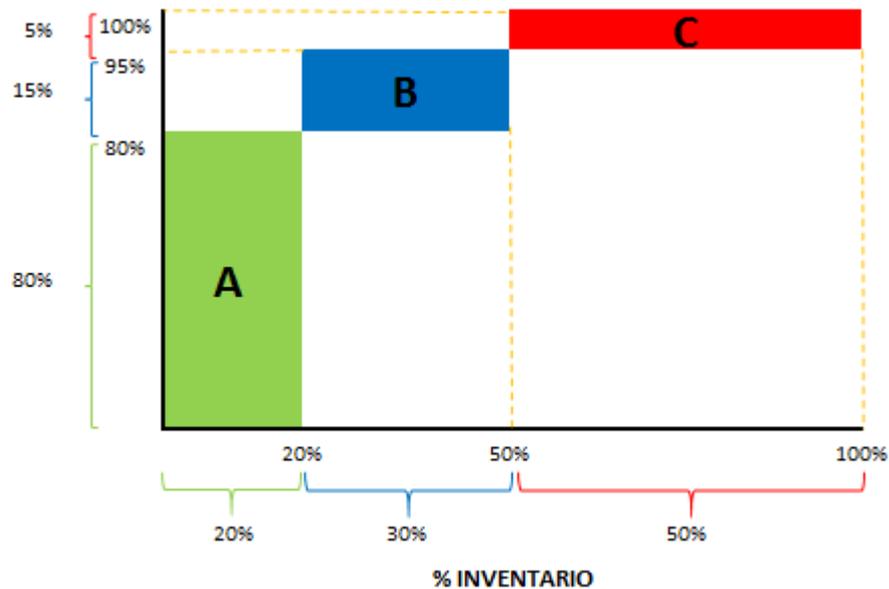
El Análisis de Pareto, es una técnica gráfica que sirve para definir las causas más importantes de una determinada situación y, por consiguiente, las propiedades de intervención. Éste separa lo importante de lo no importante, es una técnica muy útil para asignar el esfuerzo administrativo mediante el enfoque de los recursos en los pocos críticos y no en los muchos triviales (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - Dpto. Organización Empresas y Marketing, 2005).

La clasificación ABC es utilizada para el control de inventarios, se trata de clasificar los materiales en tipo A, B o C según un criterio y un porcentaje establecido. Se puede clasificar los materiales por valor de inventario, por valor de venta, por valor de consumo, por cantidad consumida o el criterio que se considere, lo que se busca es que los materiales tipo A sean los más importantes según el criterio que se desee, los tipos B de importancia intermedia y los tipos C los menos importantes.

Es usual que los sistemas de inventario dispongan de ciertos artículos que representen una gran cantidad de dinero (Mendoza Muñoz & Rincón Pin, 2012). Esto permite que se realice un intercambio entre la inversión y el control para conservar un costo bajo de inventario y un alto nivel de servicio al cliente.

Por ejemplo, si se realiza un ABC por valor de consumo, entonces es posible que el 10% de los artículos representen el 80% del valor de consumo total, un 20 % de los materiales puede representar el 15% del valor de consumo, y un 70% de los artículos puede representar solamente un 5% del valor de consumo (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - Dpto. Organización Empresas y Marketing, 2005). La clasificación ABC se utiliza para definir parámetros de control de inventario o de tratamiento de los materiales, ya que se debe prestar más atención a los materiales tipo A que al tipo C.

Figura 2.7 Diagrama de Pareto



Fuente: Autor, 2020

Debido a que los artículos agrupados en la categoría A son costosos y constituyen una proporción significativa del ingreso anual, se debe hacer seguimiento continuo y mantener bajos inventarios. Para los productos B y C puede utilizarse grandes lotes, debido a que no impactarán significativamente en el capital a fin de reducir al mínimo las frecuencias con que se hacen los pedidos en tanto se ejerce un grado mínimo de control. La figura 2.7 muestra gráficamente la definición del diagrama de Pareto o clasificación ABC.

2.5.2 Sistemas de control de inventario

En este apartado se evaluará una metodología para el control de inventarios en un sistema real que posee los siguientes atributos:

- Artículos múltiples.
- Demanda estocástica.
- Tiempo de entrega estocástico.

Este sistema puede ser utilizado para inventarios con demanda independiente o dependiente, así como también para inventarios de MP o de PT. Los principales objetivos de un sistema de control de inventarios son:

- Disminuir el costo, lo que representa minimizar la inversión en inventario.
- Maximizar el nivel de servicio al cliente o la satisfacción de este, representado en la mejora del nivel de servicio.

Para (Trujillo Coloma, 2006) un sistema de control de inventarios debe considerar tres decisiones claves:

- 1) De variedad: ¿qué se debe ordenar?
- 2) De cantidad: ¿cuánto se debe ordenar?
- 3) De tiempo: ¿cuándo se debe ordenar?

El principio fundamental del sistema de control de inventario: El concepto de la clasificación ABC tiene como principio fundamental el cambio entre la inversión y el control. La estrategia consiste en coordinar el método ABC con el índice de abastecimiento como se observa en la figura 2.8, donde, la distribución ABC se antepone a la curva del nivel de servicio. (Trujillo Coloma, 2006) utiliza los siguientes argumentos:

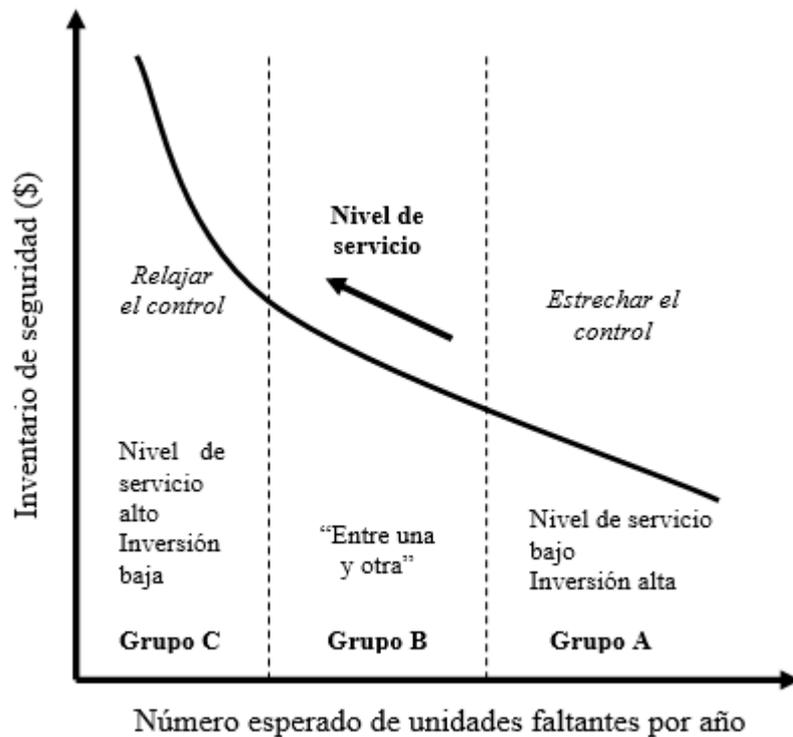
- Ítems de bajo valor (categoría C):
 - Un elevado nivel de servicio no es costoso.
 - Mantener un inventario de seguridad.
 - Los artículos se controlan de manera global, por tanto, los controles no son exigentes.

Un ítem de categoría "C" puede tener un bajo valor respecto al uso anual monetario, pero su costo por faltantes puede ser alto.

- Ítems de alto valor (categoría A):
 - Un elevado nivel de servicio es costoso.
 - Disminuir el inventario de seguridad.
 - Los artículos se inspeccionan de forma individual, se debe ajustar los controles.

Algunos de los ítems del grupo B recaen en medio de las categorías antes descritas y su control es muy semejante al del grupo C.

Figura 2.8 Principio fundamental del sistema de control de inventario



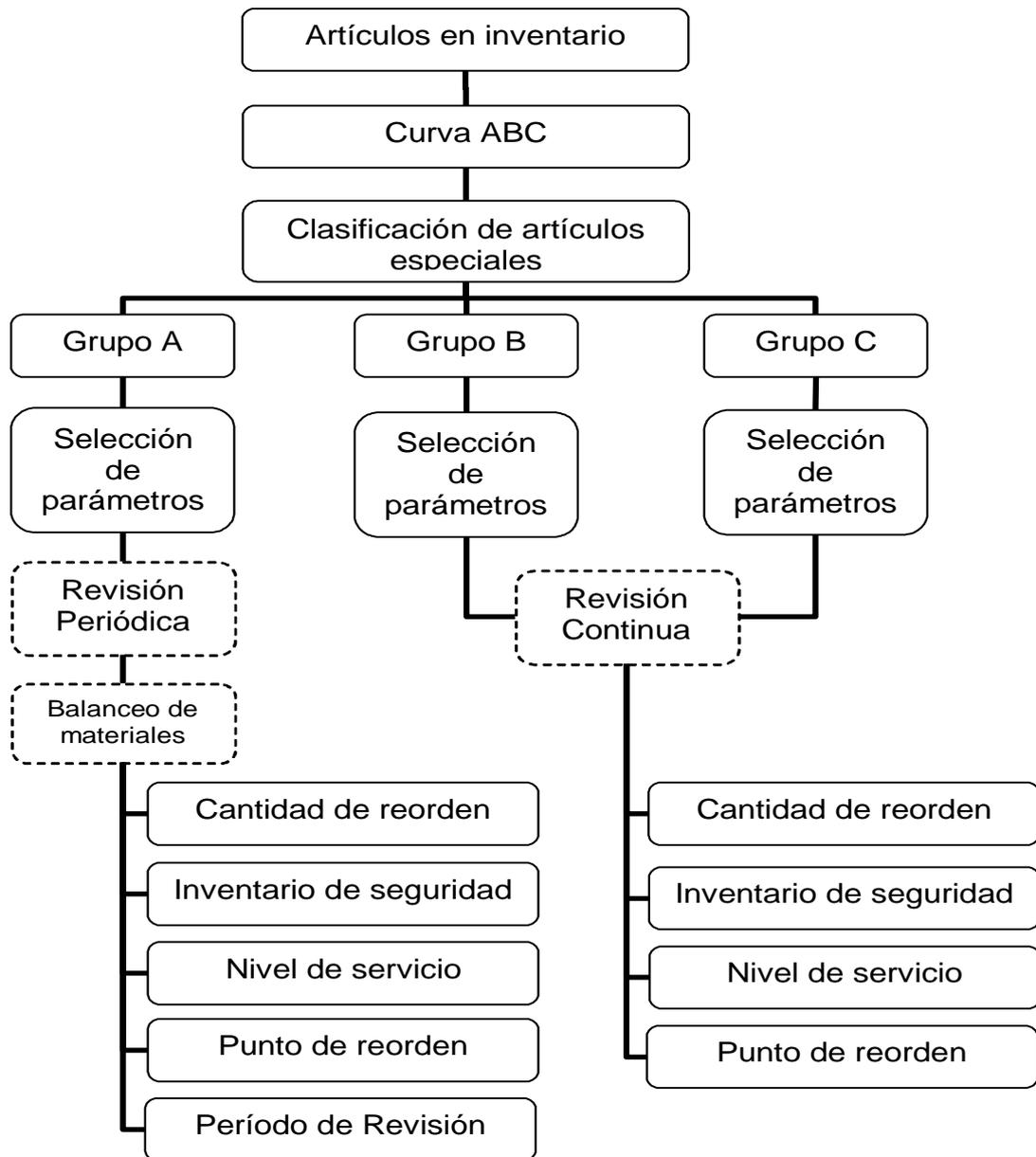
Fuente: Trujillo, 2006

Planteamiento del sistema de control: Luego de constituir la clasificación ABC, se debe identificar los artículos de categoría B y C, considerados como ítems especiales y que necesitan atención primordial. Como ejemplos de estos, se considera:

- Ítems faltantes que repercuten en serios problemas de producción.
- Ítems con problemas de calidad a su llegada.
- Ítems con vida corta dentro del almacén.

En la figura 2.9 se detallan los principales elementos dentro del sistema de control de inventarios.

Figura 2.9 Principio fundamental del sistema de control de inventario



Fuente: Trujillo, 2006

Estructura de control: La estructura de control se describirá por separado para cada categoría de artículos, es decir, ítems de categoría A, B, y C, a continuación, se detalla cada una de ellas en base a lo expuesto por (Trujillo Coloma, 2006).

1) Políticas de control para artículos del Grupo A: Para artículos del Grupo A se establece la política de control de revisión periódica, considerando los parámetros:

- Período de revisión: una o dos semanas.
- Cantidad para ordenar: Lote por lote.
- Stock de seguridad: de un nivel inferior al de los artículos de los grupos B y C.

El nivel de servicio para los ítems del grupo A debe ser bajo-moderado, por tanto, el inventario de seguridad también será bajo, de esta manera se logra mantener un mejor control para evitar quiebres de stock. La planificación de un inventario futuro para cada artículo viene dada por la ecuación de balance de materiales (Ver ecuación 2.8).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Período de} \\ \text{inicio del} \\ \text{inventario} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Período de} \\ \text{recepciones} \\ \text{programadas} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Período de} \\ \text{demanda} \\ \text{pronosticada} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Período de} \\ \text{terminación} \\ \text{del inventario} \end{array} \right\} \quad (2.8)$$

Para el proceso de supervisión, se tiende a usar la misma ecuación, sin embargo, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Se consideran los ingresos reales en lugar de los planificados.
- Se utiliza la demanda real y no la estimada.

En ambos casos, se utiliza la tabla de balance de materiales para cada artículo como herramienta para la revisión, actualización y verificación tanto de faltantes, excedentes y del punto de reorden de cada artículo.

2) Políticas de control para artículos de los Grupos B y C: Estos dos grupos poseen casi la misma estructura de control, solo difieren los valores establecidos para los distintos parámetros.

El control de estos ítems se realiza con el enfoque de control en grupo, no de manera individual. La verificación del estado de un artículo se realiza de manera continua con notificación al administrador cuando

existe una excepción. De esta manera, se puede administrar un sistema de inventarios con múltiples ítems.

La estructura de control para estos grupos establece los parámetros de: punto de reorden (R), cantidad a ordenar (Q) y stock de seguridad (s). En la ecuación 2.9 se define la ecuación del punto de reorden:

$$R = D\tau + s \quad (2.9)$$

La variable aleatoria “ τ ”, se cataloga como el tiempo de entrega, con la característica de ser totalmente imposible definir y mantener tiempos de entrega individuales para un sinnúmero de ítems. Por consiguiente, se define un tiempo de entrega por grupo, ya sea de artículos con características similares, de un mismo proveedor, etc.

La decisión de tiempo se evalúa con base en la posición del inventario X_t ; si $X_t < R$ se genera una nueva orden. La cantidad Q para ordenar se estima con dos enfoques totalmente distintos para los artículos del grupo B y C. Los ítems de categoría B se ordenan en función de alguna medida económica, como la cantidad económica del pedido EOQ, el mínimo costo unitario, entre otras.

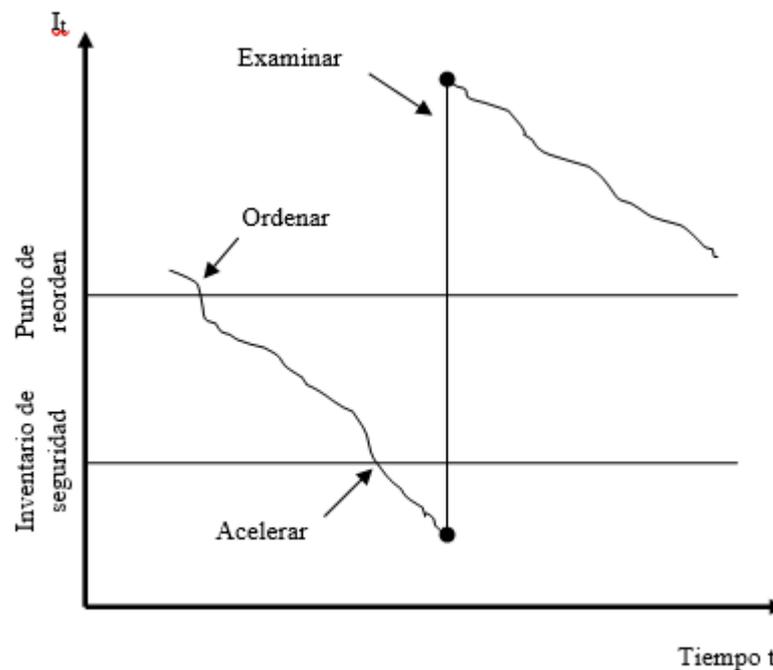
Para los ítems del grupo C, los requerimientos del período establecido tienden a ordenarse en lotes grandes, generalmente para 6 o 12 meses. El stock de seguridad (s), establece un nivel de servicio mayor que el del grupo A (artículos del grupo C demandan de un nivel de servicio aún más alto que los del grupo B). Esto habitualmente proporciona la cobertura de 1.2 a 1.5 meses de demandas pronosticadas para artículos pertenecientes al grupo B.

Por otro lado, los ítems que corresponden al grupo C contarán con inventario para 3 meses de demanda pronosticada. La supervisión del nivel de stock de seguridad se realiza bajo la siguiente evaluación, si: $I_t \leq s$, entonces, se activa inmediatamente la requisición. El control del proceso de los artículos del grupo B y C utiliza los parámetros de: punto de reorden (R), tiempo de entrega (τ) y stock de seguridad (s).

Cuando todos los parámetros se encuentran dentro de los establecidos, todo fluye con normalidad, sin embargo, si al momento de ejecutar un intercambio de inventario, se incumple con alguno de los parámetros detallados anteriormente, tales como: nivel de stock por debajo del punto de reorden (R) o por debajo del inventario de seguridad (s), se debe considerar dicho ítem como una excepción.

El gestor o representante del inventario, podrá obtener en detalle un informe con cada uno de los artículos catalogados como excepciones a fin de poder tomar las decisiones correspondientes. Hoy en día, con la tecnología existente y las capacidades de los sistemas informáticos, este tipo de información debe estar disponible en cualquier momento (Bijvank, Woonghee, & Ganesh, 2017). La gestión administrativa que debe ejecutarse se resume en la figura 2.10.

Figura 2.10 Gestión administrativa



Fuente: Trujillo, 2006

2.5.3 Sistemas de control de inventario multinivel

Un sistema de inventario multinivel plantea solucionar los problemas originados en una red de distribución cuando esta tiene varios niveles o etapas en la cadena de suministro entre el proveedor y el cliente final. Este

modelo automatiza la planificación, pronósticos, reaprovisionamiento, nivel de servicio y la asignación del inventario y los excedentes (Francisco, 2016).

Cuando el inventario se localiza por toda la cadena de suministro, estos son totalmente independientes, es decir, el inventario del minorista está soportado por el almacén que le brinda servicio, y este, se encuentra respaldado por el inventario de planta. El cálculo de un inventario multinivel se efectúa mediante el uso de un sistema de control de existencias base.

Para (Ballou, 2004) las bases de un sistema multinivel posibilitan la planeación del nivel de almacenamiento en la posición del inventario, más el stock de los niveles inferiores. La forma en que se planea el nivel de inventario para un escalón no está definida por la información de la demanda del nivel anterior, sino por la demanda del cliente final, ya que de esta manera hay menos variabilidad de la demanda.

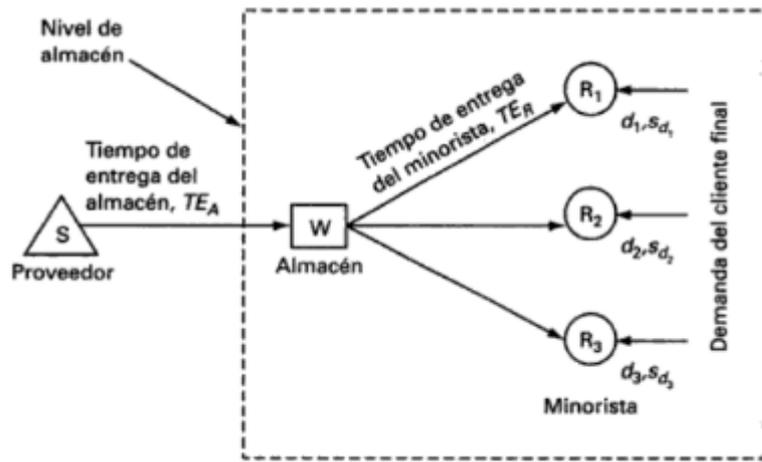
La planeación de inventarios con base en los pedidos del nivel anterior genera más stock de seguridad, a diferencia de los que se planean en función de la demanda del cliente final. Por tanto, el minorista debería atender a los clientes finales según su disponibilidad de inventario, mientras que, el almacén reabastece el stock del minorista. El sistema para el control de los niveles de inventario del minorista se puede realizar haciendo uso de un método apropiado, como, por ejemplo, el control del punto de reorden.

La demanda de un minorista se origina de los clientes finales, por ende, la posición de su inventario corresponde a la cantidad disponible más la cantidad que ha sido pedida desde el almacén. Por otro lado, la posición del inventario para el almacén equivale a la suma del stock en los minoristas, más el inventario disponible en el almacén y que se encuentra en tránsito por algún pedido hacia y desde este (Ballou, 2004).

El punto y las cantidades de reorden son definidas por la posición del nivel de inventario, así, el nivel promedio de abastecimiento para el almacén se obtiene con la resta de los niveles de inventario promedio de los minoristas y el nivel del inventario, considerando que el inventario en tránsito o pedido

es insignificante. La figura 2.11 detalla un ejemplo del canal de suministros multinivel.

Figura 2.11 Canal de suministros multinivel



Fuente: Ballou, 2004

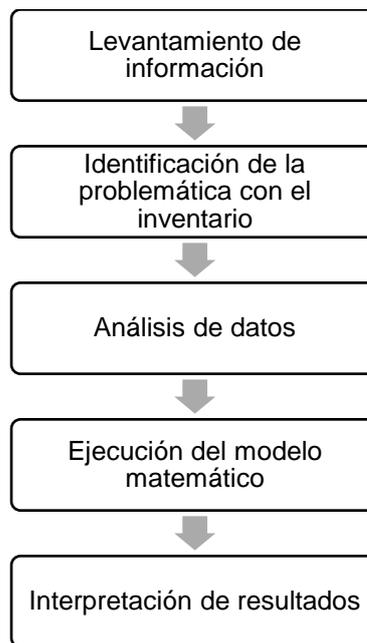
CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción de la metodología

En la figura 3.1 se detalla paso a paso la metodología empleada para llevar a cabo el proyecto.

Figura 3.1 Metodología empleada



Fuente: Autor, 2020

Como primer paso, se recopilará información respecto al portafolio de productos, nivel de servicio e históricos de demanda, lo cual será útil para realizar un análisis de inventario y demanda para el mayorista y minorista.

Según la detallado en el paso número dos, una vez ejecutado el análisis se podrá identificar los problemas con el inventario tanto para el mayorista como para el minorista. En el paso número tres, se ajustará los datos a una distribución de probabilidad continua y se utilizará la Clasificación ABC para analizar los datos obtenidos y escoger los productos que serán utilizados en la programación del modelo matemático como se detalla en el siguiente paso.

Finalmente, los resultados obtenidos en el modelo matemático serán analizados para compararlos con la situación actual de la empresa.

3.2 Levantamiento de información

El levantamiento de información se llevó a cabo mediante técnicas como la observación, análisis de datos, entrevista e investigación. A continuación, se detalla la información recopilada para poder llevar a cabo el presente proyecto.

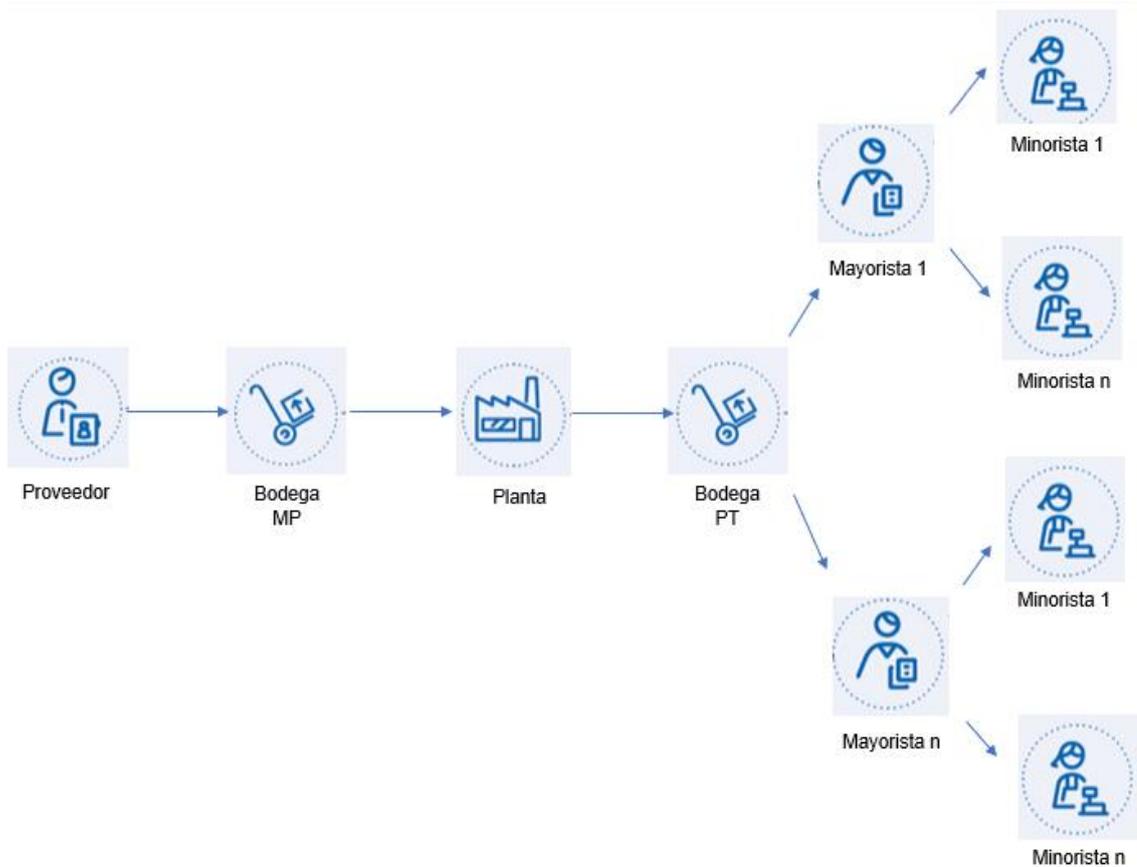
3.2.1 Descripción del proceso en Bodegas

Bajo el escenario planteado, para objeto de estudio se consideran los procesos que se manejan en las bodegas tanto de PT en la Planta como único proveedor y de los mayoristas o agencias a nivel nacional quienes son el último filtro para llegar al cliente final o minorista.

La compañía maneja varias divisiones dentro de la línea de agroindustria, sin embargo, para el análisis a realizar únicamente se considerarán los productos simples correspondientes a la división de fertilizantes. El proceso comienza en planta con la importación de producto en unidades de carga de 1,000 kilogramos por parte del departamento de compras del área de Supply Chain.

Una vez que arriba al puerto es almacenada en la Bodega de materia prima para luego ser fraccionada por producción en sacos de 50, 45, 25 y 2 kg y trasladarlos a la Bodega de producto terminado para ser almacenados y posteriormente distribuidos a los mayoristas, quienes realizan la entrega al minorista o consumidor final. La bodega de PT (producto terminado) tiene una capacidad de almacenamiento de 4,000 toneladas lo que equivale aproximadamente a 80,000 sacos de 50 kg ubicados en 3,200 pallets. En la figura 3.2 se muestra el flujo detallado.

Figura 3.2 Proceso en planta



Fuente: Autor, 2020

El proceso en la Bodega de PT inicia con la recepción de los productos terminados y con la orden de pedido que coloca el mayorista al área de Planificación y Logística, el cual según el procedimiento de despacho debe llegar máximo en 48 horas al punto de venta, esto bajo el supuesto de contar con inventario disponible de todos los ítems.

Una vez distribuido el pedido al mayorista, este hace la entrega al cliente final o minorista. La empresa cuenta con 53 mayoristas a nivel nacional ubicados en las regiones Costa y Sierra. Como alcance de este proyecto se considerarán únicamente tres mayoristas por ser los más estratégicos según la información proporcionada por el área Comercial. Estos mayoristas son:

- Daule
- Km. 5.5
- Milagro

La tabla 3.1 muestra la capacidad de almacenamiento de cada mayorista, presentada en cantidad de sacos, kilogramos y toneladas.

Tabla 3.1 Capacidad de almacenamiento de los mayoristas

MAYORISTA	CAP. (SACOS)	CAP. (KG)	CAP. (T)
DAULE	10,000	500,000	500
KM 5.5	11,000	550,000	550
MILAGRO	12,000	600,000	600

Fuente: Autor, 2020

En conclusión, la Planta como único proveedor se encarga de abastecer a los mayoristas con producto terminado, adicional, es el mayorista quien coloca la orden de pedido en planta en función del nivel de stock que mantiene y de los requerimientos de los minoristas o clientes finales. Por ende, las bodegas de PT en planta y las bodegas de los mayoristas realizan las siguientes actividades dentro del proceso de abastecimiento:

- **Recepción:** En esta etapa del proceso la Bodega de PT en planta recibe de manera paletizada el producto terminado, el cual es descargado y almacenado por los operadores de montacargas luego de la revisión física. De la misma manera, en las bodegas del mayorista se recibe, descarga, revisa y almacena el producto por los operarios de montacargas o estibadores.
- **Revisión:** En la bodega de PT en planta, el Supervisor de Inventarios junto con los asistentes y auxiliares de bodega se encargan de revisar y controlar el estado y calidad de los productos recibidos. Por otra parte, en las bodegas de los mayoristas, son los encargados de los almacenes y los estibadores quienes realizan la revisión y control de calidad. En ambos escenarios, si se identifica cualquier anomalía el producto debe ser entregado al área de calidad para los respectivos análisis.
- **Almacenamiento:** Una vez aprobada la revisión, los asistentes de bodega y encargados de los almacenes ingresan los ítems al sistema y los operarios de montacargas o estibadores se encargan de almacenar los productos en sus respectivas ubicaciones, es importante mencionar que el tipo de almacenaje es en bloque.

- Preparación de pedidos: En la Bodega de PT en planta, el asistente de bodega recibe la orden de pedido por parte del área de planificación y logística, este hace entrega de la orden a los auxiliares y operarios para que comiencen con el picking y consoliden el pedido para cargar los vehículos que serán despachados. En las bodegas de los mayoristas, es el encargado del almacén quien recibe el pedido del cliente final y da la orden al estibador u operario de montacarga para que lo consolide y cargue al vehículo del cliente.
- Distribución: En planta, esta parte del flujo viene direccionada por el área de transporte, quien especifica el tipo de vehículo a cargar, la ruta asignada, el lugar y hora de destino. Las entregas se realizan de lunes a sábado en horario flexible. En el caso de los mayoristas, por lo general el mismo cliente retira su producto o el encargado del almacén lo envía con el representante de ventas, a menos que se trate de una cantidad considerable, bajo este escenario el pedido es atendido directamente desde la Bodega de PT en planta.

3.2.2 Detalle de productos en Planta y Mayoristas

El portafolio de fertilizantes que se maneja en planta y se mantiene en inventario dentro de la bodega de PT consta de 122 ítems, los cuales se clasifican en siete categorías: simples, compuestos, especialidades, ferticultivos, fertiaqua, ferfos y forrajeros. En la tabla 3.2 se detallan los ítems mencionados con su respectivo código, nombre del producto, categoría y presentación.

Tabla 3.2 Portafolio de productos en Planta

N°	CÓD.ÍTEM	PRODUCTO	CATEGORÍA	PRESENTACIÓN
1	1130445	FRT UREA SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
2	1130446	FRT SULFATO AMONIO SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
3	1130448	FRT D.A.P. SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
4	1130449	FRT 10-30-10 SC (50KG)	COMPUESTOS	50 KG
5	1130450	FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
6	1130451	FRT 8-20-20 SC (50KG)	COMPUESTOS	50 KG
7	1130452	FRT 12-36-12 SC (50KG)	COMPUESTOS	50 KG
8	1130453	FRT SULF.MGNES.KIESER.SC (50KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
9	1130454	FRT 8-24-8 SC (50KG)	COMPUESTOS	50 KG

10	1130455	FRT 15-15-15 SC (50KG)	COMPUESTOS	50 KG
11	1130456	FRT NITRATO AMONIO SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
12	1130458	FRT 22-00-32 SC (50KG)	COMPUESTOS	50 KG
13	1130459	FRT FERTISAMAG GN SC (50KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
14	1130464	FRT MURIAT POT ST ROJ SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
15	1130466	FRT 15-30-15-1-1 SC (50KG)	COMPUESTOS	50 KG
16	1130468	FRT KMAG GR SC (50KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
17	1130470	FRT FERTICAÑA DESARROLLO (50KG)	FERTICULTIVOS	50 KG
18	1130472	FRT FERTIARROZ SIEMBR SC (50KG)	FERTICULTIVOS	50 KG
19	1130473	FRT FERTIARROZ DESARROLLO (50KG)	FERTICULTIVOS	50 KG
20	1130474	FRT FERTIMAIZ SIEMBRA SC (50KG)	FERTICULTIVOS	50 KG
21	1130475	FRT FERTIMAIZ DESARROLLO (50KG)	FERTICULTIVOS	50 KG
22	1130476	FRT FERTIFORRAJ ESTAB SC (50KG)	FORRAJEROS	50 KG
23	1130478	FRT FERNICAL SC (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
24	1130479	FRT FERNITROK ENV (2KG)	ESPECIALIDADES	2 KG
25	1130480	FRT MURIATO POT. SOL.BLANCO 50KG	SIMPLES	50 KG
26	1130481	FRT SULFATO POTASI ST SC (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
27	1130482	FRT FERTICACAO PRODUC SC (50KG)	FERTICULTIVOS	50 KG
28	1130485	FRT FERTIFORRAJE BORO SC (50KG)	FORRAJEROS	50 KG
29	1130486	FRT FERTIFORRA PRODUC SC (50KG)	FORRAJEROS	50 KG
30	1130487	FRT FERTIPAPA SIEMBRA SC (50KG)	FERTICULTIVOS	50 KG
31	1130488	FRT FERTIPAPA APORQUE SC (50KG)	FERTICULTIVOS	50 KG
32	1130493	FRT FERNITROK GRANULADO (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
33	1130499	FRT 8-20-20-6-7 SC (50KG)	COMPUESTOS	50 KG
34	1130500	FRT 15-15-15-6-7 SC (50KG)	COMPUESTOS	50 KG
35	1130504	FRT FERNITROK SOLUBLE SC (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
36	1130506	FRT SULFATO POATASIO TECNI (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
37	1130509	FRT UREA ENV. (2KG)	SIMPLES	2 KG
38	1130513	FRT FERTIFORRAJ PROD ENV (2KG)	FORRAJEROS	2 KG
39	1130514	FRT FERNICAL ENV (2KG)	ESPECIALIDADES	2 KG
40	1130517	FRT SULFATO POTASIO GR (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
41	1130531	FRT FERTIAQUA UREA SC (50KG)	FERTIAQUA	50 KG
42	1130532	FRT FERTIAQUA NIT AMN SC (50KG)	FERTIAQUA	50 KG
43	1130533	FRT FERTIAQUA DAP SC (50KG)	FERTIAQUA	50 KG
44	1130544	FRT FERTIJARDIN ORNA-CESP(2KG)	FERTICULTIVOS	2 KG
45	1130545	FRT FERTIJARDIN (2KG)	FERTICULTIVOS	2 KG
46	1130603	FRT FERTIPAPA SIEMBRA PLUS 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
47	1130604	FRT FERTIPAPA APORQUE PLUS 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
48	1130633	FRT UREA GRANULADA SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
49	1130661	FRT SULFATO POTASIO TN. N/C (25 KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
50	1130710	FRT KORN KALI + B GR MQ 50KG	ESPECIALIDADES	50 KG
51	1130715	FRT FERTIAQUA MOP GR SC (50KG)	FERTIAQUA	50 KG
52	1130794	FRT NPK SC (50KG)	COMPUESTOS	50 KG
53	1130802	FRT FERTIPALMA PLUS SC (50KG)	FERTICULTIVOS	50 KG

54	1130803	FRT FERTIBANANO PLUS 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
55	1130840	FRT FERNICAL EUROPEO SC (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
56	1130878	FRT SULF.MAG.HEP.HI. CHINO (25 KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
57	1130879	FRT.SULF.MAG.HEP.HID SOLUBLE (50 KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
58	1130884	FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
59	1130926	FRT FERTIBORO SOLUBLE SC (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
60	1130927	FRT FERTIBORO GRANULADOSC (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
61	1130929	FRT FERTIPAPA APORQUE SC (2KG)	FERTICULTIVOS	2 KG
62	1130930	FRT FERTIPAPA SIEMBRA SC (2 KG)	FERTICULTIVOS	2 KG
63	1130940	FRT FERTICACAO PROD. PLUS 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
64	1130962	FRT KMAG PREMIUM GR (50 KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
65	1131014	FRT MAP SOLUBLE SC 25KG	ESPECIALIDADES	25 KG
66	1131128	FRT SULF. MAGNESIO GN SC (50KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
67	1131180	FRT FERNICAL PREMIUN SC (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
68	1131281	FRT SUL.MAG.GR KIESERITE (50KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
69	1131289	FRT SULF ZINC HEP HIDR (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
70	1131635	FRT SULF MAG HEPT (25KG)	ESPECIALIDADES	25 KG
71	1131652	FERTICAÑA DESARROLLO NK (50 KG)	FERTICULTIVOS	50 KG
72	1131716	FRT MAGNESOIL SC (50KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
73	1131744	FRT 13-3-27-5-6-1B 50KG	COMPUESTOS	50 KG
74	1131757	FRT ABOGRAN15-5-20-2-10+EM 50KG	ESPECIALIDADES	50 KG
75	1131760	FRT ABOGRAN12-12-17-2-9+EM 50KG	ESPECIALIDADES	50 KG
76	1131916	FRT ABOGRAN15-5-20-2-10+EM 2KG	ESPECIALIDADES	2 KG
77	1131917	FRT ABOGRAN12-12-17-2-9+EM 2KG	ESPECIALIDADES	2 KG
78	1131921	FRT 30-3-14-2-3-0.07 50KG	COMPUESTOS	50 KG
79	1131965	FRT 44-0-0-2S 50KG	COMPUESTOS	50 KG
80	1132059	FRT 17-2-24-5-7-0.1Zn-0.1B 50KG	COMPUESTOS	50 KG
81	1132063	FRT MICRO ESSENTIAL SZ SC 45KG	ESPECIALIDADES	45 KG
82	1132073	FRT 14-11-16-7-7 NF 50KG	COMPUESTOS	50 KG
83	1132086	FRT 16-6-24-2-3 50KG	COMPUESTOS	50 KG
84	1132087	FRT 21-11-15-4-6-0.3Zn 50KG	COMPUESTOS	50 KG
85	1132167	FRT 16-12-28-2S 50KG	COMPUESTOS	50 KG
86	1132201	FOSFOBALANCE 16-28-0+12Si 50KG	FERTIAQUA	50 KG
87	1132262	FRT 13-4-24-4-4-0.1Zn 50KG	COMPUESTOS	50 KG
88	1132263	FRT 13-6-20-5-5-0.14 50KG	COMPUESTOS	50 KG
89	1132266	SILICATO 25 KG	FERTIAQUA	25 KG
90	1132288	FRT FORTALEZA 40+6 (50KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
91	1132289	FRT FORTALEZA 37+9 (50KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
92	1132291	FRT FORTALEZA UREA (50KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
93	1132292	FRT FORTALEZA 43+3 (50KG)	ESPECIALIDADES	50 KG
94	1132321	FERTISON ARROZ 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
95	1132322	FERTISON MAIZ 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
96	1132323	FERTISON CACAO 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
97	1132324	FERTISON PAPA SIEMBRA (50 KG)	FERTICULTIVOS	50 KG

98	1132325	FERTISON PALMA 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
99	1132333	FERTISON PAPA APORQUE (50 KG)	FERTICULTIVOS	50 KG
100	1132336	FERTISON PASTOS COSTA 50KG	FORRAJEROS	50 KG
101	1132337	FRT 10-30-10+Mg+S+ME (50KG)	COMPUESTOS	50 KG
102	1132386	FERTISON BANANO 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
103	1132387	FERTISON PASTO SIERRA 50KG	FORRAJEROS	50 KG
104	1132389	FRT 14-3-22-4-6-0.1Zn-0.1B 50KG	COMPUESTOS	50 KG
105	1132390	FERTIAMIDAS 37+9 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
106	1132391	FERTIAMIDAS 40+6 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
107	1132403	FERTIAMIDAS 43+3 50KG	FERTICULTIVOS	50 KG
108	1132411	FRT 8-20-20+Mg+S+ME NF 50KG	COMPUESTOS	50 KG
109	1132412	FRT 10-30-10+Mg+S+ME NF 50KG	COMPUESTOS	50 KG
110	1132415	FRT 16-2-23-2-6-0.05-0.1(50KG)	COMPUESTOS	50 KG
111	1132441	FRT 15-7-5-8-9-1Zn-1B 50KG	COMPUESTOS	50 KG
112	1132442	FRT 14-0-10-8MgO-18S 50KG	COMPUESTOS	50 KG
113	1132443	FRT 13-8-10-7.5-8-1Zn-1B 50KG	COMPUESTOS	50 KG
114	1132444	FRT 23-0-0-5MgO-10S 50KG	COMPUESTOS	50 KG
115	1132467	FRT 14.43-2.6-28.5-4.1 50KG	COMPUESTOS	50 KG
116	1132482	FRT 10-0-41 50KG	COMPUESTOS	50 KG
117	1132511	FRT 16-4-22-3-2 50KG	COMPUESTOS	50 KG
118	1132522	FRT 21.4-0-28.6+1.7MO 50KG	COMPUESTOS	50 KG
119	1132546	FRT 11-6-27-5-6 50KG	COMPUESTOS	50 KG
120	1132549	FRT 11-5-28-5-5 50KG	COMPUESTOS	50 KG
121	1140642	FERFOS-R SC (50KG)	FERFOS	50 KG
122	1140706	FERFOS-R SC (25KG)	FERFOS	25 KG

Fuente: Autor, 2020

En conjunto con el área comercial se tomó la decisión de realizar el análisis únicamente con los fertilizantes de categoría simples por ser los más estratégicos a nivel comercial, a excepción de la urea granulada que se encuentra en proceso de revisión para su eliminación del portafolio de ventas. La planta se encuentra ubicada al sur de la ciudad de Guayaquil, razón por la cual se escogió a tres de los mayoristas más representativos de la zona Guayas.

Cabe mencionar que por las condiciones climáticas y de suelo, los mayoristas elegidos únicamente comercializan 10 del total de fertilizantes simples que provee la planta. En la tabla 3.3 se especifican los ítems en mención con su respectivo código, nombre del producto, categoría y presentación.

Tabla 3.3 Portafolio de fertilizantes simples en mayoristas representativos

N°	CÓD.ÍTEM	PRODUCTO	CATEGORÍA	PRESENTACIÓN
1	1130448	FRT D.A.P. SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
2	1130464	FRT MURIAT POT ST ROJ SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
3	1130450	FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
4	1130456	FRT NITRATO AMONIO SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
5	1130884	FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
6	1130446	FRT SULFATO AMONIO SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
7	1130509	FRT UREA ENV. (2KG)	SIMPLES	2 KG
8	1130633	FRT UREA GRANULADA SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
9	1130445	FRT UREA SC (50KG)	SIMPLES	50 KG
10	1130480	FRT MURIATO POT. SOL.BLANCO SC (50KG)	SIMPLES	50 KG

Fuente: Autor, 2020

3.2.3 Nivel de cumplimiento de pedidos

El nivel de cumplimiento de pedidos se mide desde planta a través del OTIF (on time in full), indicador que permite calcular y analizar el nivel de servicio que se brinda al entregar el pedido completo y a tiempo tanto a los mayoristas como a los minoristas. El tiempo de entrega fluctúa entre 48 y 72 horas según la naturaleza del pedido que se establece en el procedimiento de despacho del área de Distribución.

La entrega del pedido completo depende del nivel de inventario que se mantenga tanto en planta como en el mayorista. En la tabla 3.4 se muestra en porcentajes los valores del nivel de cumplimiento de pedidos de los dos últimos años en función del OTIF, y, en la tabla 3.5 se muestran los rangos de evaluación para este indicador.

Tabla 3.4 Nivel de cumplimiento de pedidos

AÑO	2018	2019
MES	OTIF %	OTIF %
ENE	70,00%	69,14%
FEB	75,00%	78,06%
MAR	77,00%	86,01%
ABR	79,00%	86,17%
MAY	74,00%	85,36%
JUN	73,00%	88,52%
JUL	74,00%	83,65%
AGO	77,49%	81,36%
SEP	77,40%	84,41%
OCT	76,34%	76,00%
NOV	76,52%	75,18%
DIC	81,27%	75,57%
PROMEDIO	75,92%	80,79%

Fuente: Autor, 2020

Se observa que el promedio de cumplimiento de pedidos para el año 2018 fue de 75,92% y en el 2019 de 80,79%, lo cual refleja un incremento del 4,87% con respecto al año anterior, valor que según la tabla 3.5 se encuentra dentro del rango de evaluación mayor o igual al 75,00% pero menor o igual al 100,00%; es decir, el nivel de cumplimiento de pedidos se ubica en la escala de evaluación del 100,00%.

Tabla 3.5 Rangos de evaluación del nivel de cumplimiento de pedidos

MAYOR O IGUAL	MENOR O IGUAL	ESCALA
0,00%	25,00%	0,00%
25,00%	50,00%	40,00%
50,00%	75,00%	70,00%
75,00%	100,00%	100,00%

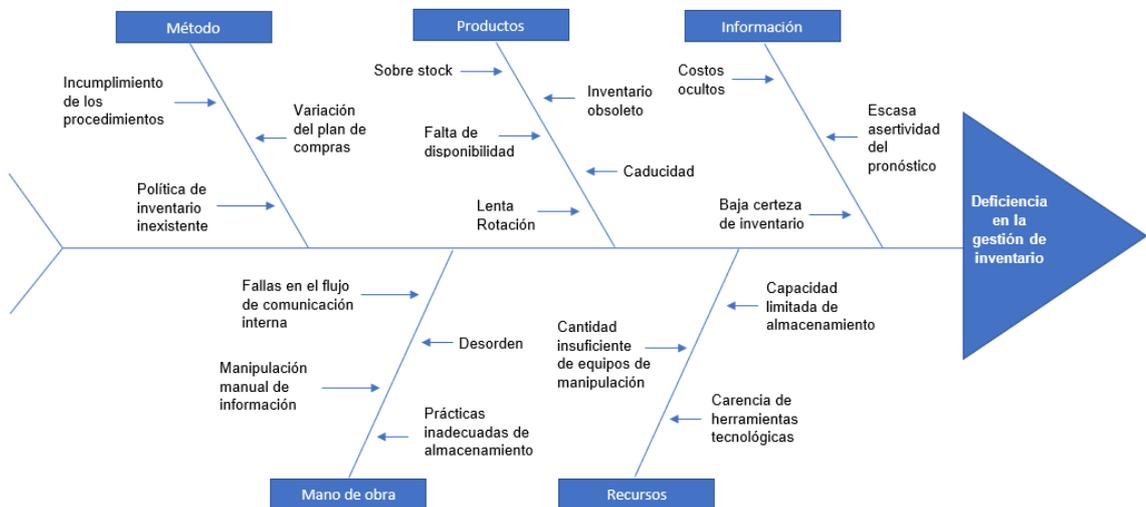
Fuente: Autor, 2020

3.3 Identificación de la problemática con el inventario

Existen diversas técnicas de investigación que se utilizan para la recolección de datos y la obtención de información. Para llevar a cabo el presente proyecto se emplearon las técnicas de observación, entrevista y diagrama de causa - efecto también conocido como diagrama de Ishikawa, el cual permite identificar las posibles causas de un problema para determinar posibles

soluciones y oportunidades de mejora. La figura 3.3 muestra el diagrama mencionado.

Figura 3.3 Diagrama de Ishikawa



Fuente: Autor, 2020

De acuerdo con lo detallado en el diagrama, las Bodegas de PT en Planta y de los Mayoristas presentan una serie de falencias en cada categoría del análisis de causa y efecto. A continuación, se enlistan los hallazgos.

Método, esta categoría hace referencia a los procesos que se llevan a cabo en las áreas involucradas, donde se identificaron los siguientes problemas:

- Incumplimientos de los procedimientos, las áreas involucradas no cumplen de manera efectiva con las políticas y procedimientos establecidos.
- Variación del plan de compras, debido al giro de negocio la demanda de materia prima es muy variable por depender del factor climático para realizar ventas.
- Política de inventario inexistente, el área no cuenta con una política de inventario que permita garantizar la disponibilidad de stock en los mayoristas.

Productos, en esta categoría se determinaron las siguientes problemáticas:

- Sobre stock, inventario obsoleto, caducidad y lenta rotación, son causas originadas por la falta de una política de inventario que maximice la eficiencia de este.
- Falta de disponibilidad de los ítems para los mayoristas a nivel nacional, generando ventas perdidas con los minoristas.

Información, mediante el ERP utilizado por la empresa se identificaron varias falencias para esta categoría:

- Costos ocultos, debido a los reprocesos, movilización y mantenimiento de inventario que se efectúan por la caducidad, calidad y lenta rotación de los ítems.
- Escasa asertividad del pronóstico, esto se debe a un ineficaz análisis del comportamiento de la demanda en función de patrones de venta históricos.
- Baja certeza de inventario, causada por errores de digitación y por no contar con una base depurada del portafolio de productos en el sistema.

Mano de obra, esta categoría depende del personal y las funciones que cada uno desempeña, siendo las principales faltas:

- Fallas en el flujo de comunicación interna, el cambio de información entre áreas no es efectiva, lo que conlleva a constantes modificaciones en la planificación de producción y el programa de distribución.
- Manipulación manual de información, al realizar procesos como la recepción de carga de forma manual, se generan errores de digitación cuando se ingresan los datos al sistema.
- Desorden, por el espacio limitado de las bodegas no se puede mantener completamente el orden de almacenamiento de los ítems, lo que ocasiona ciertas dificultades al momento de utilizar los montacargas.
- Prácticas inadecuadas de almacenamiento, el año anterior se capacitó al personal de Planta sobre BPA (Buenas prácticas de almacenamiento), sin embargo, el personal de los mayoristas no fue

capacitado en su totalidad, razón por la cual no todos los operarios y estibadores de las diferentes bodegas ejecutan por completo buenas prácticas de almacenamiento.

Recursos, esta categoría se refiere a los equipos, herramientas y materiales que se disponen en las Bodegas para ejecutar los procesos establecidos en estas, encontrando los siguientes problemas:

- Capacidad limitada de almacenamiento, debido al crecimiento del sector agrícola en los últimos años, las capacidades de las Bodegas de Planta y de los mayoristas se han ido limitando con el pasar del tiempo.
- Cantidad insuficiente de equipos de manipulación y a su vez de almacenamiento dentro de las Bodegas.
- Carencia de herramientas tecnológicas para la automatización del proceso de toma de inventario.

Una vez identificada la problemática tanto en la Planta como en los mayoristas, se logró reconocer lo importante e indispensable que es maximizar la eficiencia en la gestión del inventario para así contribuir a la mejora del canal de distribución.

Las herramientas de ingeniería como los modelos matemáticos de inventario permiten la optimización de procesos, indicando cuándo se deben colocar las órdenes de pedidos y cuáles son las cantidades por ordenar. De esta manera, se obtienen mejoras en:

- La planificación de pedidos y despachos.
- El control de caducidad, obsolescencia y lenta rotación.
- El control de procesos y prácticas de almacenamiento.
- El rendimiento y eficiencia en la gestión del inventario.
- El aumento del nivel de servicio por cumplimiento de pedidos.
- La eliminación de costos indebidos por sobreabastecimiento o subabastecimiento (costos por mantenimiento y control de unidades, faltantes, clientes insatisfechos y ventas perdidas).

Es importante mencionar que la creación de una política de inventario va de la mano con la implementación de un buen pronóstico que permita obtener

datos confiables, registro real de la demanda y comportamientos atípicos de esta por promociones o quiebres de stock.

Los métodos de pronóstico que se utilicen dependen de los patrones de tendencia y estacionalidad de la demanda, ya que esta puede variar por acciones conjuntas que se plantean entre el área comercial y de Supply Chain para responder a las necesidades de los clientes. Por tanto, para realizar el cálculo del pronóstico no se debe vincular la demanda histórica con la información de mercado a fin de evitar la exposición a la incertidumbre.

La época de esperar que los clientes coloquen las órdenes de pedido debe ser reemplazada por un sistema automatizado de inventario que permita mantener el control de este, de manera que los mayoristas y la planta como proveedores estén un paso por delante manteniéndose siempre abastecidos para cumplir oportunamente con las necesidades y requerimientos de los clientes minoristas.

De ahí la importancia de la creación y aplicación de una política de inventario para obtener resultados que permitan mejorar la toma de decisiones contribuyendo así a una correcta gestión del inventario, logrando a su vez que la organización obtenga una gran ventaja competitiva frente a las demás compañías que se encuentran en la misma línea de negocio.

3.4 Análisis de datos

El análisis de datos se realizará con:

- El inventario de los mayoristas para seleccionar los ítems que serán utilizados en la programación de la política de inventario que se planteará más adelante.
- La demanda de los productos seleccionados en cada mayorista para determinar el comportamiento de esta e identificar a qué distribución estadística se ajustan los datos.

3.4.1 Análisis del inventario

De acuerdo con lo detallado en el párrafo anterior el análisis del inventario se orienta al modelo de maximización de ganancias y minimización de costos, para lo cual se establecen dos escenarios, el inventario del minorista o cliente final y del mayorista o punto de venta. Bajo este esquema, se supone la existencia de un solo minorista para cada mayorista.

Cuando el minorista queda desabastecido éste coloca un pedido al mayorista para ser atendido bajo la política de despacho que se mantiene vigente, mientras el mayorista disponga de stock en su bodega el pedido es atendido rápidamente, sin embargo, si la bodega no dispone del inventario suficiente el minorista deberá esperar que el proveedor (planta) reabastezca al mayorista.

El segundo escenario que corresponde al análisis del inventario del mayorista considera que cada orden de pedido es de tamaño diferente para cada minorista y que existe un solo proveedor (planta) que abastece la Bodega del mayorista.

Para conocer cuáles son los fertilizantes simples que requieren mayor atención y una adecuada gestión de estos, se realizó una clasificación ABC para cada mayorista. Los cálculos se realizaron en función del costo de venta, cuyo producto con la cantidad de stock que se mantiene en el almacén se refleja en la columna Total. La columna Porcentaje se obtiene dividiendo el total de cada fila para la sumatoria de dicha columna que se muestra en la última celda.

En la columna Acum se realiza la suma acumulada de los porcentajes, siendo, las filas que lleguen al acumulado del 80,00% categorizadas como productos A según lo reflejado en la columna Pareto, aquellos que se encuentren entre el 80,01% - 95,00% se consideran como productos B y quienes estén entre el 95,01% - 100,00% como productos C.

Para objeto del presente análisis únicamente se tendrán en cuenta los ítems de categoría A, por ser los más representativos debido a que poseen una

mayor inversión. Por lo general, estos productos simbolizan el 20% de los ítems del inventario que representan el 90% de la inversión y aportan más valor añadido. De los ítems restantes el 30% son de categoría B representando el 8% de la inversión, y, el 50% sobrante se consideran de categoría C y representan el 2% de la inversión, siendo estos los que menos valor añadido aportan al inventario.

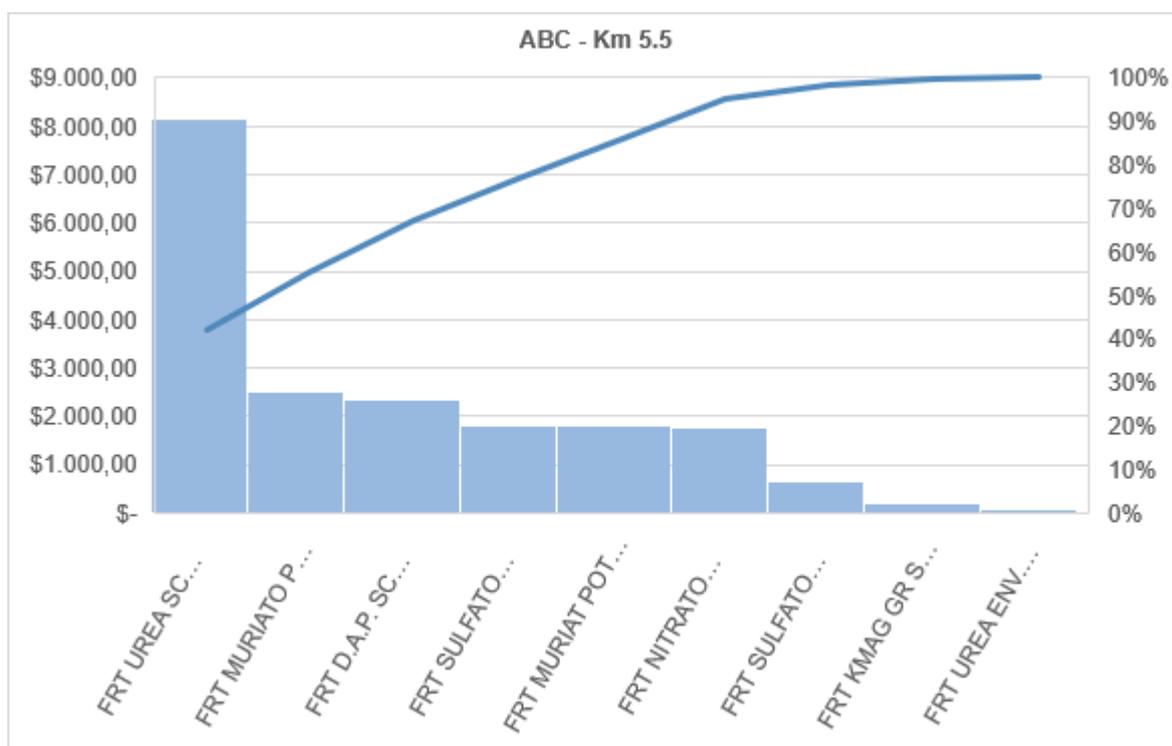
En la tabla 3.6 se observa que los ítems con categoría A para el mayorista del Km 5.5 son: Urea, Muriato de potasio granulado (gn), Dap y Sulfato de amonio granulado (gr). Todos en presentación de 50 kg. De manera gráfica se detalla en la figura 3.4 el resultado de los cálculos.

Tabla 3.6 Clasificación ABC – Km 5.5

Nº	PTO DE VENTA	CÓD ÍTEM	PRODUCTO	PRESENTACIÓN	STOCK	COSTO DE VENTA	TOTAL	PORCENTAJE	ACUM	PARETO
6	KM 5.5	1130445	FRT UREA SC (50KG)	50 KG	490	\$ 16,63	\$ 8.150,27	42,15%	42,15%	A
5	KM 5.5	1130450	FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)	50 KG	147	\$ 17,14	\$ 2.519,23	13,03%	55,18%	A
2	KM 5.5	1130448	FRT D.A.P. SC (50KG)	50 KG	118	\$ 20,03	\$ 2.363,39	12,22%	67,41%	A
7	KM 5.5	1130884	FRT SULFATO AMONIO GR SC(50KG)	50 KG	160	\$ 11,29	\$ 1.806,37	9,34%	76,75%	A
8	KM 5.5	1130464	FRT MURIAT POT ST ROJ SC(50KG)	50 KG	97	\$ 18,45	\$ 1.789,99	9,26%	86,01%	B
1	KM 5.5	1130456	FRT NITRATO AMONIO SC (50KG)	50 KG	123	\$ 14,53	\$ 1.786,61	9,24%	95,25%	C
3	KM 5.5	1130446	FRT SULFATO AMONIO SC (50KG)	50 KG	63	\$ 10,19	\$ 641,96	3,32%	98,57%	C
4	KM 5.5	1130468	FRT KMAG GR SC (50KG)	50 KG	12	\$ 17,68	\$ 212,18	1,10%	99,67%	C
9	KM 5.5	1130509	FRT UREA ENV. (2KG)	2 KG	47	\$ 1,37	\$ 64,26	0,33%	100,00%	C
							\$ 19.334,25			

Fuente: Autor, 2020

Figura 3.4 Clasificación ABC – Km 5.5



Fuente: Autor, 2020

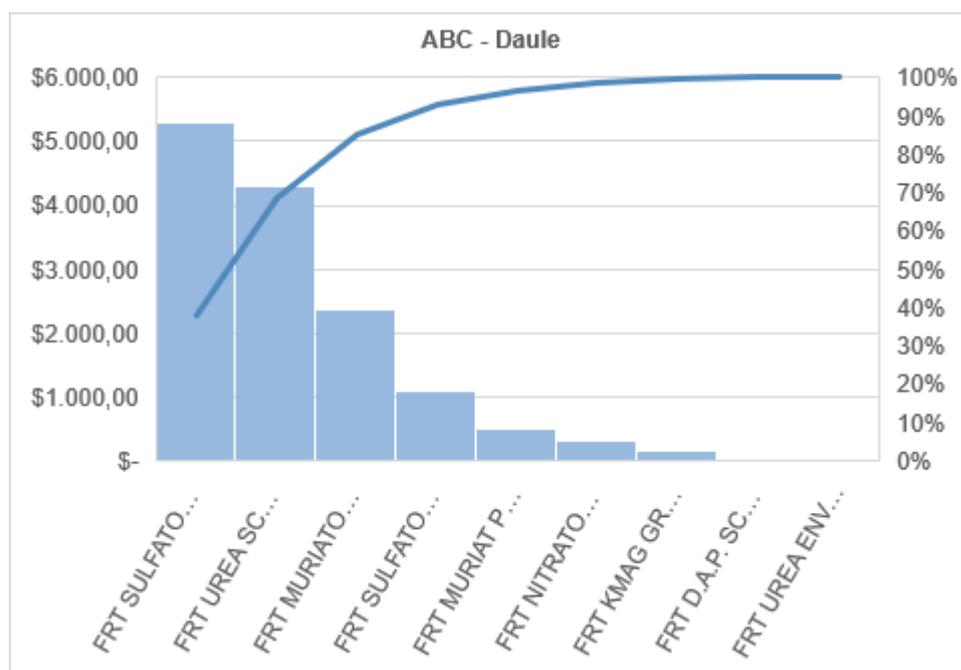
La clasificación ABC realizada en el mayorista de Daule se presenta en la tabla 3.7, cuyos resultados reflejan únicamente dos ítems con categoría A, Sulfato de amonio granulado (gr) y urea, ambos en presentación de 50 kg. Gráficamente, en la figura 3.5 se observan los resultados de la tabla mencionada.

Tabla 3.7 Clasificación ABC – Daule

N°	PTO DE VENTA	CÓD ÍTEM	PRODUCTO	PRESENTACIÓN	STOCK	COSTO DE VENTA	TOTAL	PORCENTAJE	ACUM	PARETO
4	DAULE	1130884	FRT SULFATO AMONIO GR SC(50KG)	50 KG	300	\$ 17,70	\$ 5.309,13	37,83%	37,83%	A
3	DAULE	1130445	FRT UREA SC (50KG)	50 KG	259	\$ 16,60	\$ 4.298,65	30,63%	68,47%	A
2	DAULE	1130450	FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)	50 KG	136	\$ 17,32	\$ 2.355,38	16,78%	85,25%	B
5	DAULE	1130446	FRT SULFATO AMONIO SC (50KG)	50 KG	98	\$ 11,10	\$ 1.088,00	7,75%	93,00%	C
6	DAULE	1130456	FRT NITRATO AMONIO SC (50KG)	50 KG	20	\$ 14,78	\$ 295,60	2,11%	95,11%	C
7	DAULE	1130468	FRT KMAG GR SC (50KG)	50 KG	9	\$ 17,68	\$ 159,14	1,13%	96,25%	C
1	DAULE	1130448	FRT D.A.P. SC (50KG)	50 KG	1	\$ 17,37	\$ 17,37	0,12%	96,37%	C
8	DAULE	1130509	FRT UREA ENV. (2KG)	2 KG	6	\$ 1,13	\$ 6,78	0,05%	96,42%	C
9	DAULE	1130464	FRT MURIAT POT ST ROJ SC(50KG)	50 KG	30	\$ 16,76	\$ 502,71	3,58%	100,00%	C
							\$ 14.032,75			

Fuente: Autor, 2020

Figura 3.5 Clasificación ABC – Daule



Fuente: Autor, 2020

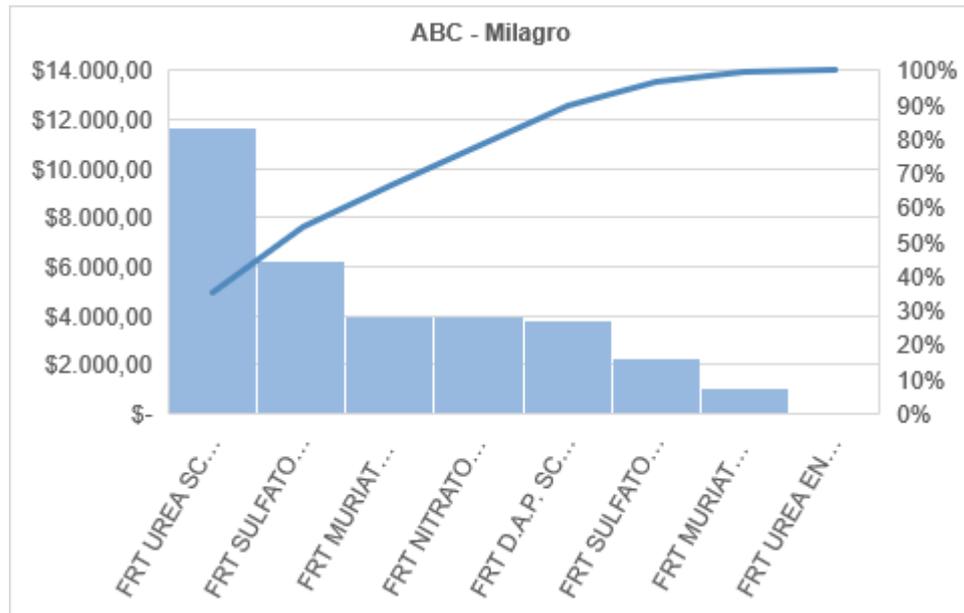
El mayorista de Milagro, en su clasificación ABC especificada en la tabla 3.8 determina como productos de categoría A los siguientes: Urea, Sulfato de amonio granulado (gr), Muriato de potasio granulado (gn) y nitrato de amonio; todos en presentación de 50 kg. La figura 3.6 muestra gráficamente los resultados obtenidos.

Tabla 3.8 Clasificación ABC – Daule

Nº	PTO DE VENTA	CÓD ÍTEM	PRODUCTO	PRESENTACIÓN	STOCK	COSTO DE VENTA	TOTAL	PORCENTAJE	ACUM	PARETO
3	MILAGRO	1130445	FRT UREA SC (50KG)	50 KG	705	\$ 16,57	\$ 11.685,02	35,42%	35,42%	A
5	MILAGRO	1130884	FRT SULFATO AMONIO GR SC(50KG)	50 KG	500	\$ 12,45	\$ 6.225,00	18,87%	54,29%	A
2	MILAGRO	1130450	FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)	50 KG	235	\$ 16,91	\$ 3.974,11	12,05%	66,34%	A
1	MILAGRO	1130456	FRT NITRATO AMONIO SC (50KG)	50 KG	278	\$ 14,16	\$ 3.936,17	11,93%	78,27%	A
4	MILAGRO	1130448	FRT D.A.P. SC (50KG)	50 KG	202	\$ 18,95	\$ 3.827,44	11,60%	89,87%	B
6	MILAGRO	1130446	FRT SULFATO AMONIO SC (50KG)	50 KG	200	\$ 11,15	\$ 2.230,00	6,76%	96,63%	C
7	MILAGRO	1130464	FRT MURIAT POT ST ROJ SC(50KG)	50 KG	59	\$ 18,45	\$ 1.088,83	3,30%	99,93%	C
8	MILAGRO	1130509	FRT UREA ENV. (2KG)	2 KG	21	\$ 1,13	\$ 23,72	0,07%	100,00%	C
							\$ 32.990,28			

Fuente: Autor, 2020

Figura 3.6 Clasificación ABC – Milagro



Fuente: Autor, 2020

En resumen, los productos escogidos para utilizarlos en el modelo matemático con el Software GAMS se detallan en la tabla 3.9. El propósito de utilizar la metodología ABC para clasificar el inventario consiste en establecer el nivel de control y atención adecuada para cada uno de los artículos que se mantienen en stock, mientras se genera un importante ahorro económico en cuanto a mantenimiento y gestión de inventario y tiempo.

Tabla 3.9 Ítems seleccionados por mayorista

N°	PTO DE VENTA	CÓD ÍTEM	PRODUCTO	PRESENTACIÓN	PARETO
1	KM 5.5	1130445	FRT UREA SC (50KG)	50 KG	A
2	KM 5.5	1130450	FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)	50 KG	A
3	KM 5.5	1130448	FRT D.A.P. SC (50KG)	50 KG	A
4	KM 5.5	1130884	FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)	50 KG	A
5	DAULE	1130445	FRT UREA SC (50KG)	50 KG	A
6	DAULE	1130884	FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)	50 KG	A
7	MILAGRO	1130445	FRT UREA SC (50KG)	50 KG	A

8	MILAGRO	1130884	FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)	50 KG	A
9	MILAGRO	1130450	FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)	50 KG	A
10	MILAGRO	1130456	FRT NITRATO AMONIO SC (50KG)	50 KG	A

Fuente: Autor, 2020

3.4.2 Análisis de la demanda

A partir de la información detallada en el apartado anterior, se inicia con el análisis de la demanda en el mayorista, para lo cual, se identificó los productos de categoría “A” por cada almacén. El tamaño de la demanda se define en la bodega del mayorista como el intervalo entre dos órdenes estocásticas de pedido, dependiendo así, de los requerimientos del minorista.

A continuación, se mostrará el análisis del proceso de la demanda para los productos seleccionados en cada mayorista de acuerdo con los resultados obtenidos según la clasificación ABC. Es importante mencionar que para este análisis se determinará en primera instancia la estacionariedad, estacionalidad y el modelo de pronóstico para cada serie de tiempo, luego, se calculará el pronóstico de la demanda. La data empleada corresponde a las ventas netas mensualizadas durante el período 2015 – 2018, la cual fue proporcionada por el área comercial y se presenta en el anexo A.

3.4.2.1 Determinación de la estacionariedad, estacionalidad y modelos de pronóstico

Estacionariedad: La estacionariedad es una propiedad de la serie de datos que no varía con el tiempo, es decir, que se mantiene estable. Esta característica se puede evaluar mediante:

- Gráficos de las series: Donde la media, frecuencia, tendencia y amplitud se aprecian constantes a lo largo del tiempo.
- Parámetros: Cuyos valores de la media, varianza y covarianza son constantes en el tiempo.

- Prueba Dickey-Fuller (o de la raíz unitaria): Para la comprobación de hipótesis en función del valor p (p-value), esta prueba permite verificar si la serie es o no estacionaria. Si el p-value es mayor a 0.05 se concluye que la serie no es estacionaria, caso contrario sí.

Para determinar si las series de tiempo empleadas en esta investigación son estacionarias o no, se considerará como resultado principal el otorgado por la prueba de Dickey-Fuller mediante el software estadístico R y el programa Wolfram Mathematica.

Estacionalidad: La estacionalidad se considera como un patrón de las variaciones de la demanda por arriba o debajo de la recta que representa la tendencia y que se repite a intervalos regulares. Es decir, aquellos intervalos en los que hay un repunte o una baja frecuente con un comportamiento regular o periódico.

El comportamiento de las variaciones estacionales es constante todos los años, la serie de tiempo muestra un patrón cíclico para cierta época del año. Esta propiedad se puede evaluar mediante:

- Gráficos de las series: Donde se puede identificar si en la serie de tiempo existe o no un comportamiento cíclico y regular, de esta manera se podrá determinar si la serie presenta un componente estacional.
- Índice de estacionalidad: Identifica el incremento o disminución porcentual del componente estacional, cuyo promedio anual de la serie siempre debe ser igual al 100% para determinar que la serie de tiempo presenta estacionalidad.

El diagnóstico de la estacionalidad de las series de tiempo utilizadas dentro de este trabajo de investigación, se llevarán a cabo mediante la evaluación de los gráficos proporcionados por el software estadístico R y el índice de estacionalidad calculado mediante la herramienta computacional Excel.

Modelos de pronósticos: Los modelos de pronósticos según (García, 2014) generalmente se clasifican por el horizonte de planeación, estos pueden ser:

- A corto plazo: Tiene una cobertura inferior a tres meses o máximo de hasta un año, por lo general se utiliza para la planificación de compras, niveles de producción, capacidad de mano de obra; programación de trabajos y asignación de tareas.
- A mediano plazo: Va desde tres meses hasta máximo tres años, se emplea para la planificación de ventas, producción, presupuesto, y para análisis en la toma de decisiones del área operativa.
- A largo plazo: Cubre períodos mayores a los tres años y se utilizan para la planificación de nuevos productos y localización de instalaciones.

(García, 2014) indica que existen dos métodos para la utilización de los modelos de pronósticos, a continuación, se detallan:

- Métodos Cualitativos: Se utilizan cuando los datos son escasos, y por tanto se debe incorporar factores como la intuición, emociones o experiencias personales.
- Métodos Cuantitativos: Se emplean cuando existen datos históricos que permiten aplicar diferentes técnicas y modelos matemáticos o estadísticos para predecir la demanda. Estos métodos trabajan con las siguientes técnicas:
 - Series de tiempo: Esta técnica permite observar lo que ha ocurrido a lo largo de un período de tiempo y utiliza una serie de datos pasados para realizar el pronóstico. Los modelos básicos de esta técnica son:
 - Promedios móviles: Trabaja con el promedio de los últimos valores reales de la demanda para estimar la del siguiente período.
 - Promedios móviles ponderados: Utiliza factores de ponderación en los últimos n valores reales de la demanda para predecir la del siguiente período.

- Suavización Exponencial: Emplea medias móviles ponderadas y una cantidad mínima de datos históricos para determinar el pronóstico de la serie, es uno de los modelos más sofisticados.
- Causales: Incluyen variables que pueden afectar el pronóstico. Los modelos básicos de esta técnica son:
 - Regresión lineal simple: Determina la relación lineal que existe entre dos variables para el cálculo del pronóstico.
 - Regresión lineal múltiple: Determina la relación lineal que existe entre algunas variables para determinar la predicción.

Para realizar el pronóstico de la demanda del presente trabajo, se empleará el método cuantitativo mediante el uso de los modelos establecidos en la técnica de series de tiempo.

(Box & Jenkins, 1973) definieron varios modelos estadísticos para series de tiempo que permiten determinar el pronóstico de estas mediante la dependencia que existe entre los datos y en función de los valores históricos. Los modelos establecidos se originan por tres componentes:

- AR(p): Autoregresivo de orden p. Se estiman y grafican los valores de la función de autocorrelación parcial PACF (Partial AutoCorrelation Function) de la serie y se crean unas bandas de significación para identificar cuáles son los coeficientes distintos de cero (fuera de bandas) y cuáles no (dentro de bandas), cuando los primeros p términos de la función son distintos de cero y los demás nulos, se concluye que se trata de un proceso AR(p).
- MA(q): Medias móviles de orden q. Al igual que el componente AR(p), se estiman y grafican los valores de la función de autocorrelación ACF (Autocorrelation Function) de la serie y se crean unas bandas de significación para identificar cuáles son los coeficientes distintos de cero (fuera de bandas) y cuáles no (dentro de bandas), cuando los primeros q términos de la función son

distintos de cero y los demás nulos, se concluye que se trata de un proceso $MA(q)$.

- $I(d)$: Integrado de orden d . Este componente se utiliza cuando la serie presenta tendencia y se requiere aplicar diferenciación para transformarla en estacionaria, es decir, la cantidad de diferenciaciones que requiere la serie para ser estacionaria determina el orden d del modelo.

Luego de varios análisis sobre series de tiempo (Box & Jenkins, 1973) constituyen los siguientes modelos estadísticos para el cálculo de pronósticos:

- $ARMA(p,q)$: Modelo estadístico sencillo de estructura autoregresiva y de media móvil de orden p y q respectivamente, que es capaz de reproducir una gran variedad de series estacionarias.
- $ARIMA(p,d,q)$: Modelo con estructura de media móvil, integrado y autoregresivo de orden p , d y q respectivamente (componentes de la parte regular de la serie). Este modelo describe un valor como una función lineal de datos históricos y errores aleatorios, se sugiere utilizar como mínimo 50 valores para determinar el pronóstico.
- $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_{[s]}$: Este modelo se deriva del anterior, con la diferencia de que incluye variaciones cíclicas o estacionales, para lo cual se establece un orden $(P,D,Q)_{[s]}$ como componentes de la variación estacional de la serie, siendo $[s]$ el período cíclico.

En el presente análisis, tanto el software estadístico RStudio como el programa Wolfram Mathematica, mediante diferentes comandos sugieren modelos para el cálculo del pronóstico. Para determinar si estos modelos se ajustan a las series de tiempo, se ejecuta el análisis de los residuales a través de:

- Prueba Ljung-Box: Para la comprobación de hipótesis en función del valor p (p -value), esta prueba permite verificar si el modelo se ajusta o no a la serie de tiempo. Si el p -value es mayor a 0.05 se concluye que el modelo sí se ajusta, caso contrario no.

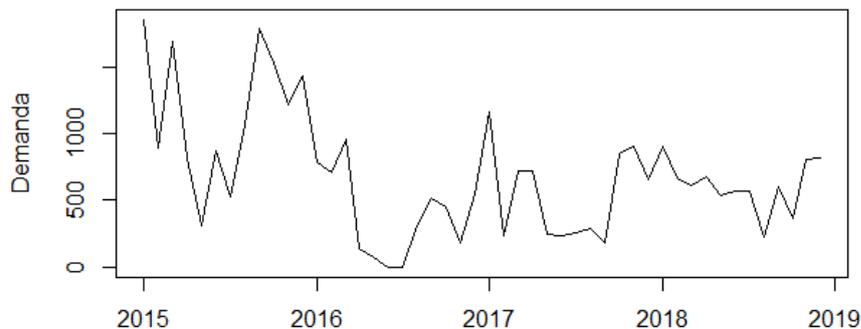
- Prueba Shapiro Wilk: Al igual que la prueba anterior, se verifica mediante la hipótesis que el modelo se ajuste a la serie de tiempo, y, si el p-value es mayor a 0.05 se concluye que el modelo sí se ajusta, caso contrario no.

La verificación del ajuste de los modelos sugeridos para las series de tiempo del presente trabajo se ejecutará con la prueba Ljung-Box a través del software estadístico RStudio, y con la prueba Shapiro Wilk mediante el programa Wolfram Mathematica. A continuación, se detalla el análisis de la demanda realizado para los ítems de categoría “A” en cada mayorista.

Mayorista 1 (Km 5.5)

Los productos tipo “A” del Km 5.5 con los cuales se realizará el análisis de la demanda para identificar la estacionariedad y estacionalidad son: Urea, Dap, Muriato de potasio granulado y sulfato de amonio granulado. A continuación, se detallan los gráficos y parámetros de cada ítem.

Figura 3.7 Comportamiento demanda Urea – Km 5.5



Fuente: Autor, 2020

En la figura 3.7 se observa que en el año 2015 se presenta el mayor consumo de Urea. Gráficamente no se logra distinguir si la serie es estacionaria o estacional, ya que no se visualiza una media constante ni un patrón de comportamiento cíclico. Los parámetros evaluados se detallan en la tabla 3.10:

- El resultado de la prueba Dickey-Fuller (p-value) en RStudio es mayor a 0.05, por tanto, se debe aplicar diferenciación a la serie. En

Wolfram Mathematica, el p-value es menor a 0.05, lo cual significa que la serie es estacionaria y no requiere de diferenciación.

- La serie no presenta un patrón cíclico o regular, es decir, no muestra estacionalidad.
- El modelo sugerido a través de RStudio es un ARIMA(1,1,4) y el sugerido por Wolfram Mathematica es un AR(2), el cual es equivalente a un ARIMA(2,0,0).
- El resultado del análisis de los residuales mediante las pruebas Ljung-Box y Shapiro (p-value) es mayor a 0.05, por tanto, ambos modelos se ajustan a la serie de tiempo.

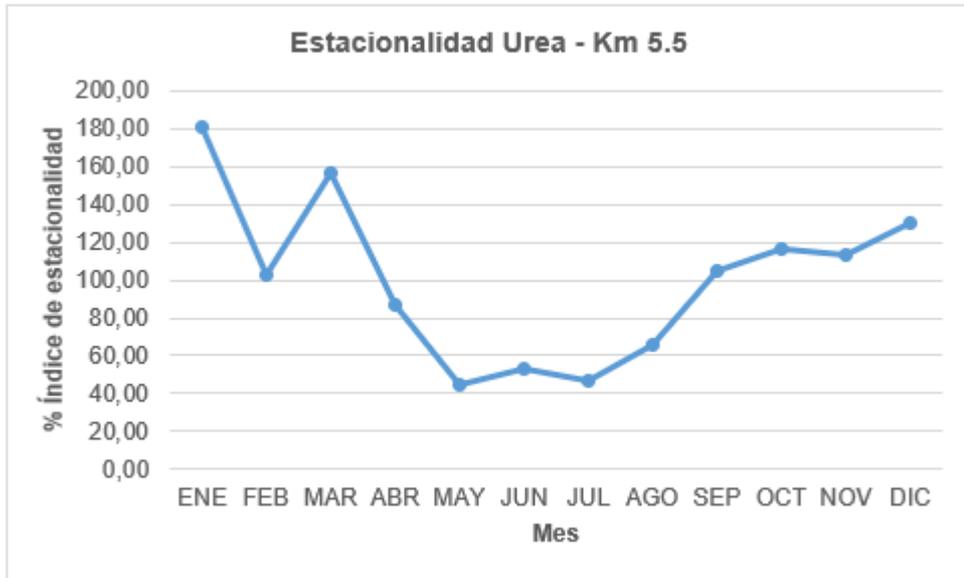
Tabla 3.10 Parámetros demanda Urea – Km 5.5

FRT UREA SC (50KG)		
Parámetros	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.07451	0.01307
Diferenciación	Sí	No
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.02133	-
Estacionariedad	Sí	Sí
Estacionalidad	No	No
Modelo sugerido	ARIMA(1,1,4)	AR(2)
Modelo ARIMA/SARIMA	ARIMA(1,1,4)	ARIMA(2,0,0)
Ljung-Box (Rstudio) Shapiro (Wolfram Mathematica) (p- value>0.05)	0.8662	0.9315
Modelo válido	Sí	Sí

Fuente: Autor, 2020

La figura 3.8 muestra gráficamente el índice de estacionalidad en función del promedio porcentual anual de sacos vendidos por mes, donde se puede observar que ninguno de los valores es igual al 100%, por tanto, se concluye que la serie de tiempo no presenta estacionalidad.

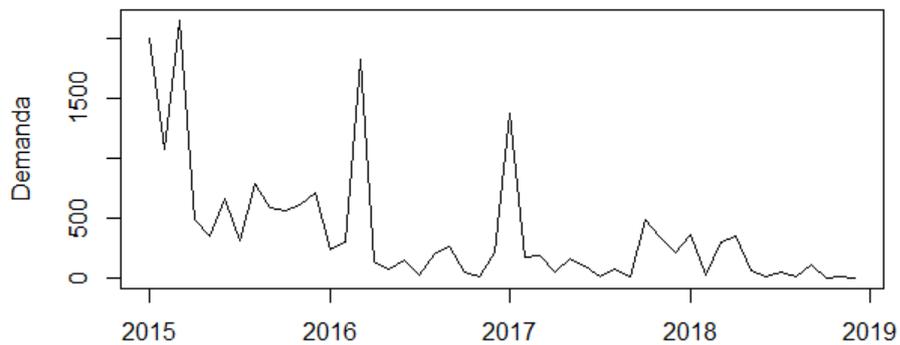
Figura 3.8 Estacionalidad demanda Urea – Km 5.5



Fuente: Autor, 2020

La figura 3.9 presenta el comportamiento de la demanda del fertilizante simple muriato de potasio granulado, donde se observa que el mayor consumo de este se registra en el año 2015. Gráficamente no se distingue la estacionariedad de la serie, pero se visualiza un comportamiento cíclico en los períodos 2015 – 2017, lo que podría considerarse como la existencia de un componente estacional.

Figura 3.9 Comportamiento demanda MOP GR – Km 5.5



Fuente: Autor, 2020

Los parámetros calculados mediante este análisis se muestran en la tabla 3.11 y corresponden a:

- El resultado de la prueba Dickey-Fuller (p-value) tanto en RStudio como en Wolfram Mathematica es menor a 0.05, por tanto, la serie es estacionaria y no requiere de diferenciación.
- A través de RStudio la serie presenta un patrón cíclico o regular, es decir, muestra estacionalidad, por tanto, el modelo sugerido es un SARIMA(0,1,1)(1,0,0)_[12].
- En Wolfram Mathematica la serie no presenta un patrón cíclico, por ende se concluye que no es estacional y sugiere un modelo AR(2), el cual es equivalente a un ARIMA(2,0,0).
- El resultado del análisis de los residuales mediante las pruebas Ljung-Box y Shapiro (p-value) es mayor a 0.05, por tanto, ambos modelos se ajustan a la serie de tiempo.

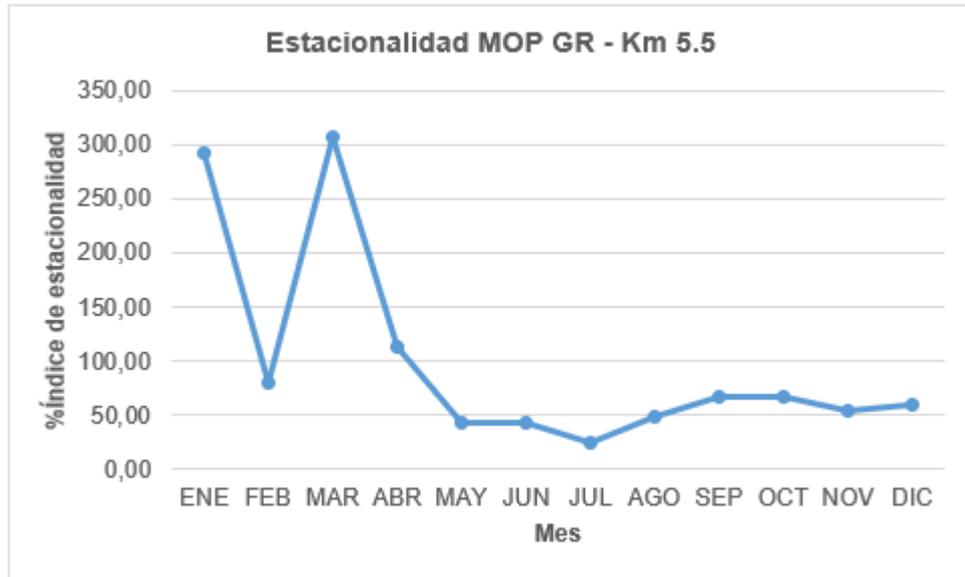
Tabla 3.11 Parámetros demanda MOP – Km 5.5

FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)		
Parámetros	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.01	0.00004
Diferenciación	No	No
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	-	-
Estacionariedad	Sí	Sí
Estacionalidad	Sí	No
Modelo sugerido	SARIMA(0,1,1)(1,0,0) _[12]	AR(2)
Modelo ARIMA/SARIMA	SARIMA(0,1,1)(1,0,0) _[12]	ARIMA(2,0,0)
Ljung-Box (Rstudio) Shapiro (Wolfram Mathematica) (p-value>0.05)	0.5551	0.7048
Modelo válido	Sí	Sí

Fuente: Autor, 2020

El índice de estacionalidad por mes en función del promedio porcentual anual de sacos vendidos se ilustra en la figura 3.10, en la cual se identifica que ninguno de los valores es igual al 100%, por tanto, se considera que la serie no presenta estacionalidad.

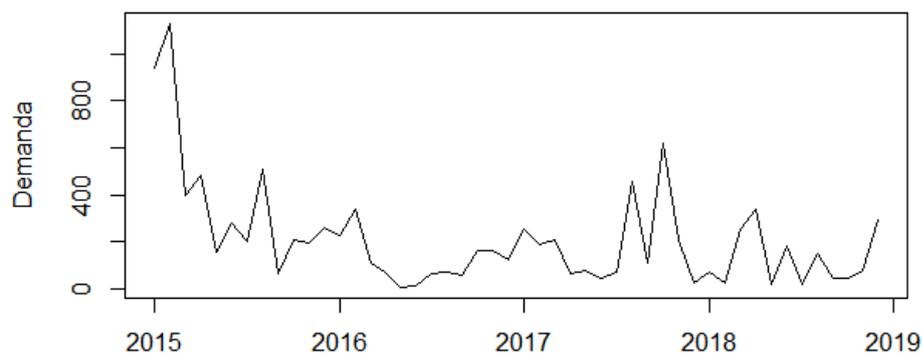
Figura 3.10 Estacionalidad demanda MOP GR – Km 5.5



Fuente: Autor, 2020

El comportamiento de la demanda del ítem DAP se detalla en la figura 3.11, en esta se observa que el consumo más alto se registra en el año 2015 y el más bajo en el 2016. Gráficamente no se visualiza estacionariedad ni estacionalidad en la serie.

Figura 3.11 Comportamiento demanda DAP – Km 5.5



Fuente: Autor, 2020

La tabla 3.12 contiene el resultado de los parámetros evaluados en el gráfico anterior, los cuales se detallan a continuación:

- El resultado de la prueba Dickey-Fuller (p-value) tanto en RStudio como en Wolfram Mathematica es menor a 0.05, por tanto, la serie es estacionaria y no requiere de diferenciación.

- La serie no presenta un patrón cíclico o regular, es decir, no muestra estacionalidad.
- El modelo sugerido a través de RStudio es un ARIMA(0,1,3) y el sugerido por Wolfram Mathematica es un AR(1), el cual es equivalente a un ARIMA(1,0,0).
- El resultado del análisis de los residuales mediante las pruebas Ljung-Box y Shapiro (p-value) es mayor a 0.05, por tanto, ambos modelos se ajustan a la serie de tiempo.

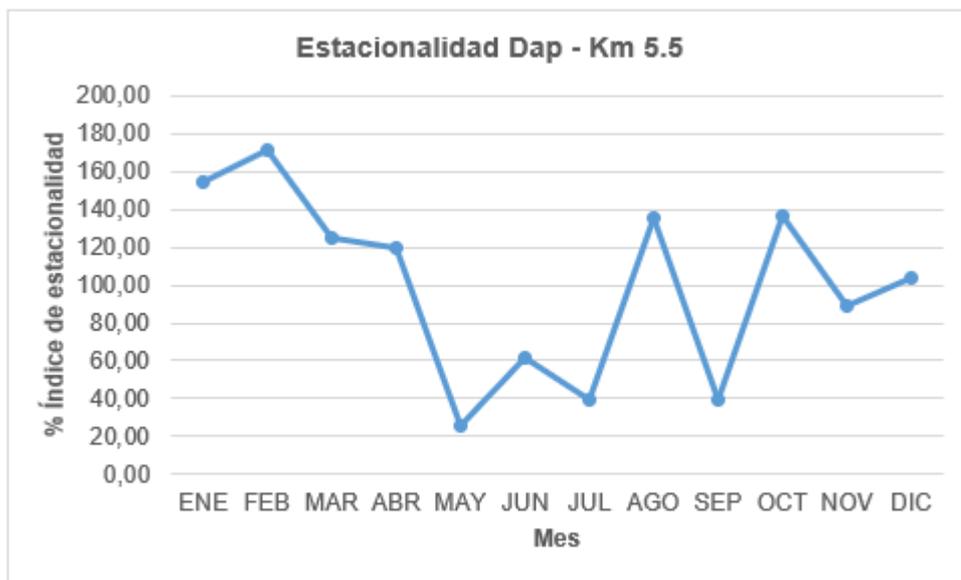
Tabla 3.12 Parámetros demanda DAP – Km 5.5

FRT D.A.P. SC (50KG)		
Parámetros	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.01697	0.00036
Diferenciación	No	No
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	-	-
Estacionariedad	Sí	Sí
Estacionalidad	No	No
Modelo sugerido	ARIMA(0,1,3)	AR(1)
Modelo ARIMA/SARIMA	ARIMA(0,1,3)	ARIMA(1,0,0)
Ljung-Box (Rstudio) Shapiro (Wolfram Mathematica) (p- value>0.05)	0.9797	0.7439
Modelo válido	Sí	Sí

Fuente: Autor, 2020

En la figura 3.12 se visualiza el índice de estacionalidad por mes, donde se muestra el promedio porcentual anual en función de los sacos vendidos de DAP, cuyos valores no son iguales al 100%, por tanto, se concluye que la serie no presenta estacionalidad.

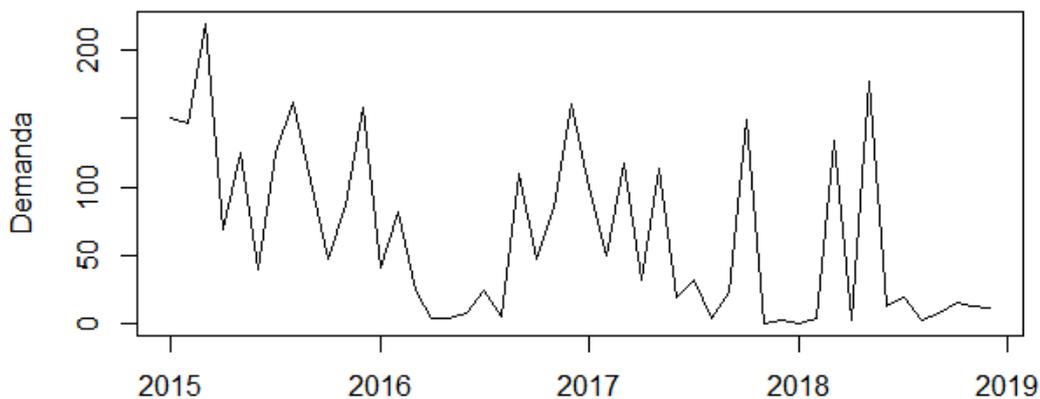
Figura 3.12 Estacionalidad demanda DAP – Km 5.5



Fuente: Autor, 2020

Para finalizar el análisis de la demanda del mayorista Km 5.5, se muestra la figura 3.13, donde se refleja el comportamiento del consumo del último ítem categoría “A” de este almacén, el sulfato de amonio granulado.

Figura 3.13 Comportamiento demanda SAM – Km 5.5



Fuente: Autor, 2020

Se puede observar en el gráfico que el consumo más alto de SAM ocurrió en el año 2015, mientras que el más bajo fue en el 2016. Gráficamente no se distingue estacionariedad, pero en los períodos 2015-2018 se percibe un patrón cíclico, lo cual podría considerarse como un componente estacional en la serie. Los parámetros evaluados en este análisis se especifican en la tabla 3.13, siendo estos:

- El resultado de la prueba Dickey-Fuller (p-value) en RStudio es mayor a 0.05, por tanto, se debe aplicar diferenciación a la serie de tiempo. En Wolfram Mathematica, el p-value es menor a 0.05, lo cual significa que la serie es estacionaria y no requiere de diferenciación.
- A través de RStudio la serie no presenta un patrón cíclico o regular, es decir, no muestra estacionalidad, por tanto, el modelo sugerido es un ARIMA(0,1,1). En Wolfram Mathematica el modelo sugerido es un AR(2) equivalente a un ARIMA(2,0,0).
- El resultado del análisis de los residuales mediante las pruebas Ljung-Box y Shapiro (p-value) es mayor a 0.05, por tanto, ambos modelos se ajustan a la serie de tiempo.

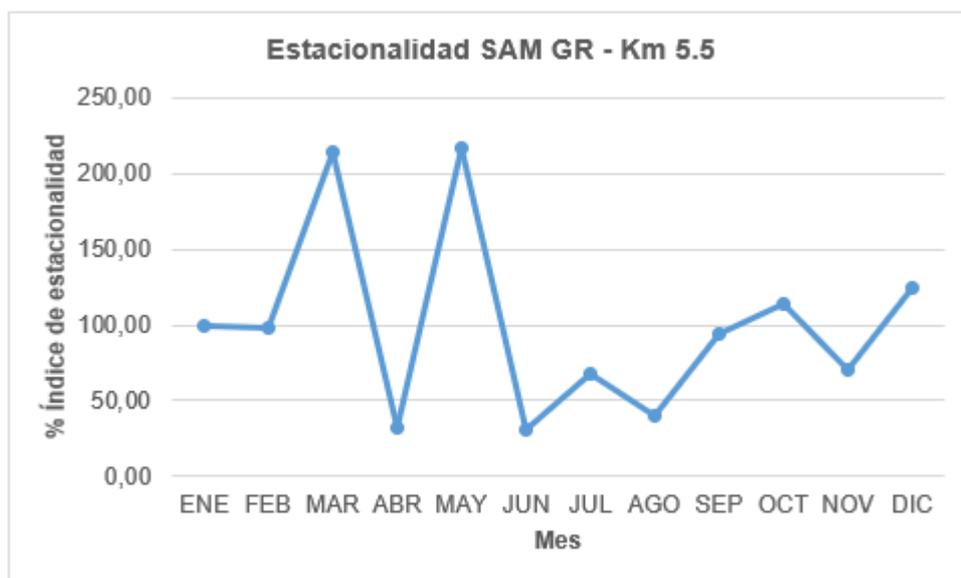
Tabla 3.13 Parámetros demanda SAM – Km 5.5

FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)		
Parámetros	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.07732	0.00089
Diferenciación	Sí	No
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.01	-
Estacionariedad	Sí	Sí
Estacionalidad	No	No
Modelo sugerido	ARIMA(0,1,1)	AR(2)
Modelo ARIMA/SARIMA	ARIMA(0,1,1)	ARIMA(2,0,0)
Ljung-Box (Rstudio) Shapiro (Wolfram Mathematica) (p- value>0.05)	0.354	0.8775
Modelo válido	Sí	Sí

Fuente: Autor, 2020

En la figura 3.14 se muestra gráficamente el índice de estacionalidad mensual del SAM, en el cual se detalla el promedio porcentual anual en función de los sacos vendidos. Se puede observar que ninguno de los valores mostrados es igual al 100%, por tanto, no se distingue un comportamiento estacional de la demanda.

Figura 3.14 Estacionalidad demanda SAM – Km 5.5

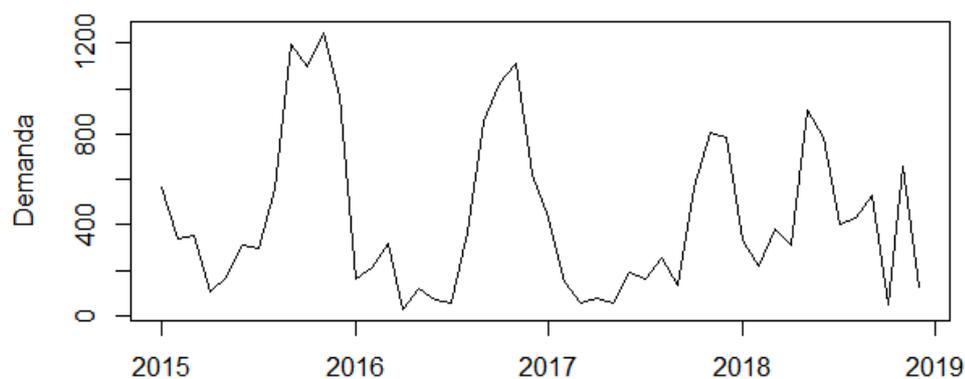


Fuente: Autor, 2020

Mayorista 2 (Daule)

Los ítems de categoría “A” pertenecientes al mayorista de Daule son: urea y sulfato de amonio granulado. A continuación, la figura 3.15 refleja el comportamiento del consumo de la urea, el cual indica que los períodos de mayor consumo son del 2015 – 2017. Gráficamente no se distingue que la serie sea estacionaria ni que presente un comportamiento estacional.

Figura 3.15 Comportamiento demanda Urea – Daule



Fuente: Autor, 2020

Los parámetros evaluados a través de este gráfico se muestran en la tabla 3.14 e indican lo siguiente:

- El resultado de la prueba Dickey-Fuller (p-value) en RStudio es menor a 0.05, por tanto, la serie no necesita ser diferenciada. Sin embargo, en Wolfram Mathematica el p-value es mayor a 0.05, lo cual significa que se debe aplicar diferenciación.
- En RStudio, la serie presenta un patrón cíclico o regular, es decir, muestra estacionalidad. Así, el modelo sugerido a través de esta herramienta es un SARIMA(0,0,3)(1,0,0)_[12] y el sugerido por Wolfram Mathematica es un AR(4), equivalente a un ARIMA(4,0,0).
- El resultado del análisis de los residuales mediante las pruebas Ljung-Box y Shapiro (p-value) es mayor a 0.05, por tanto, ambos modelos se ajustan a la serie de tiempo.

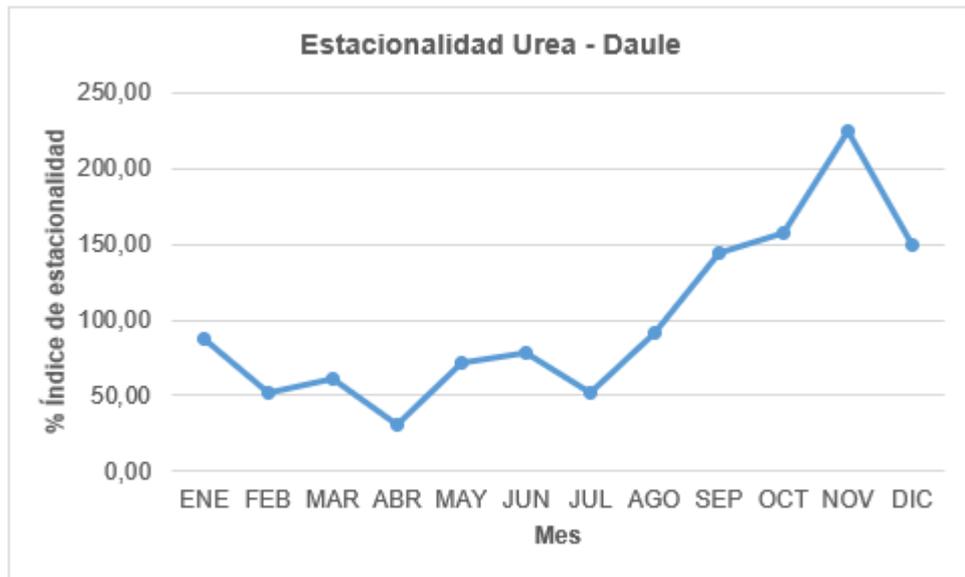
Tabla 3.14 Parámetros demanda Urea – Daule

FRT UREA SC (50KG)		
Parámetros	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.01	0.07642
Diferenciación	No	Sí
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	-	0.01
Estacionariedad	Sí	Sí
Estacionalidad	Sí	No
Modelo sugerido	SARIMA(0,0,3)(1,0,0) _[12]	AR(4)
Modelo ARIMA/SARIMA	SARIMA(0,0,3)(1,0,0) _[12]	ARIMA(4,0,0)
Ljung-Box (Rstudio) Shapiro (Wolfram Mathematica) (p-value>0.05)	0.6327	0.9000
Modelo válido	Sí	Sí

Fuente: Autor, 2020

El índice de estacionalidad por mes se ilustra en la figura 3.16, donde se observa el promedio porcentual anual en función de los sacos vendidos de urea, ninguno de los valores reflejados es igual al 100%, por tanto, se concluye que la serie no es estacional.

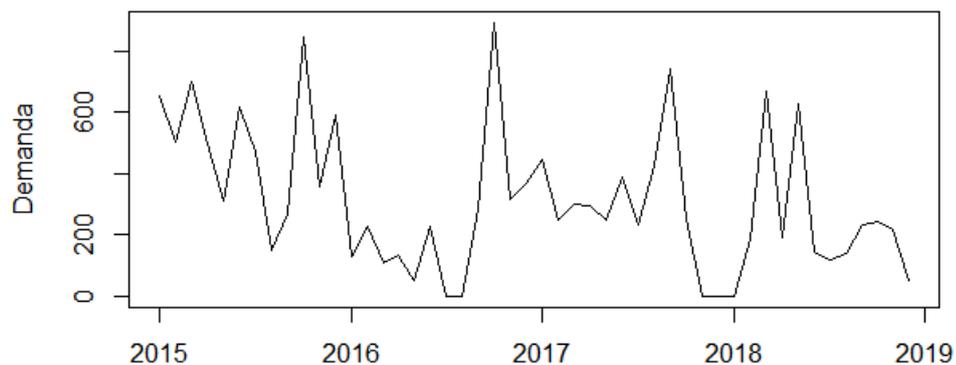
Figura 3.16 Estacionalidad demanda Urea – Daule



Fuente: Autor, 2020

En la figura 3.17 se presenta el comportamiento del consumo del ítem sulfato de amonio granulado, el cual indica que el año de mayor consumo es el 2015 y el de menor consumo el 2016. Gráficamente no se distingue estacionariedad ni estacionalidad de la serie.

Figura 3.17 Comportamiento demanda SAM – Daule



Fuente: Autor, 2020

En la tabla 3.15 se muestran los parámetros evaluados en este análisis, los cuales indican que:

- El resultado de la prueba Dickey-Fuller (p-value) tanto en RStudio como en Wolfram Mathematica es menor a 0.05, por tanto, la serie es estacionaria y no requiere de diferenciación.

- La serie no presenta un patrón cíclico o regular, es decir, no muestra estacionalidad.
- El modelo sugerido a través de RStudio es un ARIMA(1,0,1) y el sugerido por Wolfram Mathematica es un AR(1), el cual es equivalente a un ARIMA(1,0,0).
- El resultado del análisis de los residuales mediante las pruebas Ljung-Box y Shapiro (p-value) es mayor a 0.05, por tanto, ambos modelos se ajustan a la serie de tiempo.

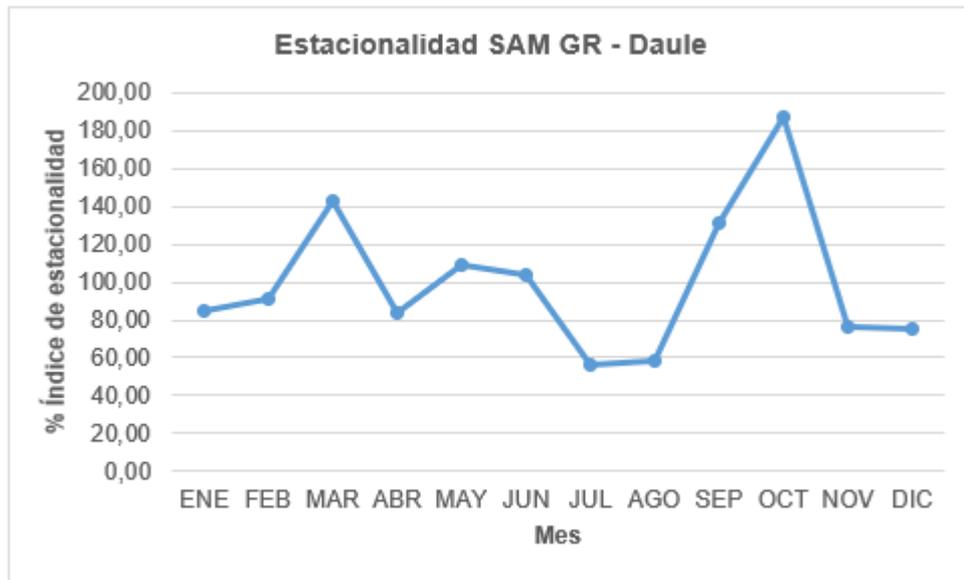
Tabla 3.15 Parámetros demanda SAM – Daule

FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)		
Parámetros	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.04082	0.00566
Diferenciación	No	No
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	-	-
Estacionariedad	Sí	Sí
Estacionalidad	No	No
Modelo sugerido	ARIMA(1,0,1)	AR(1)
Modelo ARIMA/SARIMA	ARIMA(1,0,1)	ARIMA(1,0,0)
Ljung-Box (Rstudio) Shapiro (Wolfram Mathematica) (p- value>0.05)	0.8502	0.9354
Modelo válido	Sí	Sí

Fuente: Autor, 2020

El índice de estacionalidad mensual se visualiza en la figura 3.18, donde se muestra el promedio porcentual anual del consumo de SAM, los valores reflejados en el gráfico no son iguales al 100%, lo que significa que la serie no presenta estacionalidad.

Figura 3.18 Estacionalidad demanda SAM – Daule



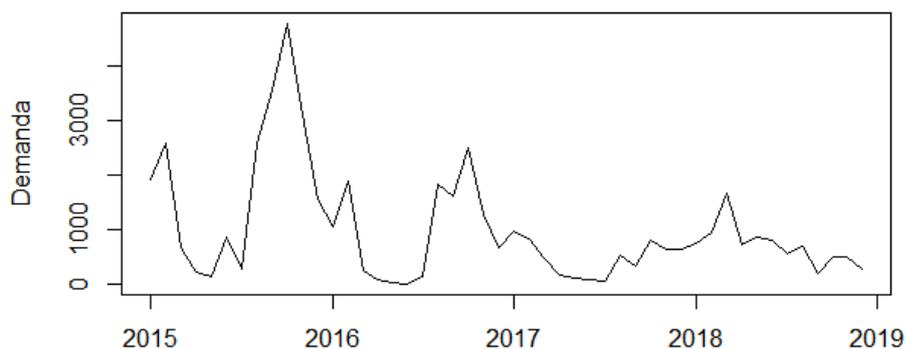
Fuente: Autor, 2020

Mayorista 3 – Milagro

En el caso del mayorista Milagro, los productos de categoría “A” son: urea, sulfato de amonio granulado, muriato de potasio granulado y nitrato de amonio. A continuación, se presenta el análisis de cada uno.

La figura 3.19 refleja el comportamiento de la demanda de la Urea, en donde se observa que el mayor nivel de consumo se registra en el año 2015, mientras que, el de menor consumo es en el año 2017. Gráficamente no se distingue estacionariedad en la serie, pero durante los períodos 2015 – 2017 se aprecia un patrón cíclico que podría considerarse como un componente estacional de la serie.

Figura 3.19 Comportamiento demanda Urea – Milagro



Fuente: Autor, 2020

En la tabla 3.16 se observan los parámetros obtenidos con el análisis del gráfico anterior. Estos son:

- El resultado de la prueba Dickey-Fuller (p-value) tanto en RStudio como en Wolfram Mathematica es menor a 0.05, por tanto, la serie es estacionaria y no requiere de diferenciación.
- A través de RStudio la serie si presenta un patrón cíclico o regular, es decir, muestra estacionalidad, por tanto, el modelo sugerido es un SARIMA(1,1,1) (1,0,1)_[12].
- En Wolfram Mathematica la serie no presenta un patrón cíclico, por ende se concluye que no es estacional y sugiere un modelo AR(1), el cual es equivalente a un ARIMA(1,0,0).
- El resultado del análisis de los residuales mediante las pruebas Ljung-Box y Shapiro (p-value) es mayor a 0.05, por tanto, ambos modelos se ajustan a la serie de tiempo.

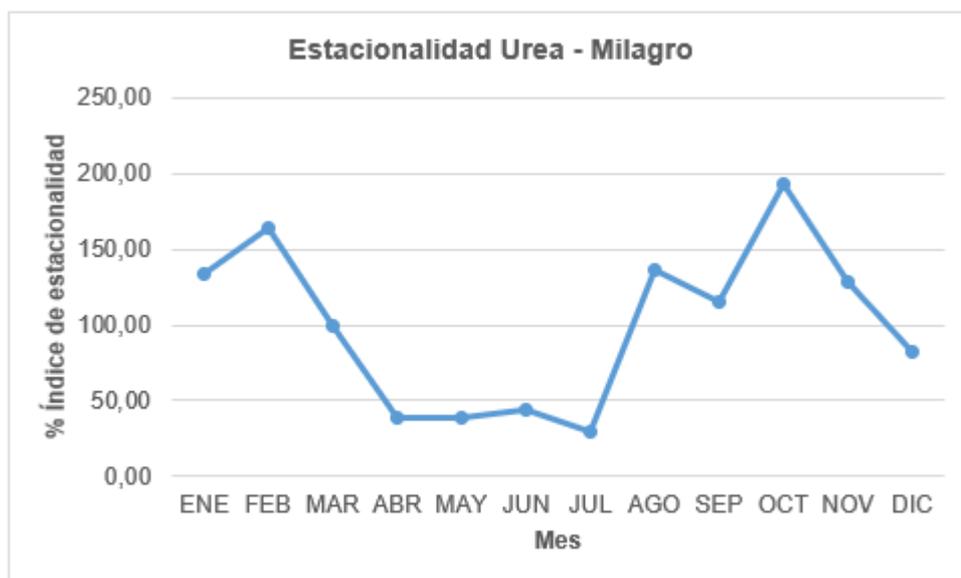
Tabla 3.16 Parámetros demanda Urea – Milagro

Parámetros	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.03927	0.02705
Diferenciación	No	No
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	-	-
Estacionariedad	Sí	Sí
Estacionalidad	Sí	No
Modelo sugerido	SARIMA(1,1,1)(1,0,1) _[12]	AR(1)
Modelo ARIMA/SARIMA	SARIMA(1,1,1)(1,0,1) _[12]	ARIMA(1,0,0)
Ljung-Box (Rstudio) Shapiro (Wolfram Mathematica) (p-value>0.05)	0.7724	0.8157
Modelo válido	Sí	Sí

Fuente: Autor, 2020

El índice de estacionalidad por mes se muestra en la figura 3.20, donde se observa el promedio porcentual anual en función de los sacos vendidos de urea, cuyos valores no son iguales al 100%, por tanto, se concluye que la serie no presenta un componente estacional.

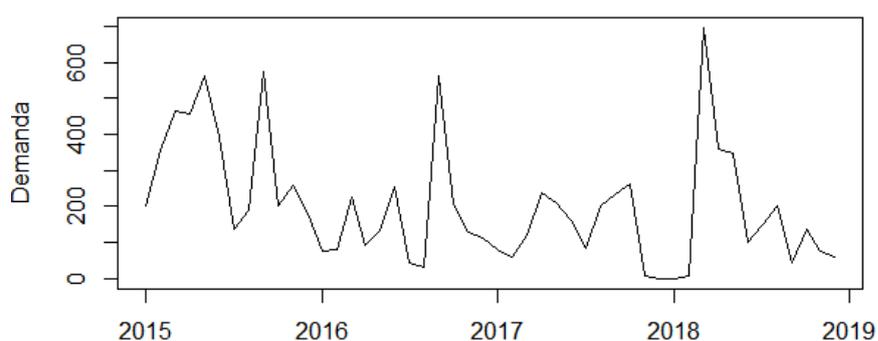
Figura 3.20 Estacionalidad demanda Urea – Milagro



Fuente: Autor, 2020

En la figura 3.21 se detalla el comportamiento de la demanda del sulfato de amonio granulado, donde el mayor consumo ocurre en el año 2015 y el más bajo en el 2017. Gráficamente no se distingue estacionariedad ni estacionalidad en la serie de tiempo.

Figura 3.21 Comportamiento demanda SAM – Milagro



Fuente: Autor, 2020

El resultado de los parámetros evaluados en este análisis se registra en la tabla 3.17. A continuación, se detallan:

- El resultado de la prueba Dickey-Fuller (p-value) en ambas herramientas es menor a 0.05, por tanto, la serie es estacionaria.
- En RStudio, la serie presenta un patrón cíclico o regular, es decir, muestra estacionalidad. Así, el modelo sugerido es un

SARIMA(0,1,1)(0,0,1)_[12]. Por otro lado, Wolfram Mathematica plantea un modelo AR(1), el cual es equivalente a un ARIMA(1,0,0).

- El resultado del análisis de los residuales mediante las pruebas Ljung-Box y Shapiro (p-value) es mayor a 0.05, por tanto, ambos modelos se ajustan a la serie de tiempo.

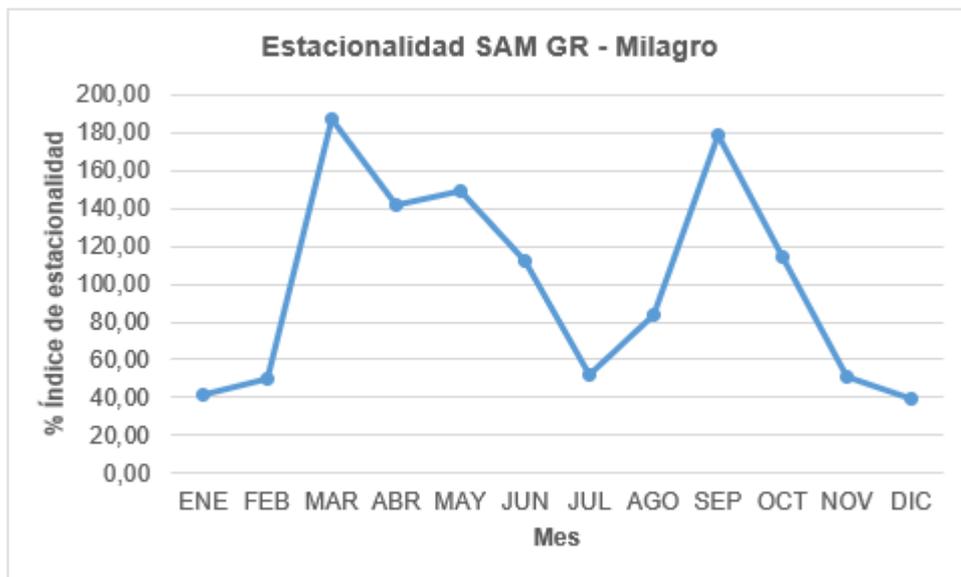
Tabla 3.17 Parámetros demanda SAM – Milagro

FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)		
Parámetros	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.04383	0.00790
Diferenciación	No	No
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	-	-
Estacionariedad	Sí	Sí
Estacionalidad	Sí	No
Modelo sugerido	SARIMA(0,1,1)(0,0,1) _[12]	AR(1)
Modelo ARIMA/SARIMA	SARIMA(0,1,1)(0,0,1) _[12]	ARIMA(1,0,0)
Ljung-Box (Rstudio) Shapiro (Wolfram Mathematica) (p-value>0.05)	0.3488	0.8927
Modelo válido	No	Sí

Fuente: Autor, 2020

El índice de estacionalidad mensual del SAM se muestra en la figura 3.22, donde los valores del promedio porcentual anual en función de los sacos vendidos no son iguales al 100%, por tanto, se concluye que la serie no es estacional.

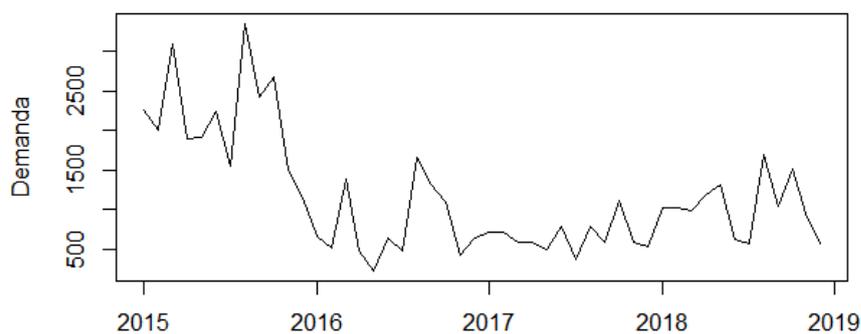
Figura 3.22 Estacionalidad demanda SAM – Milagro



Fuente: Autor, 2020

A continuación, se observa el comportamiento de la demanda del MOP en la figura 3.23, donde se puede visualizar que en el año 2015 se registró el mayor nivel de consumo y el nivel más bajo se apunta en el año 2017. Mediante el gráfico no se observa estacionariedad en la serie, pero se distingue un comportamiento cíclico que permite considerar la existencia de un componente estacional en la serie.

Figura 3.23 Comportamiento demanda MOP – Milagro



Fuente: Autor, 2020

La tabla 3.18 muestra los parámetros evaluados en el comportamiento del consumo del MOP, los cuales son:

- El resultado de la prueba Dickey-Fuller (p-value) en ambas herramientas es menor a 0.05, por tanto, la serie es estacionaria.
- En RStudio, la serie presenta un patrón cíclico o regular, es decir, muestra estacionalidad. Así, el modelo sugerido es un SARIMA(0,1,1)(1,0,0)_[12]. Por otro lado, Wolfram Mathematica plantea un modelo AR(2), el cual es equivalente a un ARIMA(2,0,0).
- El resultado del análisis de los residuales mediante las pruebas Ljung-Box y Shapiro (p-value) es mayor a 0.05, por tanto, ambos modelos se ajustan a la serie de tiempo.

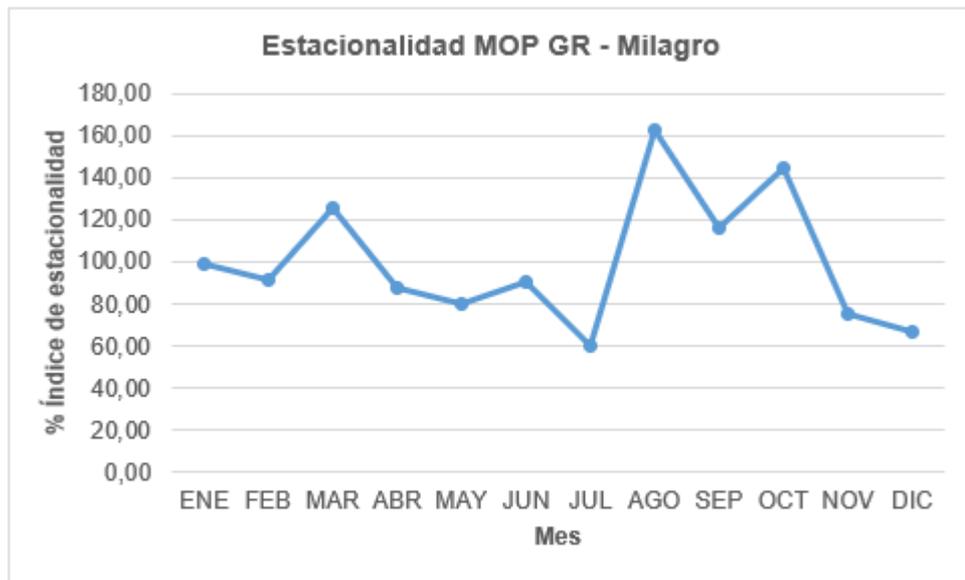
Tabla 3.18 Parámetros demanda MOP – Milagro

FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)		
Parámetros	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.04247	0.05412
Diferenciación	No	No
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	-	-
Estacionariedad	Sí	Sí
Estacionalidad	Sí	No
Modelo sugerido	SARIMA(0,1,1)(1,0,0) _[12]	AR(2)
Modelo ARIMA/SARIMA	SARIMA(0,1,1)(1,0,0) _[12]	ARIMA(2,0,0)
Ljung-Box (Rstudio) Shapiro (Wolfram Mathematica) (p-value>0.05)	0.9504	0.8854
Modelo válido	Sí	Sí

Fuente: Autor, 2020

En la figura 3.24 se muestra gráficamente el índice de estacionalidad mensual, este indica los promedios porcentuales anuales del consumo del MOP, cuyos valores son diferentes del 100%, por tanto, se puede concluir que la serie no presenta un componente estacional.

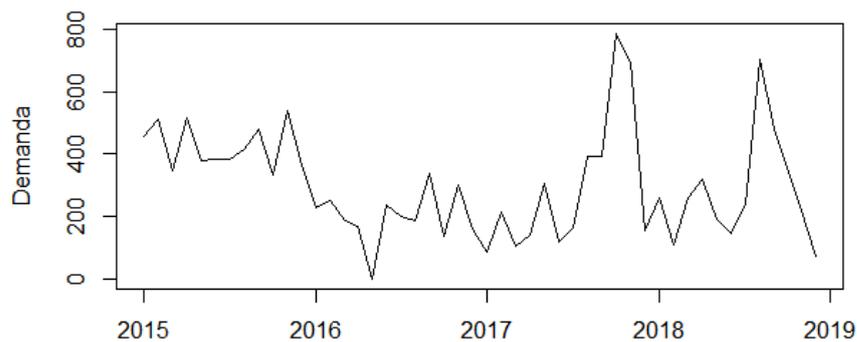
Figura 3.24 Estacionalidad demanda MOP – Milagro



Fuente: Autor, 2020

Finalmente, se analiza el comportamiento de la demanda del último ítem tipo “A”, el nitrato de amonio. En la figura 3.25 se muestra que en el año 2017 el consumo de NAM fue mayor en comparación con los años anteriores. Gráficamente no se distingue estacionariedad ni estacionalidad en la demanda.

Figura 3.25 Comportamiento demanda NAM – Milagro



Fuente: Autor, 2020

Los parámetros analizados mediante el comportamiento del consumo se registran en la tabla 3.19, estos son:

- Inicialmente el resultado de la prueba Dickey-Fuller (p-value) en RStudio es mayor a 0.05, por tanto, la serie no es estacionaria y

requiere de diferenciación para convertirla en estacionaria. En Wolfram Mathematica el p-value es menor a 0.05.

- La serie no presenta un patrón cíclico o regular, es decir, no muestra estacionalidad.
- El modelo sugerido a través de RStudio es un ARIMA(1,1,2) y el sugerido en Wolfram Mathematica es un AR(1), el cual es equivalente a un ARIMA(1,0,0).
- El resultado del análisis de los residuales mediante las pruebas Ljung-Box y Shapiro (p-value) es mayor a 0.05, por tanto, ambos modelos se ajustan a la serie de tiempo.

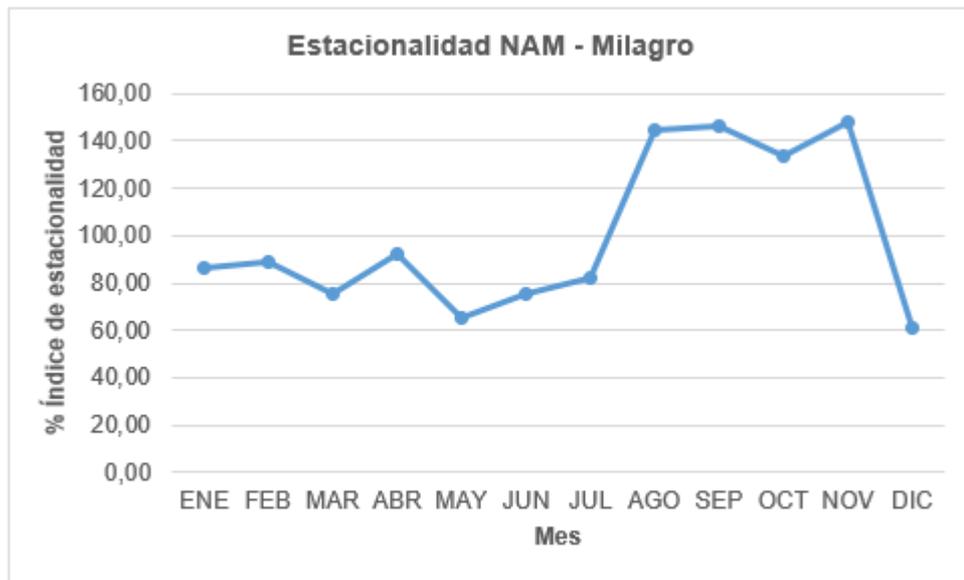
Tabla 3.19 Parámetros demanda NAM – Milagro

FRT NITRATO AMONIO SC (50KG)		
Parámetros	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.06264	0.05057
Diferenciación	Sí	No
Dickey-Fuller (p-value<0.05)	0.01	-
Estacionariedad	Sí	Sí
Estacionalidad	No	No
Modelo sugerido	ARIMA(1,1,2)	AR(1)
Modelo ARIMA/SARIMA	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(1,0,0)
Ljung-Box (Rstudio) Shapiro (Wolfram Mathematica) (p- value>0.05)	0.7128	0.9437
Modelo válido	Sí	Sí

Fuente: Autor, 2020

Para finalizar, en la figura 3.26 se visualiza el índice de estacionalidad mensual del NAM, el cual refleja el promedio porcentual anual en función de los sacos vendidos, cuyos valores no son equivalentes al 100% y por tanto se concluye que la serie no es estacional.

Figura 3.26 Estacionalidad demanda NAM – Milagro



Fuente: Autor, 2020

El análisis efectuado permitirá caracterizar el modelo del proceso de demanda en el mayorista como una intercalación de pedidos por parte del minorista, considerando que el tamaño de cada orden es diferente y que la demanda de los ítems se ajusta a una distribución de probabilidad continua.

3.4.2.2 Pronósticos de la demanda

El pronóstico de la demanda consiste en estimar datos futuros para un período específico con la finalidad de ser una herramienta para obtener un mejor control del inventario, disminuir riesgos e incrementar la coordinación en los procesos para una buena planificación.

Los pronósticos se desarrollan bajo dos enfoques, cualitativo o cuantitativo, el primero se utiliza cuando no existe información suficiente y la estimación se realiza con base en la experiencia e intuición. Por el contrario, si se dispone de datos históricos el enfoque del pronóstico corresponde al cuantitativo, el cual emplea modelos estadísticos y matemáticos para llevar a cabo el análisis.

Un enfoque cuantitativo puede ser determinístico o estocástico. El pronóstico determinístico no considera la incertidumbre presente en los datos, mientras que el estocástico si la considera, por tanto, este modelo facilita un pronóstico más realista.

De acuerdo con el alcance de la presente investigación, se considerará el modelo cuantitativo con enfoque determinístico, puesto que, mediante un modelo matemático o estadístico se analizará la demanda bajo el supuesto de que esta siempre se satisface y se cumplen las condiciones relacionadas con la misma.

Una vez analizado el comportamiento de la demanda en el apartado anterior, se pudo identificar que la mayoría de las series de tiempo son estacionarias pero no estacionales, por ello, se utilizó tanto el software estadístico RStudio como el programa Wolfram Mathematica para determinar los modelos que se ajusten a las series y que permitan obtener una predicción de la demanda lo más certera posible.

Con base en las ventas netas registradas durante el período 2015 – 2018 y luego de ejecutar el análisis de los residuales (Ljung-Box, Shapiro Wilk) para la determinación del ajuste de los modelos con las series de tiempo, se presenta a continuación para cada mayorista el pronóstico de la demanda del año 2019 para los ítems categoría “A”, cuyos resultados serán comparados con las ventas netas de ese mismo año para elegir el modelo de pronóstico más apropiado.

Mayorista 1 – Km 5.5

Los ítems categoría “A” para este mayorista son: Urea, muriato, dap y potasio. La tabla 3.20 muestra el pronóstico para la urea, donde se observa que la predicción obtenida a través del RStudio tiende a ser constante a diferencia de la proporcionada por Wolfram Mathematica, por tanto, se selecciona el pronóstico de esta última herramienta por ser el que más se aproxima a la demanda real del 2019.

Tabla 3.20 Pronóstico Urea – Km 5.5

MES	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica	Demanda 2019
ENERO	697	891	1227
FEBRERO	841	1690	638
MARZO	553	814	571
ABRIL	641	311	1095
MAYO	620	876	459
JUNIO	625	526	944
JULIO	624	1069	868
AGOSTO	624	1787	1296
SEPTIEMBRE	624	1535	1375
OCTUBRE	624	1221	1303
NOVIEMBRE	624	1437	849
DICIEMBRE	624	785	153

Fuente: Autor, 2020

El pronóstico de la demanda para el muriato de potasio granulado se muestra en la tabla 3.21. Para este ítem el pronóstico que se asemeja a la demanda real del 2019 corresponde al proporcionado por RStudio.

Tabla 3.21 Pronóstico MOP – Km 5.5

MES	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica	Demanda 2019
ENERO	1	1079	72
FEBRERO	116	2154	12
MARZO	57	481	13
ABRIL	59	345	185
MAYO	164	665	215
JUNIO	196	312	370
JULIO	204	782	208
AGOSTO	235	582	515
SEPTIEMBRE	223	561	19
OCTUBRE	275	615	18
NOVIEMBRE	290	714	118
DICIEMBRE	312	234	10

Fuente: Autor, 2020

La tabla 3.22 detalla la predicción del dap, en esta se observa que el pronóstico suministrado por RStudio tiende a ser constante. Por ello, se selecciona el resultado obtenido en Wolfram Mathematica, el cual se aproxima a la demanda real.

Tabla 3.22 Pronóstico DAP – Km 5.5

MES	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica	Demanda 2019
ENERO	249	1127	454
FEBRERO	329	399	54
MARZO	219	482	38
ABRIL	219	156	225
MAYO	219	282	164
JUNIO	219	200	343
JULIO	219	511	9
AGOSTO	219	68	92
SEPTIEMBRE	219	209	18
OCTUBRE	219	193	31
NOVIEMBRE	219	259	34
DICIEMBRE	219	230	29

Fuente: Autor, 2020

El pronóstico de la demanda del sulfato de amonio granulado se muestra en la tabla 3.23, al igual que en el ítem anterior, la predicción obtenida en RStudio tiende a ser constante, por ello, se selecciona el pronóstico de Wolfram Mathematica.

Tabla 3.23 Pronóstico SAM – Km 5.5

MES	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica	Demanda 2019
ENERO	20	147	272
FEBRERO	20	220	8
MARZO	20	69	4
ABRIL	20	126	22
MAYO	20	39	37
JUNIO	20	125	131
JULIO	20	163	376
AGOSTO	20	105	555
SEPTIEMBRE	20	47	23
OCTUBRE	20	87	31
NOVIEMBRE	20	159	117
DICIEMBRE	20	41	35

Fuente: Autor, 2020

Mayorista 2 - Daule

Los ítems analizados para el mayorista Daule son la urea y el sulfato de amonio granulado. La tabla 3.24 muestra el pronóstico de la demanda para la urea, donde se observa que la predicción obtenida en Wolfram Mathematica es la que más se aproxima a la demanda real del 2019.

Tabla 3.24 Pronóstico Urea – Daule

MES	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica	Demanda 2019
ENERO	87	339	830
FEBRERO	226	356	259
MARZO	267	104	204
ABRIL	401	169	384
MAYO	600	312	487
JUNIO	561	294	364
JULIO	432	556	606
AGOSTO	441	1196	723
SEPTIEMBRE	475	1101	644
OCTUBRE	312	1246	1154
NOVIEMBRE	517	969	355
DICIEMBRE	337	163	339

Fuente: Autor, 2020

El pronóstico de la demanda para el sulfato de amonio granulado se muestra en la tabla 3.25, para este ítem se observa que la predicción de RStudio tiende a ser constante. Por tanto, se selecciona la predicción de Wolfram Mathematica.

Tabla 3.25 Pronóstico SAM – Daule

MES	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica	Demanda 2019
ENERO	243	502	115
FEBRERO	296	700	59
MARZO	310	497	288
ABRIL	314	309	101
MAYO	315	618	143
JUNIO	315	475	201
JULIO	315	152	120
AGOSTO	315	271	133
SEPTIEMBRE	315	849	903
OCTUBRE	315	359	361
NOVIEMBRE	315	591	163
DICIEMBRE	315	130	380

Fuente: Autor, 2020

Mayorista 3 – Milagro

Los ítems por evaluar para este mayorista son: urea, sulfato de amonio granulado, muriato de potasio granulado y nitrato de amonio. La tabla 3.26 detalla el pronóstico para la urea, donde se selecciona el proporcionado por RStudio por ser el que más se aproxima a la demanda real del 2019.

Tabla 3.26 Pronóstico Urea – Milagro

MES	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica	Demanda 2019
ENERO	185	2580	833
FEBRERO	911	650	185
MARZO	1752	209	207
ABRIL	915	129	658
MAYO	1120	856	790
JUNIO	990	266	752
JULIO	885	2585	580
AGOSTO	1094	3559	829
SEPTIEMBRE	354	4770	1239
OCTUBRE	569	3112	1156
NOVIEMBRE	402	1539	2202
DICIEMBRE	173	1055	1179

Fuente: Autor, 2020

El pronóstico de la demanda para el muriato de potasio granulado se observa en la tabla 3.27. Para este ítem, el pronóstico seleccionado corresponde al suministrado por RStudio, cuyos resultados se aproximan a la demanda real.

Tabla 3.27 Pronóstico MOP – Milagro

MES	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica	Demanda 2019
ENERO	1092	1997	553
FEBRERO	1092	3091	534
MARZO	1062	1899	449
ABRIL	1206	1913	641
MAYO	1296	2242	841
JUNIO	812	1545	885
JULIO	774	3352	616
AGOSTO	1547	2423	1922
SEPTIEMBRE	1097	2687	1349
OCTUBRE	1432	1499	1839
NOVIEMBRE	1040	1140	1660
DICIEMBRE	774	655	1881

Fuente: Autor, 2020

La tabla 3.28 detalla el pronóstico de la demanda para el nitrato de amonio, para este ítem se observa que la predicción obtenida en RStudio tiende a ser constante. Por tanto, se selecciona el pronóstico obtenido a través de Wolfram Mathematica, siendo este el que más se asemeja a la demanda real.

Tabla 3.28 Pronóstico NAM – Km 5.5

MES	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica	Demanda 2019
ENERO	248	512	106
FEBRERO	288	346	165
MARZO	268	515	26
ABRIL	278	378	157
MAYO	273	382	254
JUNIO	276	383	491
JULIO	274	418	717
AGOSTO	275	481	818
SEPTIEMBRE	275	332	943
OCTUBRE	275	542	870
NOVIEMBRE	275	368	701
DICIEMBRE	275	229	953

Fuente: Autor, 2020

El pronóstico de la demanda para el sulfato de amonio granulado se refleja en la tabla 3.29, aquí se observa que la predicción obtenida en Wolfram Mathematica es la que más se aproxima a la demanda real del 2019, por ello, se selecciona esta predicción.

Tabla 3.29 Pronóstico SAM – Milagro

MES	Resultados RStudio	Resultados Wolfram Mathematica	Demanda 2019
ENERO	68	357	44
FEBRERO	66	466	151
MARZO	485	458	78
ABRIL	208	564	369
MAYO	212	394	405
JUNIO	119	138	217
JULIO	156	190	390
AGOSTO	138	574	93
SEPTIEMBRE	104	202	577
OCTUBRE	112	258	709
NOVIEMBRE	148	181	589
DICIEMBRE	143	76	377

Fuente: Autor, 2020

En resumen, la mayoría de los pronósticos que tienden a ser constantes fueron proporcionados por la herramienta RStudio, escenario que se aleja de la realidad de la empresa con respecto a la demanda, ya que esta es sumamente variable para cada ítem y para cada mayorista debido a que la tendencia de consumo de cada uno de ellos no presenta un patrón totalmente definido. Esto se debe a diversos factores externos que alteran el comportamiento de la demanda, a continuación, se detallan algunos:

- Circunstancias climáticas (estaciones o fenómenos).
- Tipos de cultivo y de suelos.
- Promociones y ofertas según la temporada.
- Variabilidad en la fidelización de los clientes por la innovación en productos y tecnología agrícola que ofrece la competencia.
- Costos de adquisición de materia prima según el volumen de compra.

Adicional a estos factores, el comportamiento altamente variable del consumo de los ítems se debe a la confiabilidad y certeza de los datos proporcionados por las distintas áreas, ya que algunos de estos aún son

revisados manualmente antes de ingresarlos al sistema y se encuentran expuestos a errores de digitación o de registros incompletos.

Por tanto, durante el desarrollo del modelo matemático en GAMS se utilizará el pronóstico más apropiado para cada ítem en cada mayorista. A continuación, en el siguiente apartado se plantea el modelo en su forma general.

3.5 Ejecución del modelo matemático

Luego de analizar los datos obtenidos mediante la estimación del pronóstico en el apartado anterior, se plantea el modelo matemático en su forma general para maximizar el nivel de servicio mediante un correcto abastecimiento de la demanda. Cabe mencionar que el modelo fue diseñado de acuerdo con las necesidades de la empresa, sujeto a las restricciones de cada mayorista y considerando los conceptos ya existentes sobre políticas de inventario.

Los argumentos empleados para el diseño del modelo corresponden a la capacidad de recepción de cada mayorista, a la demanda del minorista y al stock en cada mes, así, con estos inputs se crea una de política de inventario multinivel de revisión continua con demanda variable. En el siguiente capítulo se muestran los resultados del enfoque comercial y de abastecimiento a través del software matemático Gams. A continuación, se detallan los componentes del modelo planteado.

Índices:

- i: Cross docking (Planta)
- j: Almacenes (Mayoristas)
- k: Ítem
- s: Mes

Escalar:

- p: Probabilidad de venta

Parámetros:

- $Cap_{(j,k,s)}$: Capacidad del almacén j para el ítem k en el mes s.

- $Dem_{(j,k,s)}$: Demanda del almacén j para el ítem k en el mes s.
- $Cost_{(i,j,k,s)}$: Costo del ítem k desde la planta i hacia el almacén j en el mes s.
- $Prec_{(i,j,k,s)}$: Precio del ítem k desde la planta i hacia el almacén j en el mes s.
- $PDem_{(i,j,k,s)}$: Penalización del ítem k desde la planta i hacia el almacén j en el mes s.
- $Vent_{(j,k,s)}$: Venta del ítem k en el almacén j en el mes s.

VARIABLES:

- $Env_{(i,j,k,s)}$: Cantidad a enviar del ítem k desde la planta i hacia el almacén j en el mes s.
- $NEnv_{(i,j,k,s)}$: Cantidad no enviada del ítem k desde la planta i hacia el almacén j en el mes s.
- $Inv_{(j,k,s)}$: Inventario final del ítem k en el almacén j en el mes s.
- $R_{(i,j,k,s)}$: Cantidad del ítem k que no puede ser recibida en el mes s desde la planta i hacia el almacén j porque excede la capacidad de almacenamiento de este.

Modelo matemático:

- 1) Función objetivo: Maximizar las ventas cumpliendo con el abastecimiento de la demanda y el nivel de servicio (ver ecuación 3.1).

$$Max Z = \sum_{i,j,k,s}^{I,J,K,S} (Prec(i, j, k, s) - Cost(i, j, k, s)) * Env(i, j, k, s) - \sum_{i,j,k,s}^{I,J,K,S} PDem * NEnv(i, j, k, s) \quad (3.1)$$

- 2) Restricción de demanda: El abastecimiento del ítem k no puede superar la demanda del almacén j en el mes s (ver ecuación 3.2).

$$\sum_{i=1}^I Env(i, j, k, s) \leq Dem(j, k, s) \quad \forall j \forall k \forall s \quad (3.2)$$

- 3) Restricción de abastecimiento: La cantidad a enviar del ítem k desde la planta i hacia el almacén j en el mes s debe ser mayor o igual a cero (ver ecuación 3.3).

$$\sum_{i=1}^I Env(i, j, k, s) \geq 0 \quad \forall j \forall k \forall s \quad (3.3)$$

- 4) Restricción de stock inicial: El inventario del ítem k en el almacén j para el período inicial (s) igual a uno debe ser igual a la demanda en ese mismo mes (ver ecuación 3.4).

$$Inv(j, k, s) = Dem(j, k, s) \quad \forall j \forall k \forall s = 1 \quad (3.4)$$

- 5) Restricción de inventario: El inventario del ítem k en el almacén j en el período (s) es igual al inventario del período anterior más el abastecimiento del período actual menos la venta en el período actual (ver ecuación 3.5).

$$Inv(j, k, s) = Inv(j, k, s - 1) + \sum_{i=1}^I Env(i, j, k, s) - Vent(j, k, s) \quad \forall i \forall j \forall k \forall s > 1 \quad (3.5)$$

- 6) Restricción de capacidad: El inventario del ítem k en el período s menos la cantidad que no puede ser recibida desde la planta i debe ser menor o igual a la capacidad de almacenamiento del punto de venta j (ver ecuación 3.6).

$$Inv(j, k, s) - \sum_{i=1}^I R(i, j, k, s) \leq Cap(j, k, s) \quad \forall j \forall k \forall s \geq 0 \quad (3.6)$$

- 7) Restricción de inventario disponible: El inventario del ítem k en el período s en el almacén j debe ser mayor o igual a cero (ver ecuación 3.7).

$$Inv(j, k, s) \geq 0 \quad \forall j \forall k \forall s = 0 \quad (3.7)$$

- 8) Restricción sin faltante: No se considera abastecimiento faltante del ítem k para el período inicial (s) igual a uno en el almacén j (ver ecuación 3.8).

$$NEnv(j, k, s) = 0 \quad \forall j \forall k \forall s = 0 \quad (3.8)$$

- 9) Restricción de stock pendiente: El abastecimiento faltante del ítem k en el almacén j para el primer período s debe ser igual a la demanda del período actual menos el abastecimiento en el período actual (ver ecuación 3.9).

$$NEnv(i, j, k, s) = Dem(j, k, s) - Env(j, k, s) \quad \forall i \forall j \forall k \forall s > 0 \quad (3.9)$$

- 10) Restricción de tipo de variables: Las cantidades enviadas, faltantes y de inventario corresponden a unidades enteras (ver ecuación 3.10).

$$Env(i, j, k, s), NEnv(i, j, k, s), Inv(j, k, s), R(i, j, k, s) \in \mathbb{N} \quad \forall i \forall j \forall k \forall s \quad (3.10)$$

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos mediante la programación del modelo matemático expuesto en el capítulo anterior. La herramienta empleada para este análisis fue GAMS (General Algebraic Modeling System), el primer sistema de modelización algebraica para resolver problemas de optimización. En el anexo B se detalla la programación del modelo.

Actualmente, el proceso de abastecimiento desde la planta hacia los mayoristas se ejecuta mediante la revisión del consumo de los minoristas por medio del ERP para crear los pedidos de manera empírica, lo ideal sería poder determinar de forma automática las cantidades óptimas a solicitar y cuándo solicitarlas.

El modelo matemático permitirá brindar el mejor nivel de servicio al cliente sin afectar el recurso de la empresa sino más bien maximizando las ventas netas de esta. Cumpliendo con las restricciones estructurales del modelo, el software empleado proyecta los resultados que se detallarán a continuación.

4.1 Resultado de la función objetivo

La función objetivo del modelo permite maximizar las ventas netas anuales en función del pronóstico de la demanda para el período 2019, cuyo valor esperado es de \$657.565,69 según el resultado proporcionada por GAMS.

4.2 Resultados de las variables de decisión

Los resultados de las variables de decisión Env (cantidad a enviar por abastecimiento), NEnv (cantidad no enviada por abastecimiento, es decir, faltante), Inv (inventario final luego de ser abastecido) y R (cantidad que podría o no recibir el almacén por falta de capacidad) se detallan a continuación para cada mayorista y para cada ítem categoría "A".

Mayorista 1 – Km 5.5

Las tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 detallan para los ítems urea, muriato de potasio granulado, sulfato de amonio granulado y dap del mayorista Km 5.5, las cantidades a enviar por abastecimiento (variable de decisión Env), las cantidades no enviadas por abastecimiento, es decir faltantes (variable de decisión NEnv), el inventario final luego de ser abastecido el almacén (variable de decisión Inv) y la cantidad que puede ser recibida (valores positivos) o no (valores negativos) por el almacén por su restricción de capacidad (variable de decisión R).

Esta última puede considerarse como una estrategia para analizar el tamaño del pedido y la posibilidad de aumentar la capacidad de almacenamiento de los puntos de venta. Los resultados presentados en las tablas señaladas indican la cantidad de pedido que debe ser enviado desde la planta hacia el mayorista para poder satisfacer la demanda pronosticada de los minoristas y de los clientes finales, donde se puede visualizar la cantidad óptima que se debe mantener en inventario de cada uno de los ítems categoría “A” en función del almacenamiento y la demanda de los minoristas.

Tabla 4.1 Variables de decisión Urea – Km 5.5

FRT UREA SC (50KG)				
MES	ENV (CANTIDAD A ENVIAR)	NENV (<u>CANTIDAD</u> NO ENVIADA)	INV (STOCK FINAL)	R (CANTIDAD POR RECONSIDERAR)
ENERO	891	0	891	1609
FEBRERO	1690	0	1060	1440
MARZO	814	0	1141	1359
ABRIL	311	0	1173	1328
MAYO	876	0	1260	1240
JUNIO	526	0	1313	1187
JULIO	1069	0	1420	1080
AGOSTO	1787	0	1598	902
SEPTIEMBRE	1535	0	1752	748
OCTUBRE	1221	0	1874	626
NOVIEMBRE	1437	0	2018	482
DICIEMBRE	785	0	2096	404

Fuente: Autor, 2020

Tabla 4.2 Variables de decisión MOP – Km 5.5

FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)				
MES	ENV (CANTIDAD A ENVIAR)	NENV (CANTIDAD NO ENVIADA)	INV (STOCK FINAL)	R (CANTIDAD POR RECONSIDERAR)
ENERO	1	0	1	2499
FEBRERO	116	0	13	2487
MARZO	57	0	18	2482
ABRIL	59	0	24	2476
MAYO	164	0	41	2459
JUNIO	196	0	60	2440
JULIO	204	0	81	2419
AGOSTO	235	0	104	2396
SEPTIEMBRE	223	0	126	2374
OCTUBRE	275	0	154	2346
NOVIEMBRE	290	0	183	2317
DICIEMBRE	312	0	214	2286

Fuente: Autor, 2020

Tabla 4.3 Variables de decisión DAP – Km 5.5

FRT D.A.P. SC (50KG)				
MES	ENV (CANTIDAD A ENVIAR)	NENV (CANTIDAD NO ENVIADA)	INV (STOCK FINAL)	R (CANTIDAD POR RECONSIDERAR)
ENERO	0	0	1127	1373
FEBRERO	0	399	768	1732
MARZO	0	482	334	2166
ABRIL	0	156	194	2306
MAYO	60	222	0	2500
JUNIO	180	20	0	2500
JULIO	460	51	0	2500
AGOSTO	61	7	0	2500
SEPTIEMBRE	188	21	0	2500
OCTUBRE	174	19	0	2500
NOVIEMBRE	233	26	0	2500
DICIEMBRE	207	23	0	2500

Fuente: Autor, 2020

Tabla 4.4 Variables de decisión SAM – Km 5.5

FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)				
MES	ENV (CANTIDAD A ENVIAR)	NENV (CANTIDAD NO ENVIADA)	INV (STOCK FINAL)	R (CANTIDAD POR RECONSIDERAR)
ENERO	0	0	147	2353
FEBRERO	51	169	0	2500
MARZO	62	7	0	2500
ABRIL	113	13	0	2500
MAYO	35	4	0	2500
JUNIO	113	13	0	2500
JULIO	163	0	16	2484
AGOSTO	105	0	27	2473
SEPTIEMBRE	47	0	32	2469
OCTUBRE	87	0	40	2460
NOVIEMBRE	159	0	56	2444
DICIEMBRE	41	0	60	2440

Fuente: Autor, 2020

Mayorista 2 – Daule

Las tablas 4.5 y 4.6 indican para los ítems urea y sulfato de amonio granulado del mayorista Daule, las cantidades a enviar por abastecimiento (variable de decisión Env), las cantidades no enviadas por abastecimiento, es decir faltantes (variable de decisión NEnv), el inventario final luego de ser abastecido el almacén (variable de decisión Inv) y la cantidad que puede ser recibida (valores positivos) o no (valores negativos) por el almacén por su restricción de capacidad (variable de decisión R).

Esta última puede considerarse como una estrategia para analizar el tamaño del pedido y la posibilidad de aumentar la capacidad de almacenamiento de los almacenes.

Los valores reflejados en las tablas detalladas sugieren la cantidad de pedido que debe ser enviado desde la planta hacia el mayorista para poder satisfacer la demanda pronosticada de los minoristas y de los clientes finales, donde se puede visualizar la cantidad óptima que se debe mantener en inventario de cada uno de los ítems categoría “A” en función del almacenamiento y la demanda de los minoristas.

Tabla 4.5 Variables de decisión Urea – Daule

FRT UREA SC (50KG)				
MES	ENV (CANTIDAD A ENVIAR)	NENV (CANTIDAD NO ENVIADA)	INV (STOCK FINAL)	R (CANTIDAD POR RECONSIDERAR)
ENERO	339	0	339	1661
FEBRERO	356	0	375	1625
MARZO	104	0	385	1615
ABRIL	169	0	402	1598
MAYO	312	0	433	1567
JUNIO	294	0	463	1538
JULIO	556	0	518	1482
AGOSTO	1196	0	638	1362
SEPTIEMBRE	1101	0	748	1252
OCTUBRE	1246	0	872	1128
NOVIEMBRE	969	0	969	1031
DICIEMBRE	163	0	986	1014

Fuente: Autor, 2020

Tabla 4.6 Variables de decisión SAM – Daule

FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)				
MES	ENV (CANTIDAD A ENVIAR)	NENV (CANTIDAD NO ENVIADA)	INV (STOCK FINAL)	R (CANTIDAD POR RECONSIDERAR)
ENERO	0	0	502	1498
FEBRERO	128	572	0	2000
MARZO	447	50	0	2000
ABRIL	278	31	0	2000
MAYO	556	62	0	2000
JUNIO	428	48	0	2000
JULIO	137	15	0	2000
AGOSTO	244	27	0	2000
SEPTIEMBRE	764	85	0	2000
OCTUBRE	323	36	0	2000
NOVIEMBRE	532	59	0	2000
DICIEMBRE	117	13	0	2000

Fuente: Autor, 2020

Mayorista 3 – Milagro

Las tablas 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 detallan para los ítems urea, muriato de potasio granulado, sulfato de amonio granulado y nitrato de amonio del mayorista Milagro, las cantidades a enviar por abastecimiento (variable de decisión Env), las cantidades no enviadas por abastecimiento, es decir faltantes (variable de decisión NEnv), el inventario final luego de ser abastecido el almacén (variable de decisión Inv) y la cantidad que puede ser recibida (valores positivos) o no (valores negativos) por el almacén por su restricción de capacidad (variable de decisión R).

Esta última puede considerarse como una estrategia para analizar el tamaño del pedido y la posibilidad de aumentar la capacidad de almacenamiento de los almacenes. Los resultados presentados en las tablas señaladas indican la cantidad de pedido que debe ser enviado desde la planta hacia el mayorista para poder satisfacer la demanda pronosticada de los minoristas y de los clientes finales, donde se puede visualizar la cantidad óptima que se debe mantener en inventario de cada uno de los ítems categoría “A” en función del almacenamiento y la demanda de los minoristas.

Tabla 4.7 Variables de decisión Urea – Milagro

FRT UREA SC (50KG)				
MES	ENV (CANTIDAD A ENVIAR)	NENV (CANTIDAD NO ENVIADA)	INV (STOCK FINAL)	R (CANTIDAD POR RECONSIDERAR)
ENERO	185	0	185	1015
FEBRERO	911	0	276	924
MARZO	1752	0	451	749
ABRIL	915	0	543	657
MAYO	1120	0	655	545
JUNIO	990	0	754	446
JULIO	885	0	842	358
AGOSTO	1094	0	952	248
SEPTIEMBRE	354	0	987	213
OCTUBRE	569	0	1044	156
NOVIEMBRE	402	0	1084	116
DICIEMBRE	173	0	1102	99

Fuente: Autor, 2020

Tabla 4.8 Variables de decisión MOP – Milagro

FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)				
MES	ENV (CANTIDAD A ENVIAR)	NENV (CANTIDAD NO ENVIADA)	INV (STOCK FINAL)	R (CANTIDAD POR RECONSIDERAR)
ENERO	1092	0	1092	108
FEBRERO	1092	0	1201	-1
MARZO	1062	0	1307	-107
ABRIL	1206	0	1428	-228
MAYO	1296	0	1558	-358
JUNIO	812	0	1639	-439
JULIO	774	0	1716	-516
AGOSTO	1547	0	1871	-671
SEPTIEMBRE	1097	0	1981	-781
OCTUBRE	1432	0	2124	-924
NOVIEMBRE	1040	0	2228	-1028
DICIEMBRE	774	0	2305	-1105

Fuente: Autor, 2020

De acuerdo con los resultados presentados para el muriato de potasio, se observa que la variable de decisión R para este ítem en específico sugiere ampliar la capacidad del almacén (valores en negativo) para poder satisfacer la demanda pronosticada de los minoristas y de los clientes finales.

Tabla 4.9 Variables de decisión NAM – Milagro

FRT NITRATO AMONIO SC (50KG)				
MES	ENV (CANTIDAD A ENVIAR)	NENV (CANTIDAD NO ENVIADA)	INV (STOCK FINAL)	R (CANTIDAD POR RECONSIDERAR)
ENERO	512	0	512	688
FEBRERO	346	0	547	653
MARZO	515	0	598	602
ABRIL	378	0	636	564
MAYO	382	0	674	526
JUNIO	383	0	712	488
JULIO	418	0	754	446
AGOSTO	481	0	802	398
SEPTIEMBRE	332	0	836	365
OCTUBRE	542	0	890	310
NOVIEMBRE	368	0	927	274
DICIEMBRE	229	0	949	251

Fuente: Autor, 2020

Tabla 4.10 Variables de decisión SAM – Milagro

FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)				
MES	ENV (CANTIDAD A ENVIAR)	NENV (CANTIDAD NO ENVIADA)	INV (STOCK FINAL)	R (CANTIDAD POR RECONSIDERAR)
ENERO	357	0	357	843
FEBRERO	62	404	0	1200
MARZO	458	0	46	1154
ABRIL	564	0	102	1098
MAYO	394	0	142	1058
JUNIO	138	0	155	1045
JULIO	190	0	174	1026
AGOSTO	574	0	232	968
SEPTIEMBRE	202	0	252	948
OCTUBRE	258	0	278	922
NOVIEMBRE	181	0	296	904
DICIEMBRE	76	0	304	897

Fuente: Autor, 2020

4.3 Análisis comparativo

Luego de mostrar los resultados de la política de inventario multinivel se procede a evaluar la conveniencia de esta, es decir, se realiza una comparación de las ventas netas del 2019 versus las ventas sugeridas por el modelo matemático cumpliendo con el pronóstico de la demanda estimado en el apartado en anterior. De esta forma se valida si la aplicación de la política de inventario multinivel permitirá obtener mayores beneficios para la compañía.

Para llevar a cabo esta comparación se consideró los siguientes inputs:

- Las ventas estimadas o por realizar de acuerdo con el pronóstico del 2019 determinado ya sea en RStudio o Wolfram Mathematica.
- Las ventas netas reales o realizadas durante el período 2019.
- Las ventas del 2019 sugeridas por el modelo matemático cumpliendo con el abastecimiento óptimo del almacén en función de lo propuesto por la política de inventario multinivel (variable Env).

Estos datos permiten determinar si el abastecimiento óptimo de la política de inventarios genera un incremento en las ventas de cada almacén, lo cual se

valida con el porcentaje de variación obtenido mediante la diferencia entre las ventas sugeridas por el modelo y las realizadas durante el período 2019. A continuación, en la tabla 4.11 se detalla la comparación de las ventas para el mayorista Km 5.5.

Tabla 4.11 Comparativo ventas KM 5.5

ÍTEM	Ventas por realizar (pronóstico)	Ventas realizadas (2019)	Ventas sugeridas (modelo matemático)	Diferencia	Variación
FRT UREA SC (50KG)	\$215.266,87	\$179.272,63	\$215.266,87	\$35.994,24	17%
FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)	\$36.537,36	\$30.076,49	\$36.537,36	\$6.460,88	18%
FRT D.A.P. SC (50KG)	\$82.438,13	\$29.862,79	\$31.306,86	\$1.444,07	5%
FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)	\$14.992,85	\$18.187,87	\$19.550,01	\$1.362,15	7%

Fuente: Autor, 2020

Para el mayorista del Km 5.5 se observa una variación positiva, es decir, un incremento en las ventas sugeridas por el modelo matemático versus las ventas reales que se obtuvieron en el 2019.

La tabla 4.12 muestra el análisis comparativo de las ventas para el mayorista de Daule, en este caso se observa que el modelo matemático incrementa favorablemente las ventas para ambos ítems, es decir, se logra cumplir con el abastecimiento óptimo sugerido por la política de inventario teniendo en cuenta la capacidad de almacenamiento del mayorista.

Tabla 4.12 Comparativo ventas Daule

ÍTEM	Ventas por realizar (pronóstico)	Ventas realizadas (2019)	Ventas sugeridas (modelo matemático)	Diferencia	Variación
FRT UREA SC (50KG)	\$ 112.943,27	\$ 105.374,99	\$ 112.943,27	\$ 7.568,28	7%
FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)	\$ 96.502,29	\$ 52.507,30	\$ 69.972,56	\$17.465,27	25%

Fuente: Autor, 2020

A continuación, la tabla 4.13 refleja la comparación de ventas para el mayorista de Milagro.

Tabla 4.13 Comparativo ventas Milagro

ÍTEM	Ventas por realizar (pronóstico)	Ventas realizadas (2019)	Ventas sugeridas (modelo matemático)	Diferencia	Variación
FRT UREA SC (50KG)	\$154.971,58	\$175.855,45	\$ 154.971,58	\$-20.883,87	-13%
FRT MURIATO POT. GN SC (50KG)	\$223.632,39	\$222.719,19	\$ 223.632,39	\$ 913,20	0%
FRT NITRATO AMONIO SC (50KG)	\$ 69.180,39	\$ 87.799,34	\$ 69.180,39	\$-18.618,95	-27%
FRT SULFATO AMONIO GR SC (50KG)	\$ 48.032,10	\$ 49.787,55	\$ 43.007,28	\$ -6.780,27	-16%

Fuente: Autor, 2020

A diferencia de los mayoristas anteriores, para Milagro, no se evidencia un incremento significativo de las ventas, es decir, las ventas sugeridas por el modelo matemático son inferiores a las ventas reales que se obtuvieron durante el período 2019. Esto significa que no se cumple con la restricción de capacidad considerada por la política de inventario, por ende, no se satisface el abastecimiento óptimo del almacén y se genera un aumento en los costos de inventario por exceder la capacidad de almacenamiento del mayorista y no se logra percibir el beneficio de la política de inventario planteada.

CAPÍTULO 5

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una vez analizados los resultados de la propuesta para solucionar la problemática identificada se presentan en este capítulo las conclusiones y recomendaciones sobre el trabajo realizado.

5.1 Conclusiones

El interés de este proyecto fue brindar una propuesta de solución a los niveles de inventario que se distribuyen desde la planta hacia los mayoristas. La recopilación de información permitió identificar los problemas de inventario que se presentan tanto en la planta como en los mayoristas. Para ello, se realizó una clasificación ABC, un análisis de la demanda y el diseño del modelo matemático. Una vez recopilada la información mencionada se puede concluir que:

- El análisis del inventario de los fertilizantes simples a través de la metodología ABC permitió determinar cuáles son los productos con mayor valor monetario del inventario de los mayoristas, lo cual significa que el personal encargado de dicho inventario debe realizar un mayor control de estos ítems para evitar pérdidas de stock por mala rotación, caducidad, obsolescencia, etc.
- Al evaluar el comportamiento de la demanda en sacos de 50 kilogramos durante el período 2015-2018, se evidenció que de acuerdo con el histórico de datos esta varía constantemente.

Bajo este escenario, se aplicó un modelo matemático basado en una política de inventario multinivel, cuyo enfoque contempla una planta o CD, varios mayoristas y un minorista por cada uno. Este modelo proporcionó la cantidad óptima con que se debería abastecer a los mayoristas para satisfacer la demanda esperada. De acuerdo con los resultados del modelo matemático se concluye lo siguiente:

- La aplicación de la política de inventarios planteada tuvo el mayor impacto en el mayorista de Daule y el menor impacto en el mayorista de Milagro.
- El incremento más alto de las ventas cumpliendo con el abastecimiento óptimo de la política de inventario se dio para el sulfato de amonio granulado con un 25% (Daule), y el más bajo para el muriato de potasio granulado con un 0% (Milagro).
- El modelo matemático se ajusta más a la realidad de los almacenes de Daule y Km 5.5, pero no para el de Milagro, lo cual significa que se debe reforzar en la predicción de la demanda o en la capacidad de almacenamiento de este almacén.

En vista que la política de inventario no proporciona una mejora significativa con respecto a las ventas se pueden concluir las siguientes causas:

- El proceso actual de abastecimiento dentro de la compañía no cumple con la restricción de capacidad del almacén expuesta en el modelo matemático, es decir, se genera sobrestock de los ítems.
- La alta variabilidad de la demanda no permite determinar una predicción certera de las ventas.
- El abastecimiento óptimo del modelo no contempla las cantidades a comprar debido al acceso restringido a esta información.
- Los datos empleados se encuentran sesgados por ser manipulados de forma manual antes de ingresarlos al sistema de información de la empresa.

5.2 Recomendaciones

Los mayoristas como principales distribuidores de los minoristas pretenden mantener una ventaja competitiva entre los demás proveedores, para ello, deben mejorar su proceso de abastecimiento con la finalidad de satisfacer las necesidades de los clientes finales. Por tanto, se recomienda lo siguiente:

- Los minoristas deben proporcionar más información con respecto a las demandas para poder desarrollar una mejor predicción de estas.
- La actual política de inventario considera una planta o CD, tres mayoristas y un minorista por cada uno, para proyectos a futuro se

recomienda incrementar la cantidad de mayoristas y minoristas participantes.

- El modelo matemático supone que la planta siempre atenderá la demanda del mayorista, por ello, se sugiere que para futuras actualizaciones de la política se analice el escenario donde la planta no siempre satisfaga la demanda del almacén, así se planteará el manejo de un stock de seguridad para el mayorista.
- La planificación del abastecimiento debe ser en conjunto con el área comercial, de compras y de inventario para una correcta socialización de la información, un mejor análisis de la capacidad de almacenamiento y una predicción más certera de la demanda.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. (18 de febrero de 2013). *UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID*.
Obtenido de UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID:
https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-10-25-Tema_6_EctrGrado.pdf
- Ballou, R. (2004). *Logística Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Educación.
- Betancourt, D. (24 de septiembre de 2017). *Ingenio & Empresa*. Obtenido de Ingenio & Empresa: <https://ingenioempresa.com/modelos-deterministicos-de-inventario/>
- Bijvank, M., Woonghee, H., & Ganesh, J. (2017). *Asymptotic Optimality of Order-Up-To Replenishment Policies for Serial Inventory Systems with Lost Sales*. Calgary: University of Calgary.
- Box, G., & Jenkins, G. (1973). Time Series Analysis. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 15.
- Bulfin, R., & Sipper, D. (1998). *Planeación y control de la producción*. México: McGraw-Hill.
- Calua Saravia, J. A., & Marrufo Bustamante, A. N. (2019). "Ventajas de la Implementación del Control Interno en la Gestión de Inventarios". Cajamarca: UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO.
- Chamorro, J. L., Díaz, J. E., Fuentes, O. D., & Lovo, H. Y. (2018). POLÍTICA DE INVENTARIOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN CADENAS DE SUMINISTRO MULTINIVEL. CASO DE ESTUDIO: UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN FARMACÉUTICA. *Nexo*, 144-156.
- Chase, R., Aquilano, N., & Jacobs, R. (2005). *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva*. México, D.F: McGraw-Hill.
- Clark, A., & Scarf, H. (1960). *Optimal policies for a Multi-Echelon Inventory Problem*. California: STOR.
- Cuellar, L. (31 de mayo de 2020). ARIMA en RStudio/Series de tiempo. Monterrey, Nuevo León, México.
- Cuellar, L. (26 de julio de 2020). SARIMA en RStudio/Arima Estacional. Monterrey, Nuevo León, México.

- De la Fuente, S. (2013). *Series Temporales: Modelo ARIMA*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - Dpto. Organización Empresas y Marketing. (2005). *El diagrama de Pareto*. Vigo: Universidad de Vigo.
- Francisco. (30 de marzo de 2016). *Club Ensayos*. Obtenido de Club Ensayos: <https://www.clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/Modelos-de-Inventario-Multinivel/3268192.html>
- Fresa, X. (23 de octubre de 2014). *Prezi*. Obtenido de Prezi: <https://prezi.com/uqu28gow4wb2/inventarios-de-multinivel/>
- García, H. (03 de septiembre de 2014). *Administración de la producción II*. Torreón, Coahuila, México.
- Gestión de Operaciones. (21 de enero de 2015). *Gestión de operaciones*. Obtenido de Gestión de operaciones: <https://www.gestiondeoperaciones.net/inventarios/clasificacion-de-los-costos-de-inventario/>
- Giraldo, N. (2011). Raíces Unitarias Estacionales y Estacionalidad Estocástica (SARIMA). En U. N. COLOMBIA, *Libro Raíz DVI* (pág. 16). Medellín: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- González, C., & Nieves, J. (2018). *Solución del problema de optimización de inventario de dos escalones con demanda estocástica para una red de distribución de un solo producto*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Iglesias López, A. L. (6 de marzo de 2014). *Logispyme*. Obtenido de <https://logispyme.com/2014/03/06/demanda-independiente-demanda-dependiente/>
- Martinez, V. (06 de febrero de 2018). *Análisis por Series de Tiempo en Excel*. San Miguel Petapa, Guatemala, Guatemala.
- Marulanda, C., Ampudia, D., Navia, N., & Rodriguez, P. (25 de marzo de 2014). *Prezi*. Obtenido de Prezi: <https://prezi.com/gniis77w2k1i/modelos-de-tamano-de-lote-dinamico/>
- Mendoza Muñoz, H., & Rincón Pin, O. (2012). *DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE INVENTARIO MULTINIVEL PARA UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE*

PRODUCTOS CONGELADOS (PROVEEDOR-CD-CLIENTE). Guayaquil: ESPOL.

Otálora, L., Murillo, L., Camacho, M., Duarte, E., & Ahumada, A. (2017). Evaluación de políticas de gestión de inventarios de medicamentos para un sistema multinivel y multiproducto en el Hospital Universitario de La Samaritana (HUS). *Ingeniare*, 93-107.

Pantoja Riveros, K. Y. (31 de octubre de 2017). *Propuesta de un sistema logístico de planificación de inventarios para aprovisionamiento de una Empresa Comercial Agropecuaria*. Obtenido de Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3422?show=full>

Rodríguez Montenegro, B. L. (2011). *Sistemas y Modelos de Inventario*. Bogotá: UMB Virtual.

Salas Navarro, K., Miguél Mejía, H., & Acevedo Chedid, J. (2017). Metodología de Gestión de Inventarios para determinar los niveles de integración y colaboración en una cadena de suministro. *Ingeniare*, 326-337.

Sepúlveda, J. (marzo de 2016). *NG LOGÍSTICA*. Obtenido de NG LOGÍSTICA: <http://www.emb.cl/negociosglobales/articulo.mvc?xid=2476&ni=gestion-de-inventarios-multiescalon-o-multinivel>

Trujillo Coloma, L. A. (2006). *"Diseño de un Sistema de Control y Gestión del Inventario de Producto Terminado para una Empresa Productora de Fertilizantes Simples y Compuestos"*. Guayaquil: ESPOL.

UNIVERSITAT DE BARCELONA. (24 de marzo de 2005). Obtenido de UNIVERSITAT DE BARCELONA: http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap8-4.htm#:~:text=%C3%8DNDICE%20DE%20VARIACI%C3%93N%20ESTACIONAL&text=Las%20series%20observadas%20con%20periodicidad,es%20necesario%20separar%20estas%20variaciones.

APÉNDICES

ANEXO A

Ventas netas de los mayoristas

Km 5.5 (Ventas netas/sacos)													
UREA SC (50KG)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2015	1.853	890	1.689	813	311	876	525	1.069	1.787	1.534	1.221	1.436
	2016	785	705	961	132	77	1	0	311	516	451	183	549
	2017	1.165	230	717	724	250	233	260	289	184	846	907	651
	2018	901	667	607	674	532	570	571	222	598	362	805	814
	2019	1.227	638	571	1.095	459	944	868	1.296	1.375	1.303	849	153
MURIATO POT. GN SC (50KG)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2015	2.005	1.078	2.154	481	345	664	312	782	581	561	615	713
	2016	234	297	1.824	133	69	146	21	202	256	44	14	209
	2017	1.378	179	180	46	155	101	15	75	10	484	332	212
	2018	357	27	294	353	55	9	49	5	115	1	14	2
	2019	72	12	13	185	215	370	208	515	19	18	118	10
D.A.P. SC (50KG)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2015	941	1.127	399	482	156	281	200	510	67	209	193	258
	2016	230	339	112	72	8	13	64	74	57	164	165	124
	2017	256	189	206	63	81	43	69	454	109	619	207	27
	2018	71	28	254	338	21	184	22	151	44	44	77	296
	2019	454	54	38	225	164	343	9	92	18	31	34	29
SULFATO AMONIO GR SC(50KG)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2015	151	146	219	68	125	39	124	162	105	47	86	159
	2016	41	82	24	3	4	7	24	5	110	47	85	161
	2017	100	50	117	32	114	19	32	4	23	149	0	2
	2018	0	3	134	2	178	13	19	2	7	15	12	11
	2019	272	8	4	22	37	131	376	555	23	31	117	35

Daule (Ventas netas/sacos)													
UREA SC (50KG)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2015	562	338	355	104	168	312	294	556	1.195	1.100	1.245	968
	2016	163	212	318	29	119	67	52	367	855	1.026	1.114	622
	2017	429	144	56	80	58	190	160	254	134	569	809	785
	2018	331	219	378	313	903	786	405	431	532	49	656	124
	2019	830	259	204	384	487	364	606	723	644	1.154	355	339
SULFATO AMONIO GR SC(50KG)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2015	656	502	699	497	309	618	474	151	271	848	358	591
	2016	130	230	108	132	52	230	0	0	285	893	316	368
	2017	447	247	298	294	247	388	233	426	740	254	0	0
	2018	0	186	668	189	630	143	119	139	231	244	219	48
	2019	115	59	288	101	143	201	120	133	903	361	163	380

Milagro (Ventas netas/sacos)													
UREA SC (50KG)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2015	1.912	2.579	650	208	128	856	265	2.585	3.559	4.770	3.111	1.539
	2016	1.055	1.888	232	72	15	0	121	1.823	1.605	2.503	1.261	653
	2017	958	827	452	147	110	64	47	512	322	800	644	620
	2018	743	924	1.654	723	841	798	543	686	184	494	482	266
	2019	833	185	207	658	790	752	580	829	1.239	1.156	2.202	1.179
MURIATO POT. GN SC (50KG)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2015	2.265	1.997	3.090	1.898	1.912	2.241	1.545	3.352	2.423	2.687	1.498	1.140
	2016	655	502	1.386	472	223	645	465	1.660	1.308	1.099	412	632
	2017	715	719	590	583	495	782	366	791	578	1.105	584	533
	2018	1.022	1.023	979	1.189	1.320	613	557	1.688	1.030	1.520	947	558
	2019	553	534	449	641	841	885	616	1.922	1.349	1.839	1.660	1.881
NITRATO AMONIO SC (50KG)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2015	456	511	346	515	377	382	383	417	481	332	542	368
	2016	229	249	187	167	0	236	200	186	337	137	303	159
	2017	85	214	103	142	308	117	162	395	392	787	696	153
	2018	261	107	259	320	192	146	236	706	478	342	217	74
	2019	106	165	26	157	254	491	717	818	943	870	701	953
SULFATO AMONIO GR SC(50KG)	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2015	202	356	466	458	563	393	138	190	574	201	257	181
	2016	76	80	224	91	133	253	43	30	562	205	130	111
	2017	80	58	119	239	210	161	83	202	232	264	6	0
	2018	0	5	695	358	348	101	147	202	43	138	77	60
	2019	44	151	78	369	405	217	390	93	577	709	589	377

ANEXO B

Comandos para GAMS

```

Set
i Planta /CEDIS/
j Almacenes /DAULE,MILAGRO,KM55W/
k Items/1*6/
s Mes/1*12/

Scalar p Probabilidad de Venta/0.90/
Table
Cap(j,k,s) Capacidad del Almacen j del Item k en la semana s
      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10     11     12
DAULE.1 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000
DAULE.2 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000
DAULE.3 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000
DAULE.4 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000
DAULE.5 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000
DAULE.6 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000
MILAGRO.1 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200
MILAGRO.2 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200
MILAGRO.3 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200
MILAGRO.4 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200
MILAGRO.5 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200
MILAGRO.6 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200
KM55W.1 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500
KM55W.2 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500
KM55W.3 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500
KM55W.4 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500
KM55W.5 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500
KM55W.6 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500 2500
;

```

```

Table
Dem(j,k,s) Demanda del Almacen j del Item k en la semana s
      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10     11     12
DAULE.1 830 259 204 384 487 364 606 723 644 1154 355 339
DAULE.2 115 59 288 101 143 201 120 133 903 361 163 380
DAULE.3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
DAULE.4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
DAULE.5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
DAULE.6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
MILAGRO.1 833 185 207 658 790 752 580 829 1239 1156 2202 1179
MILAGRO.2 44 151 78 369 405 217 390 93 577 709 589 377
MILAGRO.3 553 534 449 641 841 885 616 1922 1349 1839 1660 1881
MILAGRO.4 106 165 26 157 254 491 717 818 943 870 701 953
MILAGRO.5 44 151 78 369 405 217 390 93 577 709 589 377
MILAGRO.6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
KM55W.1 1227 638 571 1095 459 944 868 1296 1375 1303 849 153
KM55W.2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
KM55W.3 72 12 13 185 215 370 208 515 19 18 118 10
KM55W.4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
KM55W.5 272 8 4 22 37 131 376 555 23 31 117 35
KM55W.6 454 54 38 225 164 343 9 92 18 31 34 29
;

```

```

Table
Dem2(j,k,s) Demanda_del_año_2019_con_pronostico_realizado_a_travez_del_algoritmo_Wolfram
      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10     11     12
DAULE.1 339 356 104 169 312 294 556 1196 1101 1246 969 163
DAULE.2 502 700 497 309 618 475 152 271 849 359 591 130
DAULE.3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
DAULE.4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
DAULE.5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
DAULE.6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
MILAGRO.1 2580 650 209 129 856 266 2585 3559 4770 3112 1539 1055
MILAGRO.2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
MILAGRO.3 1997 3091 1899 1913 2242 1545 3352 2423 2687 1499 1140 655
MILAGRO.4 512 346 515 378 382 383 418 481 332 542 368 229
MILAGRO.5 357 466 458 564 394 138 190 574 202 258 181 76
MILAGRO.6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
KM55W.1 891 1690 814 311 876 526 1069 1787 1535 1221 1437 785
KM55W.2 147 220 69 126 39 125 163 105 47 87 159 41
KM55W.3 1079 2154 481 345 665 312 782 582 561 615 714 234
KM55W.4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
KM55W.5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
KM55W.6 1127 399 482 156 282 200 511 68 209 193 259 230
;

```

Table

Dem3 (j, k, s)	Demanda del año 2019 con pronostico realizado a travez del algoritmo R											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DAULE.1	87	226	267	401	600	561	432	441	475	312	517	337
DAULE.2	243	296	310	314	315	315	315	315	315	315	315	315
DAULE.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DAULE.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DAULE.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DAULE.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MILAGRO.1	185	911	1752	915	1120	990	885	1094	354	569	402	173
MILAGRO.2	1092	1092	1062	1206	1296	812	774	1547	1097	1432	1040	774
MILAGRO.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MILAGRO.4	248	288	268	278	273	276	274	275	275	275	275	275
MILAGRO.5	68	66	485	208	212	119	156	138	104	112	148	143
MILAGRO.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KM55W.1	697	841	553	641	620	625	624	624	624	624	624	624
KM55W.2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
KM55W.3	1	116	57	59	164	196	204	235	223	275	290	312
KM55W.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KM55W.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KM55W.6	249	329	219	219	219	219	219	219	219	219	219	219

Table

Dem4 (j, k, s)	Demanda del año 2019 con pronostico realizado a travez del algoritmo R y algoritmo Wolfram											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DAULE.1	339	356	104	169	312	294	556	1196	1101	1246	969	163
DAULE.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DAULE.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DAULE.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DAULE.5	502	700	497	309	618	475	152	271	849	359	591	130
DAULE.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MILAGRO.1	185	911	1752	915	1120	990	885	1094	354	569	402	173
MILAGRO.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MILAGRO.3	1092	1092	1062	1206	1296	812	774	1547	1097	1432	1040	774
MILAGRO.4	512	346	515	378	382	383	418	481	332	542	368	229
MILAGRO.5	357	466	458	564	394	138	190	574	202	258	181	76
MILAGRO.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KM55W.1	891	1690	814	311	876	526	1069	1787	1535	1221	1437	785
KM55W.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KM55W.3	1	116	57	59	164	196	204	235	223	275	290	312
KM55W.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KM55W.5	147	220	69	126	39	125	163	105	47	87	159	41
KM55W.6	1127	399	482	156	282	200	511	68	209	193	259	230

Table

Costo del Almacen j del Item k en la semana s

Cost(1,j,k,s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CEDIS.DAULE.1	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
CEDIS.DAULE.2	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51
CEDIS.DAULE.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.DAULE.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.DAULE.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.DAULE.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.MILAGRO.1	16.57	16.57	16.57	16.57	16.57	16.57	16.57	16.57	16.57	16.57	16.57	16.57
CEDIS.MILAGRO.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.MILAGRO.3	16.91	16.91	16.91	16.91	16.91	16.91	16.91	16.91	16.91	16.91	16.91	16.91
CEDIS.MILAGRO.4	14.16	14.16	14.16	14.16	14.16	14.16	14.16	14.16	14.16	14.16	14.16	14.16
CEDIS.MILAGRO.5	12.45	12.45	12.45	12.45	12.45	12.45	12.45	12.45	12.45	12.45	12.45	12.45
CEDIS.MILAGRO.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.KM55W.1	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63
CEDIS.KM55W.2	11.29	11.29	11.29	11.29	11.29	11.29	11.29	11.29	11.29	11.29	11.29	11.29
CEDIS.KM55W.3	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14	17.14
CEDIS.KM55W.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.KM55W.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.KM55W.6	20.03	20.03	20.03	20.03	20.03	20.03	20.03	20.03	20.03	20.03	20.03	20.03

Table

Prec(i,j,k,s) Precio del item i en el Almacen j del Item k en la semana s

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CEDIS.DAULE.1	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19
CEDIS.DAULE.2	17.70	17.70	17.70	17.70	17.70	17.70	17.70	17.70	17.70	17.70	17.70	17.70
CEDIS.DAULE.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CEDIS.DAULE.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CEDIS.DAULE.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CEDIS.DAULE.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CEDIS.MILAGRO.1	23.29	23.29	23.29	23.29	23.29	23.29	23.29	23.29	23.29	23.29	23.29	23.29
CEDIS.MILAGRO.2	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62
CEDIS.MILAGRO.3	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1
CEDIS.MILAGRO.4	20.95	20.95	20.95	20.95	20.95	20.95	20.95	20.95	20.95	20.95	20.95	20.95
CEDIS.MILAGRO.5	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62	17.62
CEDIS.MILAGRO.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CEDIS.RM55W.1	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19	23.19
CEDIS.RM55W.2	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51
CEDIS.RM55W.3	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
CEDIS.RM55W.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CEDIS.RM55W.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CEDIS.RM55W.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table

PDem(i,j,k,s) Penalizaci3n del item i de la Almacen j del Item k en la semana s

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CEDIS.DAULE.1	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59	6.59
CEDIS.DAULE.2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
CEDIS.DAULE.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.DAULE.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.DAULE.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.DAULE.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.MILAGRO.1	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72
CEDIS.MILAGRO.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.MILAGRO.3	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19
CEDIS.MILAGRO.4	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79
CEDIS.MILAGRO.5	5.17	5.17	5.17	5.17	5.17	5.17	5.17	5.17	5.17	5.17	5.17	5.17
CEDIS.MILAGRO.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.RM55W.1	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55	6.55
CEDIS.RM55W.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.RM55W.3	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86
CEDIS.RM55W.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEDIS.RM55W.5	6.22	6.22	6.22	6.22	6.22	6.22	6.22	6.22	6.22	6.22	6.22	6.22
CEDIS.RM55W.6	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13	12.13

Variables

z

r(i,j,k,s)

Positive Variables

Env(i,j,k,s) Abastecimiento de la Planta i del Almacen j del Item k en la Semana S

NEnv(i,j,k,s) Falta de Abastecimiento de la Planta i del Almacen j del Item k en la Semana S

Inv(j,k,s) Inventario del Item k del Almacen j en la Semana S ;

Equations

fo,r1,r2,r3,r4,r5,r6,r7,r8;

```
fo..z=e*sum((i,j,k,s),(Prec(i,j,k,s)-Cost(i,j,k,s))*Env(i,j,k,s))-sum((i,j,k,s),PDem(i,j,k,s)*NEnv(i,j,k,s))-sum((i,j,k,s),l*r(i,j,k,s));
r1(j,k,s)..sum(i,Env(i,j,k,s))=Dem4(j,k,s);
r2(j,k,s)..sum(i,Env(i,j,k,s))=g=0;
r3(j,k,s)$ (ord(s)=1) ..Inv(j,k,s)=e=Dem4(j,k,s);
r4(j,k,s)$ (ord(s)>1) ..Inv(j,k,s)=e=Inv(j,k,s-1)+sum(i,Env(i,j,k,s))-Dem4(j,k,s)*p ;
r5(i,j,k,s)$ (ord(s)=1) ..NEnv(i,j,k,s)=e=0;
r6(i,j,k,s)$ (ord(s)>1) ..NEnv(i,j,k,s)=e=Dem4(j,k,s)-Env(i,j,k,s);
*x7(j,k,s).. Inv(j,k,s)=l=Cap(j,k,s);
r7(j,k,s).. Inv(j,k,s)-sum(i,r(i,j,k,s))=e=Cap(j,k,s);
r8(j,k,s).. Inv(j,k,s)=g=0;
```

Model Ferpacif/All/

Solve Ferpacif max z using LP

Display z.1,Env.1,NEnv.1,Inv.1,r.1