

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 UN MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR UNA
POLÍTICA DE INVENTARIO DE PRODUCTOS TERMINADOS DE UNA
EMPRESA IMPORTADORA DEL SECTOR DE FERTILIZANTES
AGRÍCOLAS”**

AUTOR:

VENEGAS BARZALLO FAUSTO ENRIQUE

Guayaquil - Ecuador

2022

Resumen

El presente trabajo de investigación aborda la problemática de la gestión del abastecimiento de inventarios para una empresa importadora de fertilizantes agrícolas que realiza su aprovisionamiento de forma empírica. Se realizó una clasificación ABC de sus inventarios para definir los productos de mayor importancia para el estudio para los cuales se desarrolló un modelo matemático de programación lineal que mejor se ajuste a las necesidades de la empresa y a través de éste se pueda obtener la solución óptima. Obteniendo una política de inventarios para cada uno de los productos de relevancia donde se obtuvo respuestas a las preguntas de en qué período realizar los pedidos y en qué cantidades comprar asegurando el abastecimiento en el horizonte de planeación. Finalmente, al comparar los costos totales obtenidos de la solución óptima con los de la situación actual se evidenció una disminución importante de los costos de pedidos y mantenimiento de inventario cubriendo en su totalidad la demanda proyectada.

Palabras clave: abastecimiento, fertilizantes agrícolas, clasificación ABC, modelo matemático, política de inventarios

ABSTRACT

This research work addresses the problem of inventory supply management for an agricultural fertilizer importing company that carries out its supply in an empirical way. An ABC classification of its inventories was carried out to define the most important products for the study, for which a mathematical model of linear programming was developed that best fits the needs of the company and through which the optimal solution can be obtained. Obtaining an inventory policy for each of the products of relevance where answers were obtained to the questions of in what period to place orders and in what quantities to buy, ensuring the supply in the planning horizon. Finally, when comparing the total costs obtained from the optimal solution with those of the current situation, a significant decrease in the costs of orders and inventory maintenance was evidenced, covering the projected demand in its entirety.

Keywords: sourcing, agricultural fertilizers, ABC classification, mathematical model, inventory policy

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi esposa Yuliana por apoyarme en todo momento en esta etapa de mi desarrollo profesional, a mis hijos: Valeria, Joaquín, Julián y Pablo que son el motor de mi vida, por ustedes todos los esfuerzos valen la pena.

A mi tía Martha, que me formó con amor y me enseñó los valores que me han acompañado a lo largo de mi vida.

Agradecimiento

Agradezco primero a Dios, quien me acompaña en todo momento.

A todos los maestros que han formado parte de mi desarrollo intelectual.

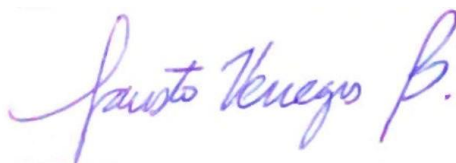
A mis hermanos y primos que con su cariño me han dado la fuerza para salir adelante.

A la empresa donde laboro por permitir y promover mi desarrollo profesional.

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.



Fausto Enrique Venegas Barzallo

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ph.D. Jose Xavier Cabezas García
PRESIDENTE



MSc. Victor Alejandro Vega Chica
TUTOR



MSc. David Antonio De Santis Bermeo
DOCENTE EVALUADOR



MSc. Carlos Alfredo Ronquillo Franco
DOCENTE EVALUADOR

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	II
ABSTRACT	III
Dedicatoria	IV
Agradecimiento.....	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	VII
TABLA DE CONTENIDO	VIII
LISTADO DE FIGURAS.....	X
LISTADO DE TABLAS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Descripción del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Alcance.....	5
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. Estructura de la tesis	6
CAPÍTULO 2.....	8
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Estado del Arte	8
2.2. Marco conceptual	12
2.2.1. Stock.....	12
2.2.2. Demanda	12
2.2.3. Clasificación ABC.....	12
2.2.4. Costos de inventario	13
2.2.5. Pronóstico de la Demanda.....	13
2.2.6. Modelos de Inventarios	14
2.2.7. Modelos determinísticos de inventario	14
CAPÍTULO 3.....	24

3.	METODOLOGÍA	24
3.1.	Planificar	25
3.1.1.	Levantamiento de Información.....	25
3.1.2.	Recopilación de información	25
3.1.3.	Depuración de la data	26
3.2.	Hacer	27
3.2.1.	Clasificación ABC.....	27
3.2.2.	Análisis de tendencia y estacionalidad	29
3.2.3.	Descripción del modelo	39
	CAPÍTULO 4.....	43
4.	RESULTADOS	43
4.1.	Clasificación ABC.	43
4.2.	Aplicación del modelo de matemático de optimización.	43
4.3.	Comparación de la propuesta versus situación actual	50
	CAPÍTULO 5.....	52
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
5.1.	Conclusiones	52
5.2.	Recomendaciones	53
6.	REFERENCIAS	55
7.	ANEXOS.....	56
	ANEXO I: Proyección de ventas año 2022	56
	ANEXO II: Hoja de cálculo de costo de pedido “K”.....	57
	ANEXO III: Hoja de cálculo de costo de mantenimiento “Ch”	58
	ANEXO IV: Programación en GAMS del modelo matemático	60
	ANEXO V: Resultados de optimización del modelo matemático en GAMS	61
	ANEXO VI: Política actual de aprovisionamiento de inventario	62

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1	Proyección de ventas vs venta real en TM año 2021	4
Figura 1.2	Esquema de contenido de los capítulos	7
Figura 3.1	Ciclo de Deming.....	24
Figura 3.2	Clasificación ABC	28
Figura 3.3	Diagrama de Pareto.....	29
Figura 3.4	Ventas UREA PRILADA 50 KG (2017-2021)	30
Figura 3.5	Tendencia y estacionalidad UREA PRILADA 50 KG.....	31
Figura 3.6	Ventas SULFATO DE AMONIO GR 50 KG (2017-2021).....	32
Figura 3.7	Tendencia y estacionalidad SULFATO DE AMONIO 50 KG	32
Figura 3.8	Ventas NITRATO DE AMONIO 50 KG (2017-2021).....	33
Figura 3.9	Tendencia y estacionalidad NITRATO DE AMONIO 50 KG	34
Figura 3.10	Ventas UREA GR 50 KG (2017-2021)	35
Figura 3.11	Tendencia y estacionalidad UREA GRANULAR 50 KG	35
Figura 3.12	Ventas MURIATO DE POTASIO GR ROJO 50 KG (2017-2021)..	36
Figura 3.13	Tendencia y estacionalidad MURIATO DE POTASIO 50 KG	37
Figura 3.14	Ventas DAP 50 KG (2017-2021)	38
Figura 3.15	Tendencia y estacionalidad DAP 50 KG.....	38
Figura 4.1	Inventario y stock de seguridad UREA PRILADA 50 KG.....	44
Figura 4.2	Inventario y stock de seguridad SULFATO DE AMONIO GR 50 KG.	45
Figura 4.3	Inventario y stock de seguridad NITRATO DE AMONIO 50 KG.	46
Figura 4.4	Inventario y stock de seguridad UREA GR 50 KG.....	47
Figura 4.5	Inventario y stock de seguridad MURIATO DE POTASIO GR ROJO 50 KG	48
Figura 4.6	Inventario y stock de seguridad DAP (18-46-0) 50 KG	49
Figura 4.7	Comparativo costo total situación actual vs optimización	51

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1	Variables y parámetros de políticas de inventario	19
Tabla 3.1	Histórico de venta anual en toneladas métricas (TM)	26
Tabla 3.2	Clasificación ABC según ventas históricas en TM	27
Tabla 3.3	Detalle de productos de categoría A.....	30
Tabla 3.4	Definición de parámetro i.....	39
Tabla 3.5	Definición de parámetro j.....	40
Tabla 3.6	Demanda proyectada en TM para el año 2022.....	40
Tabla 3.7	Inventario a cierre de año 2021	41
Tabla 3.8	Stock de seguridad en TM.....	41
Tabla 4.1	Productos categoría “A”, análisis de Pareto.....	43
Tabla 4.2	Resultados optimización UREA PRILADA 50 KG	44
Tabla 4.3	Resultados optimización SULFATO DE AMONIO GR 50 KG	45
Tabla 4.4	Resultados optimización NITRATO DE AMONIO 50 KG	46
Tabla 4.5	Resultados optimización UREA GR 50 KG.....	47
Tabla 4.6	Resultados optimización MURIATO DE POTASIO GR ROJO 50 KG.....	48
Tabla 4.7	Resultados optimización DAP (18-46-0) 50 KG	49
Tabla 4.8	Comparativo por producto situación actual vs optimización	50

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El inventario nace con la aparición de la propiedad privada, surgiendo de la necesidad de encontrar una reserva para el almacenamiento de bienes como alimentos, granos, animales y sus subproductos.

Podemos remontarnos a pueblos de la antigüedad como los egipcios, donde por costumbre almacenaban grandes cantidades de alimentos como una reserva para los tiempos de sequías o de escasez, lo que les permitía asegurar la provisión para la sobrevivencia de la comunidad y el desarrollo cotidiano de sus actividades. Este método de acumulación de alimentos necesarios para sobrevivir en épocas de escasez motivó la existencia de lo que actualmente llamamos inventarios.

Con el paso del tiempo el concepto de inventarios fue evolucionando, y fue adoptado por las empresas comerciales de la actualidad, donde su objetivo principal se basa en la compra y venta de bienes y servicios. De ahí nace la importancia de la gestión del inventario que tiene como principal objetivo proveer a la empresa de los materiales necesarios para su correcta operación que permitan satisfacer una demanda.

El inventario por lo general es uno de los activos más grandes que posee la empresa, son considerados activos tangibles que dispone la empresa para la venta o para ser utilizados en la producción de bienes y servicios previo a su comercialización. Desde el punto de vista financiero mientras menos cantidades de inventario es mejor y desde la visión de producción por lo general creen que mientras más cantidades es mejor. Pero ambas visiones son sesgadas a sus realidades y carecen de sentido de forma individual en el desenvolvimiento de la empresa, de aquí surge la importancia de un correcto manejo de los inventarios que englobe una visión financiera, comercial y operativa para la satisfacción de la demanda de los clientes, asegurando un bien o servicio en la cantidad, calidad y tiempo correcto a un precio justo.

Para toda empresa el manejo del inventario se vuelve un factor clave en su operación, ya que la correcta aplicación brinda un control sobre los productos requeridos y permite asegurar el abastecimiento para la satisfacción de la demanda.

Contar con una política de inventarios disminuye el riesgo de un sobre stock de inventarios, deterioro - obsolescencia, caducidad o quiebres de stock. Estos problemas se ven traducidos en pérdidas económicas para la empresa, así como en la pérdida del nivel de confianza de los clientes al no contar con el producto requerido o en las condiciones óptimas requeridas.

La empresa objeto de estudio es una importadora y comercializadora de fertilizantes agrícolas, cuyo centro de distribución se encuentra en la ciudad de Guayaquil.

Este proyecto se lo desarrolla con el fin diseñar una política de inventarios que garantice la minimización de los costos, basando en el nivel de servicio, el tipo de producto y el comportamiento de la demanda; teniendo en consideración los costos de almacenamiento, pedido y obsolescencia.

1.2. Descripción del problema

La empresa se dedica a la importación, envasado y distribución de fertilizantes para el sector agrícola, con su matriz en la ciudad de Guayaquil desde donde se realiza la distribución a todo el país. Los principales cultivos a los que atiende son banano, arroz, caña de azúcar, maíz, palma africana y cacao principalmente ubicados en la región costa de nuestro país.

Se pueden realizar la categorización de dos importantes familias de productos los cuales los clasificaremos de la siguiente manera:

Producto terminado simple: Materias primas importadas al granel las cuales son envasadas en sacos de 50 Kg.

Producto terminado mezcla: Producto compuesto por la mezcla de varias materias primas importadas al granel envasadas en sacos de 50 Kg.

La empresa realiza su proceso de abastecimiento mediante la importación de diversos países donde son fabricados los fertilizantes, principalmente son de origen europeo y asiático. La modalidad del transporte es marítima en barcos graneleros o en contenedores, por lo que el tránsito puede ser desde 30 hasta 90 días.

Actualmente la empresa objeto del estudio no cuenta con una política definida de inventarios, por lo que realiza pedidos de grandes lotes, tomando en cuenta el tiempo de reposición del inventario.

Por la falta de clasificación de los productos y con el crecimiento del negocio se empieza a padecer de problemas en algunos de sus SKU's de producto terminado, tales como, quiebres de stock, deterioro y sobre stock. Lo que conlleva a pérdidas de ventas, costos de mantenimiento de los inventarios y reducción del nivel de servicio percibido por los clientes.

1.3. Justificación

La empresa realiza su abastecimiento de forma empírica, tratando de cubrir los requerimientos estimados del presupuesto de ventas generados por el área comercial, sin embargo, este método ha causado desorganización en bodega porque se cuenta con mucho stock de inventario que no tiene la debida rotación y en ocasiones ha ocurrido que se agotan las unidades de los productos de alta rotación generando quiebres de stock hasta la llegada del nuevo lote.

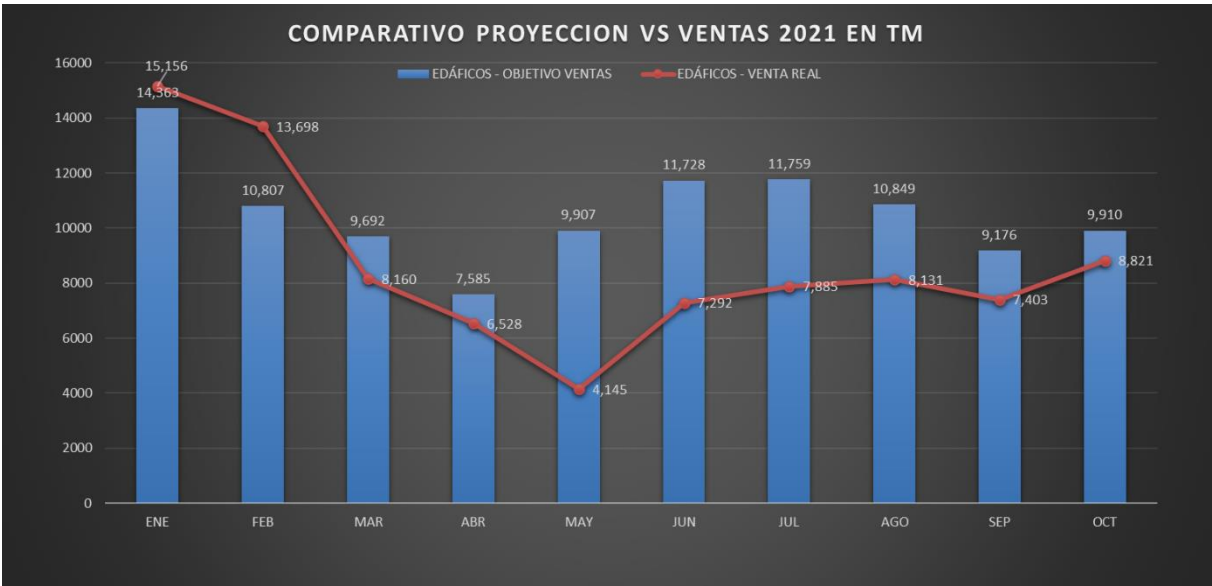
Todas estas desviaciones incrementan los costos de almacenamiento y mantenimiento del inventario, y el nivel de servicio también se ve afectado por la percepción del cliente al no contar con el producto requerido.

Por esto la necesidad de crear una política de inventario que permita la correcta gestión de los productos en cantidades y tiempos adecuados, tratando de minimizar todos los costos relacionados al pedido, mantenimiento y de oportunidad de contar con el inventario el momento requerido.

Esto se refleja en ahorros de recursos económicos para la empresa y en la mejora del nivel de servicio percibido por los clientes. Acompañando al crecimiento de la compañía con una mejora significativa en la gestión de los inventarios siendo este un recurso muy valioso para el negocio.

Para el análisis del impacto de la pérdida de ventas por la falta de disponibilidad de inventario, la gerencia ha entregado la información expuesta en la Figura 1.1 donde se muestra el comportamiento de la venta real desde enero a octubre del año 2021 comparada con el presupuesto de ventas para el mismo período expresado en toneladas métricas.

Figura 1.1 *Proyección de ventas vs venta real en TM año 2021*



Fuente: Información entregada por la empresa

Se estima que, del total de la venta no efectuada hasta el cierre del año 2021, el rubro correspondiente a la variable falta de disponibilidad de inventario sería un aproximado de 15,000 Tm. Que corresponde a un 8% de la proyección de venta anual para el período en mención.

1.4. Alcance

El presente trabajo busca establecer una política de inventario para el centro de distribución ubicado en la ciudad de Guayaquil de una empresa ecuatoriana dedicada a la importación y comercialización de fertilizantes agrícolas.

Para el estudio se consideró el análisis de los diferentes SKU's del centro de distribución para abarcar los productos de mayor importancia por valor y rotación. La empresa cuenta con un centro de distribución con 5,500 m² de bodegas cubiertas y alrededor de 100 SKU's.

Para el análisis de la información requerida para el estudio se contó con una data histórica de 5 años de ventas proporcionada por el departamento de sistemas de la empresa, y la planificación de ventas fue proporcionada por el departamento comercial desde diciembre 2021 hasta diciembre 2022. También se realizará una clasificación de todos los SKU's que maneja el centro de distribución, pero se realizará la selección de una muestra de los productos más significativos (mediante una categorización ABC) para viabilizar la aplicación de las metodologías de políticas de inventario.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar una política de inventario de una empresa importadora de fertilizantes agrícolas, por medio de la aplicación de un modelo matemático que permita determinar la cantidad óptima de reposición en el tiempo oportuno, buscando evitar los quiebres de stock y disminuir los costos de manejo y almacenamiento.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar la información de ventas históricas entregada por la empresa, realizando un análisis para omitir datos atípicos, y así obtener una data ajustada a la realidad del negocio.

- Realizar una clasificación ABC de los productos en base al volumen de ventas para determinar los SKU's prioritarios para la empresa según su movimiento.
- Analizar la planificación de la demanda entregada por parte del área comercial de la empresa para determinar que tipos de modelos de inventario se ajustan mejor a ésta.
- Evaluar la aplicación de las políticas de inventario de revisión periódica y revisión continua considerando una demanda variable a través del tiempo.
- Evaluar la política de inventario más adecuada para cada uno de los SKU's sujetos al estudio.

1.6. Estructura de la tesis

El presente trabajo de tesis se realizó según el esquema representado en la Figura 1.2 donde se divide el proyecto en 5 capítulos con su detalle correspondiente en términos generales.

En capítulo 1 corresponde a la introducción, donde se explican los antecedentes de la empresa, descripción del problema de abastecimiento, justificación del trabajo que se realizó, alcance del proyecto y la definición de objetivos generales y específicos.

El capítulo 2 aborda el marco teórico, en el cual desarrolla el estado del arte del proyecto donde se realiza una investigación de temas relacionados de interés de autoría de expertos en la materia y el marco conceptual que define los conceptos teóricos importantes que aportan al desarrollo de la tesis.

El capítulo 3 indica la metodología, donde se detalla paso a paso el camino a seguir para la ejecución del proyecto para alcanzar los objetivos generales y específicos.

El capítulo 4 corresponde a los resultados obtenidos de la implementación de las mejoras de las mejoras propuestas y la comparación con la situación actual.

El capítulo 5 detalla las conclusiones y recomendaciones que surgen a partir del desarrollo del trabajo de tesis.

Figura 1.2 Esquema de contenido de los capítulos



Fuente: Elaboración del autor

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del Arte

Es común en el medio ecuatoriano que las empresas realicen su planificación de demanda y abastecimiento de inventario de forma empírica mediante la experiencia y expectativas del negocio o de industria a la que pertenecen. Pero esta práctica no es del todo confiable pues está sujeta a errores o sesgos que pueden generar pérdidas económicas debido a ventas perdidas por falta de stock o costos de almacenamiento y mantenimiento del inventario.

Por esta razón y para poder tener más fuentes de información sobre la investigación del diseño de una política de inventario, se consulta con algunos documentos de estudios realizados que brindarán las herramientas teóricas para ahondar en el tema.

Para mantener un saludable control en el manejo de inventarios se requiere la aplicación de metodologías y análisis, que vayan ligados a la importancia económica que aporta a la empresa cada producto almacenado.

La investigación de Parada-Veloz aborda la aplicación de dos métodos que facilitan la toma de decisiones en la gestión de los inventarios: el método ABC como un control selectivo con un enfoque orientado a criterios importantes para la compañía y la política de inventario Mínimo - Máximo. (Parada Gutierrez & Veloz Navarrete, 2017)

Como resultados de la aplicación de la política de inventario Mínimo - Máximo en su investigación logró disminuir los niveles de inventarios de las materias primas importantes y aumentar los niveles de inventarios de las materias primas propensas a generar costos de ruptura. Así como la aplicación del método ABC facilitó la toma de decisiones gerenciales en las diferentes categorías de interés de la organización.

(Gonzalez, 2020) en su estudio presenta una metodología para la gestión de inventarios, estructurada en cuatro etapas:

La primera etapa identifica y sitúa la estrategia de la empresa, que se enfoca en el nivel de servicio (disponibilidad de inventario) y representa la probabilidad esperada de no tener falta de existencias. El nivel de servicio establecido en el estudio está definido como un porcentaje de entrega de productos al cliente dado por:

$$N_s = \frac{P_F}{P_{NV}} \times 100$$

Donde;

N_s : Porcentaje del Nivel de Servicio.

P_F : Número de SKU, entregado efectivamente al Cliente.

P_{NV} : Número de SKU, comprometidos a entregar al Cliente.

La segunda etapa establece una clasificación de los productos de acuerdo a los criterios concordantes a la estrategia de la empresa en función de la demanda el cual se basa en la cantidad de movimiento (rotación) que presenta el producto. Mediante la clasificación ABC divide todos los SKU's del inventario para llevar un manejo diferente por cada categoría.

Para la tercera etapa realiza un pronóstico de la demanda de cada producto mediante un análisis del comportamiento histórico (12 meses) aplicando los métodos de promedio simple, móvil simple, ponderados móviles, suavizamiento exponencial simple y doble. Procediendo a seleccionar el método que representa de mejor manera la variabilidad de la demanda.

Y la cuarta etapa se orienta a la selección de una política de inventarios, para los productos y define utilizar una política de revisión periódica donde lleva un estricto control para los productos tipo A, para los productos B y C realizarán un control intermedio o menos rígido con una política de revisión continua. (Gonzalez, 2020)

La aplicación de la metodología en el estudio de Gonzalez logra tener impactos positivos en las categorías A y B de productos donde se logra superar el 98% de Nivel de servicio definido. Y al ser una metodología secuencial cualquier impacto en la etapa anterior podría ocasionar un cambio en la etapa siguiente por lo que está sujeto a la mejora continua.

El estudio de (Chamorro Corea, Díaz Camejo, Fuentes Espinoza, & Lovo Gutiérrez, 2018) aborda la evaluación de implementar una la política de inventarios máximos y mínimos en cadenas de suministro multinivel, y la misma que fue evaluada mediante los resultados de los indicadores de nivel de servicio, rotación y días de cobertura del inventario.

Para lo cual desarrolla tres hipótesis a probar sobre la política de inventarios de pedidos estándar máximos y mínimos:

H1: Garantiza un nivel de servicio mínimo del 98%.

H2: Debe cumplir con una cobertura de inventario aproximada de cinco días en las sucursales.

H3: Debe cumplir con una cobertura de inventario aproximada de 27 días en el centro de distribución.

La política de pedidos que se ejemplifica en el estudio, requiere la determinación de cuatro parámetros para su funcionamiento y estos son: inventario de seguridad (1), nivel mínimo de inventario (2), nivel máximo de inventario (3), y punto de pedido de emergencia (4) que son calculados mediante las siguientes fórmulas:

$$SS = Z\sigma\sqrt{R + LT} \quad (1)$$

Donde:

Z = Valor Z de la distribución normal

σ = Desviación estándar de la demanda

R = Período de revisión

LT = Tiempo de entrega

$$s = D (R + LT) + SS \quad (2)$$

$$S = (D \times R) + s \quad (3)$$

$$PPE = D \times LT_{emergencia} \quad (4)$$

Donde:

s = Nivel mínimo

D = Demanda

S = Nivel máximo

PPE = Punto de pedido de emergencia

$LT_{\text{emergencia}}$ = Tiempo de entrega de emergencia

El autor por los resultados obtenidos determina una política estándar de pedidos mínimos y máximos, garantizando un alto nivel de servicio por lo que acepta la primera hipótesis planteada. Pero a su vez genera rechazo de la segunda y tercera hipótesis porque ocasiona altos niveles de inventario y disminuye la rotación.

Por lo que concluye que: “los resultados experimentales derivados de las simulaciones de la política de inventarios demuestran que la solución derivada de la teoría garantiza un alto nivel de servicio, pero presenta oportunidades de mejora en términos de la rotación de inventarios”. (Chamorro Corea, Díaz Camejo, Fuentes Espinoza, & Lovo Gutiérrez, 2018)

El artículo “Modelo de gestión y control de inventarios para la determinación de los niveles óptimos en la cadena de suministros” nos muestra un modelo de gestión de inventarios para lograr determinar los niveles óptimos en una cadena de suministros, mediante la clasificación del inventario con un sistema ABC considerando como parámetro diferenciador el nivel de ventas de cada producto; clasificando los productos de mayor rotación para poder identificar cada tipo de demanda. Mediante la aplicación de un modelo de revisión periódica con demanda dinámica se pudo obtener la cantidad óptima de pedido, el stock de seguridad, punto de reorden y costos totales de la aplicación del modelo. Para el control y seguimiento se desarrolló una serie de indicadores para medir el desempeño del modelo. (Juca, Narváez, Erazo, & Luna, 2019)

Como conclusión de las referencias consultadas es que la aplicación de modelos de gestión y políticas de inventario constituyen herramientas imprescindibles para la eficiente administración de una empresa, considerando que los inventarios representan un activo de suma importancia en toda organización.

2.2. Marco conceptual

Para el desarrollo del proyecto abordaremos los conceptos teóricos para esta sección:

2.2.1. Stock

Se puede denominar a las mercancías que se tienen en un depósito, o también se puede definir al stock como un conjunto de recursos útiles que están a la espera de una demanda para su uso

2.2.2. Demanda

La demanda es la cantidad de productos que pueden ser consumidos en un período de tiempo y pueden ser determinista o probabilista.

- **Demanda determinista:** Es aquella que en cada período de tiempo es conocida con exactitud. Si en todos los periodos de tiempo la cantidad demandada es siempre la misma se la denomina estática y si cambia de un periodo a otro se la denomina dinámica.
- **Demanda probabilística:** Es aquella que en cada período de tiempo es considerada desconocida, pero puede ser expresada por medio de una distribución de probabilidad. De igual manera puede ser estática si en todos los periodos de tiempo tiene la misma distribución de probabilidad y puede ser dinámica si cambia de un período a otro su distribución de probabilidad.

2.2.3. Clasificación ABC

El método ABC es una técnica básica cuyo objetivo es clasificar el inventario en 3 grupos, partiendo del principio que una cantidad relativamente pequeña del inventario puede representar un importante valor en términos monetarios y de rotación de inventarios. (Ross, 2010)

Se incluye en el grupo A los artículos que representan un porcentaje pequeño de SKU's 20% pero que a su vez representan al 80% del volumen de ventas.

En el grupo B están los SKU's de mediana importancia que pueden representar un 30% del inventario pero que representan un 15% del volumen de ventas.

Y por último el grupo C que es donde se están los SKU's menos importantes que pueden representar un 50% de la totalidad de productos pero que solo representan un 5% del volumen de ventas.

Se puede aplicar otras variaciones a la metodología de clasificación de inventarios agregando múltiples criterios, como la clasificación XYZ donde el análisis agrega un cálculo de una desviación estándar de las ventas, clasificándolos por el nivel del coeficiente de variabilidad (Chamorro Corea, Díaz Camejo, Fuentes Espinoza, & Lovo Gutiérrez, 2018)

2.2.4. Costos de inventario

Para el manejo del inventario es necesario tener conocimiento sobre los costos relevantes que influyen en la toma de decisiones para su gestión. Entre los costos principales tenemos:

- Costo de compra: Son los costos asociados a la compra o adquisición de la mercadería.
- Costo de pedido: Son los asociados a la colocación de un pedido.
- Costos de mantenimiento: Son los costos necesarios para la existencia del stock, como por ejemplo financieros, almacenamiento, control, seguros, obsolescencia.
- Costos de ruptura o escasez: Son los que surgen cuando un cliente pide un artículo y no se puede satisfacer su demanda.

2.2.5. Pronóstico de la Demanda

Una pieza fundamental para la ejecución de una correcta política de inventario es poder controlar las cantidades de inventario a pedir, manteniéndolo en un punto de equilibrio que evite excesos y rupturas de stock. Para esto es indispensable conocer la demanda, que es una variable que se encuentra fuera de nuestro control. Para esto fueron diseñadas herramientas para pronosticar la demanda que implica la estimación a futuro de una variable, cuyos modelos más utilizados son: promedio simple, promedio móvil simple, promedio ponderado móvil, regresión lineal, índices de estacionalidad y suavizamiento exponencial simple y doble. (Gonzalez, 2020).

La empresa cuenta con data histórica, pero en base a un análisis interno basado en el crecimiento de la empresa en relación al mercado, la escasez de producto por factores externos, quiebres de stock y las restricciones logísticas resultantes como efectos colaterales de la pandemia del COVID-19; consideran que la información contiene sesgo por las pérdidas de oportunidades de ventas que todos estos factores han ocasionado a la data. Por lo que considera conveniente trabajar con el pronóstico de la demanda proporcionada por el área comercial enfocado al potencial de venta para el año 2022.

2.2.6. Modelos de Inventarios

El manejo del inventario implica generar un almacenamiento para satisfacer las variaciones en la demanda. Mantener un inventario excesivo aumentan los costos de capital y los costos de almacenamiento resultando en una escasez que puede interrumpir las ventas. Por eso se busca determinar una política de inventario que balancee estas situaciones opuestas minimizando los costos, y responda las preguntas ¿Cuánto pedir? Y ¿Cuándo pedir? (Taha, 2012).

Los modelos de inventario se encuentran clasificados generalmente en tres grupos (Gonzalez, 2020):

- Modelos determinísticos, caracterizados porque se fundamentan en las restricciones del modelo de lote económico de compra (EOQ).
- Modelos de demanda conocida, los cuales no tienen variaciones en el tiempo.
- Modelos probabilísticos, los cuales adicionan aleatoriedad a la demanda. Y se clasifican en dependientes e independientes según el tipo de demanda.

2.2.7. Modelos determinísticos de inventario

Para determinar el tamaño del lote existen varios modelos para su cálculo según lo revisado en el artículo *“Betancourt, D. F. (25 de diciembre de 2017). Tamaño del lote: Decisión, métodos (determinísticas variables) y ejemplos”*:

- **Método Lote a Lote (LxL)**

Este método se basa en solicitar exactamente lo que se requiere, con el fin de evitar que los pedidos de un período sean usados en un siguiente. La aplicación de este método logra disminuir significativamente los costos de mantenimiento de inventario.

Se debe considerar un lead time de conocido (1 período) donde el pedido pueda ser suministrado en el momento que sea demandado. Para realizar este método se siguen los siguientes pasos:

Paso 1: En el período 1, se determinan las necesidades netas que se obtienen de la diferencia entre el inventario disponible y las necesidades del período. Lo que implica que para atender estas necesidades debemos solicitar un pedido de igual cantidad.

Paso 2: Desde el período 2 en adelante no contamos con inventario disponible, porque se va a ordenar justo lo que se necesita. Por lo tanto, desde este período las necesidades netas van a ser iguales a las necesidades brutas. Como el tiempo de entrega es de 1 período para tener las unidades que se necesitan antes se debió haber realizado el lanzamiento de la orden.

Paso 3: Se repite el procedimiento con los demás períodos evaluados.

Paso 4: Establecemos los costos de mantener, que resulta de la multiplicación del inventario disponible por el costo unitario de mantener cada unidad. El método de lote a lote reduce a cero el costo de mantener, sin embargo, el costo de ordenar estará presente en cada período.

Paso 5: Determinamos el costo total de inventario resultante de la suma del costo de ordenar más el costo de mantener.

- **Método de Período Constante**

Es un método muy utilizado a nivel de las empresas por la facilidad del cálculo, se basa en un reaprovisionamiento en un período determinado en base a la intuición o experiencia. La determinación del tamaño del pedido va a depender del intervalo de tiempo de revisión, es decir que sumará los requerimientos de demanda del tiempo considerado.

Se considera un reaprovisionamiento de 3 períodos, con un lead time de un período:

Paso 1: Se determinan las necesidades netas del período 1 que resulta de la resta entre las necesidades brutas y el inventario inicial.

Paso 2: Se suman las demandas de los próximos 3 períodos para determinar la cantidad se van a pedir en el período 1.

Paso 3: Calculamos el inventario disponible del período 2 restando la demanda del período 1. Con el pedido solicitado en el período 1 podemos abastecer la demanda.

Paso 4: Nuevamente determinamos el inventario disponible del período 3 repitiendo el cálculo realizado en el paso 3. Como resultado obtenemos que el inventario disponible será igual a las necesidades totales.

Paso 5: Se procede de igual manera con los períodos siguientes (4-5-6). Notando que en el período 3 debe hacerse el pedido que abastezca la demanda de los períodos 4, 5 y 6 con el lead time de 1 período.

Paso 6: Se calcula el costo de inventario total de sumando los costos pedidos y de mantenimiento de inventario.

- **Método EOQ cantidad económica de pedido**

El enfoque del modelo EOQ se encuentra en el cálculo del tamaño del lote, mediante la minimización los costos de mantenimiento del inventario y de la colocación de pedidos a lo largo del tiempo. Se basa en realizar un pedido en el momento exacto cuando se llega a una cantidad determinada de inventario donde se necesita realizar un nuevo pedido. Este cálculo varía según cuál sea la demanda considerada.

- **Método cantidad periódica de pedido (POQ)**

Se puede establecer como una mezcla entre el método EOQ y el método de período constante. Se inicia determinando la cantidad de pedido óptima, para luego hallar la cantidad de pedidos o frecuencia para por último calcular la cantidad períodos a pedir.

- **Método de balance parcial de período (PPB)**

Este método tiene como objetivo realizar un pedido de inventario en base a los requerimientos actuales más los requerimientos futuros proyectados, según lo amerite, para que la diferencia entre el costo de mantenimiento y costo de pedido sea la mínima posible.

Paso 1: Se inicia con el pedido para un solo período. Como lo pedido será consumido en el mismo período no se tiene costo de mantener sino solo el costo de ordenar por lo que la diferencia sería igual al costo de ordenar.

Paso 2: Se considera una orden para el período 1 y 2 con el tamaño del lote e inventario se obtendrá un costo de mantener y un costo de ordenar. Si este es menor al del paso 1 seguimos y preguntamos ¿Pedir para los períodos 1, 2 y 3 será más conveniente?

Paso 3: Adicionamos otro periodo a la orden y calculamos la diferencia entre mantener y ordenar. Si la diferencia es menor que la del paso 2 seguimos agregando períodos. Si la diferencia es mayor nos detenemos y empezamos nuevamente repetimos el procedimiento.

- **Método de mínimo coste unitario (MCU)**

Para el desarrollo de este método se debe considerar evaluar diferentes escenarios de costo promedio por unidad resultante del cálculo de la suma de los costos de mantener y ordenar (costo total), divididos para el tamaño del pedido o lote. Se obtendrá como resultado que para cada escenario se presentará un costo promedio unitario y se seleccionará al escenario que presente el menor valor promedio unitario.

- **Método de algoritmo Silver – Meal**

Este método se basa en calcular inicialmente los costos de almacenamiento y pedido por período, luego agregamos el siguiente período a la evaluación y el costo total resultante lo dividimos para el número de periodos evaluados. Se irá evaluando de forma conjunta hasta encontrar el menor costo total promedio y se reinicia en caso de tener un costo mayor. De esta manera obtendremos la mejor combinación posible.

- **Programación lineal entera mixta**

Este es un modelo que presenta una mayor complejidad por la modelización necesaria, pero es la más eficiente porque realiza un análisis de sensibilidad. Se construye la función objetivo para minimizar los costos de pedido y costos de mantenimiento de inventario, sujeto a restricciones de demanda, balance de inventarios, binarias y de no negatividad.

Entendiendo bien las necesidades de la empresa mediante las entrevistas e información histórica, con sus oportunidades de mejora y proyección de crecimiento se determinó las variables y parámetros descritos en la Tabla 2.1 para poder realizar una modelización matemática que nos permita evaluar las diferentes alternativas a aplicar para el abastecimiento de inventarios para una demanda proyectada en el tiempo.

Tabla 2.1 Variables y parámetros de políticas de inventario

VARIABLES	PARAMETROS
$Q_{(i,j)}$ Cantidad solicitada del producto i en el periodo j	$D_{(i,j)}$ Demanda del producto i en el período j
$S_{(i,j)}$ Inventario del producto i en el período j	$InvIn_i$ Inventario inicial del producto i
$B_{(i,j)}$ Se pide el producto i en el período j	Ch Costo de mantener el inventario
$P_{(i,j)}$ Múltiplo de pedido de producto i en el período j	CAP Capacidad de almacenamiento
	$Leadtime$ Tiempo de entrega del pedido
	$PMin$ Pedido mínimo
	$MultiLote$ Múltiplo de compra

Fuente: Elaboración del autor

Para el desarrollo del modelo se trabajarán con los siguientes supuestos:

- Existe una demanda $D_{(i,j)}$ que es conocida y debe ser satisfecha para cada periodo de tiempo j.
- El $Leadtime$ es determinístico y conocido para cada producto.
- No están permitidos faltantes de inventario o demanda insatisfecha.
- Los pedidos de compra son despachados en su totalidad.
- El costo de mantenimiento de inventario C_h se lo calcula con el inventario final de cada periodo.
- No se considera descuento por cantidad en los pedidos.
- No existe dependencia de ítems para los pedidos.
- Los costos no varían de manera significativa en el tiempo.

Mediante estos supuestos se procede a desarrollar las variables y parámetros definidos anteriormente:

- **Cantidad en TM solicitada del producto i en el período j $Q_{(i,j)}$** : Es la variable que vamos a buscar, corresponde a las cantidades necesarias que se van a solicitar del producto evaluado y en el tiempo requerido para satisfacer la demanda.
- **Inventario inicial en TM del producto i $InvIn_i$** : Para el primer período se consideró como inventario inicial el stock al cierre de año 2021. Para los siguientes períodos se tomará el inventario final pronosticado el cual será expresado como el inventario inicial del período $j + 1$.
- **Inventario en TM del producto i en el período j $S_{(i,j)}$** : Este valor corresponde a el total de unidades que no fueron demandadas en el período j y se mantienen en inventario hasta ser solicitadas. Con este dato se trabaja el costo de mantenimiento calculado por cada vez que el producto se mantuvo en inventario.
- **Demanda en TM del producto i en el período j $D_{(i,j)}$** : Para el análisis se obtuvo el pronóstico de ventas mensualizado para el año 2022 entregadas por el departamento comercial detallado en el Anexo I. Esta información contiene al detalle proyectado de ventas por cada producto.
- **Costo fijo de hacer un pedido K** : El costo es independiente del tamaño del pedido y se incurre cada vez que se genera una orden de pedido. Para el estudio se consideró el cálculo de este costo según el detalle del Anexo II, donde se toman en cuenta los valores como sueldos y salarios de los trabajadores que participan en el proceso de importación, logística y bodega prorrateados según aporte en este proceso.
- **Costo de mantener el inventario Ch** : El costo de mantener el inventario esta expresado en dólares por TM el cual fue determinado mediante el cálculo de los costos inherentes al manejo del inventario en bodega. El detalle se encuentra en el Anexo III.

- **Tiempo de entrega *Leadtime*** : Es el período de tiempo que transcurre desde la colocación del pedido hasta que éste arriba a la bodega. Este tiempo fue determinado en conjunto con el departamento de importaciones evaluando los diferentes proveedores que abastecen el material.
- **Número de períodos *N*** : Corresponde al horizonte del estudio, que para el caso de estudio en análisis será igual al ejercicio del año 2022. Todos los datos serán trabajados de forma mensual.
- **Capacidad de almacenamiento en Tm *CAP*** : Corresponde a la capacidad total de toneladas que puede tener en stock en el centro de distribución. Está expresada en toneladas métricas y corresponde a la suma conjunta de todos los productos a almacenar.
- **Pedido Mínimo *PMin*** : Corresponde a las unidades mínimas que el proveedor requiere para atender un pedido.
- **Múltiplo de Lote *MultLote*** : Es la cantidad que se ha definido como múltiplo de compra por cada lote solicitado.
- **Stock de Seguridad $SS_{(i,j)}$** : Para establecer un parámetro de stock de seguridad se ha definido que se va a trabajar con un valor adicional al *Lead Time* de 5 días de demanda que será calculado en base a la demanda proyectada del período siguiente.

Para poder realizar la resolución del problema mediante programación lineal entera mixta se procede a modelar la realidad mediante las variables y parámetros antes descritos.

Sets:

$i = \text{productos}$

$j = 1,2,3, \dots, N$

$N = \text{Número de períodos considerados en el estudio}$

Parámetros:

K = Costo de realizar un pedido

Ch = Costo por TM de almacenar inventario

$InvIn_i$ = Inventario inicial en TM del producto i en el período $j = 1$

$D_{i,j}$ = Demanda en TM del producto i en el período j

$SS_{i,j}$ = Stock de seguridad en TM del producto i en el período j

CAP = Capacidad total de almacenamiento en TM

M = Número muy grande

$PMin$ = Cantidad mínima de pedido en TM

$Leadtime$ = Tiempo transcurrido desde el pedido hasta la recepción

$MultLote$ = Multiplo de pedido de lote de compra

Variables:

Z = Costo total de la política de inventario

$Q_{i,j}$ = Cantidad en TM ordenada del producto i en el período j

Variables positivas:

$S_{i,j}$ = Inventario final en TM del producto i en el período j

Variables binarias:

$B_{i,j} = \begin{cases} 1; & \text{si se realiza un pedido de producto } i \text{ en el período } j \\ 0; & \text{caso contrario} \end{cases}$

Variables enteras positivas:

$P_{i,j}$ = Unidad de pedido mínimo del producto i en el período j

Función Objetivo:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^N K * B_{i,j} + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^N Ch * S_{i,j} \quad (1.1)$$

Restricciones:

$$S_{i,j} = S_{i,j-1} + Q_{i,j-Leadtime} - D_{i,j} \quad ; \quad \forall i, \forall j > 1 \quad (1.2)$$

$$S_{i,j} = InvIn_i \quad ; \quad \forall i, j = 1 \quad (1.3)$$

$$S_{i,j} \geq SS_{i,j} \quad ; \quad \forall i, \forall j > 1 \quad (1.4)$$

$$Q_{i,j} \geq PMin * B_{i,j} \quad ; \quad \forall i, \forall j > 1 \quad (1.5)$$

$$Q_{i,j} \leq M * B_{i,j} \quad ; \quad \forall i, \forall j \quad (1.6)$$

$$\sum_i^p S_{i,j} \leq CAP \quad ; \quad \forall j \quad (1.7)$$

$$Q_{i,j} = P_{i,j} * MultLote \quad ; \quad \forall i, \forall j \quad (1.8)$$

$$S_{i,j} \geq 0 \quad ; \quad \forall i, \forall j \quad (1.9)$$

$$B_{i,j} \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall i, \forall j \quad (1.10)$$

$$P_{i,j} \in Z^+ \quad ; \quad \forall i, \forall j \quad (1.11)$$

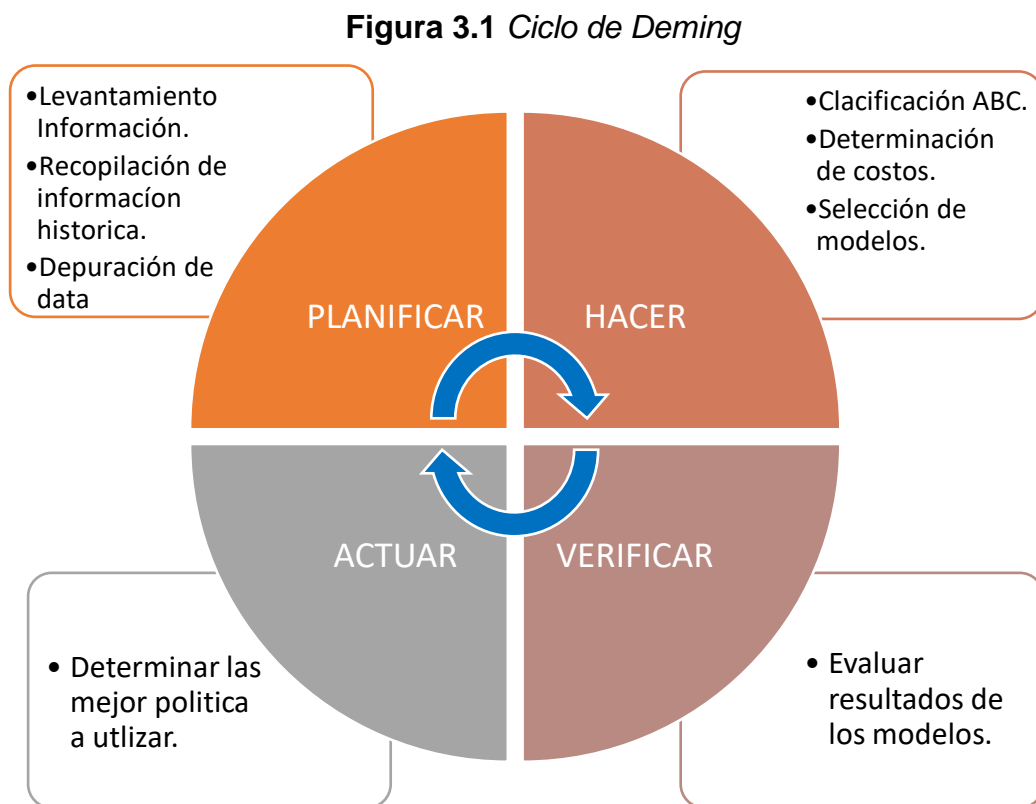
La ecuación (1.1) describe la función objetivo que corresponde a la sumatoria de los costos de realizar un pedido más la sumatoria de los costos de mantener producto en inventario. El modelo está sujeto a las siguientes restricciones: la ecuación (1.2) calcula el flujo de balance de inventario que tiene como resultado el total de unidades a almacenar, la ecuación (1.3) asigna el inventario inicial, la ecuación (1.4) indica que las cantidades de stock deben ser superiores al stock de seguridad, la ecuación (1.5) pone un límite inferior a las unidades a pedir mediante la introducción de la variable binaria, la ecuación (1.6) incorpora al modelo el método de la M grande para la variable binaria, la ecuación (1.7) limita la capacidad de inventario a almacenar por una restricción de espacio físico, la ecuación (1.8) restringe el tamaño del lote de unidades a pedir, la ecuación (1.9) restricción de no negatividad de variables, la ecuación (1.10) restricción de variable binaria y por último la ecuación (1.11) restricción de variable entera.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se aborda los pasos a seguir para lograr los objetivos establecidos en los capítulos anteriores para el diseño de un modelo matemático de una política de inventarios para una empresa comercializadora de fertilizantes agrícolas.

Para el desarrollo de la investigación se utilizará el “Ciclo de Deming” Figura 3.1, considerado como el método más conocido de mejora continua.



Fuente: Elaboración del autor

3.1. Planificar

3.1.1. Levantamiento de Información

Para el desarrollo del proyecto se requiere conocer la situación actual de la empresa para lo cual la administración mostró total apertura y compromiso en facilitar el acceso a la información histórica. También se pudo realizar la observación de la operación logística del centro de distribución y realizar las entrevistas con las personas claves que manejan los diferentes procesos de interés para la investigación.

En el proceso de observación de la operación logística del centro de distribución se recolectó información sobre la recepción, almacenamiento y despacho de los SKU's. Dimensionamiento de bodegas, pasillos y muelles de carga donde se pudo tener una visión general de las operaciones de la empresa.

Las entrevistas con los procesos de interés se realizaron con: el departamento de importaciones para determinar el lead time estimado de las compras, costos de pedidos y nacionalización; y con el departamento de ventas que nos brindó importante información para entender los productos de mayor relevancia e impacto en las ventas, proyecciones de venta y variabilidad de la demanda.

3.1.2. Recopilación de información

El departamento informático de la empresa facilitó una base de datos con información histórica de ventas en toneladas de cada producto desde enero 2017 hasta noviembre 2021. La misma que corresponde a los últimos 5 años de operación de la empresa por lo que sirve para tener una visión general de las diferentes épocas y estacionalidades de la demanda.

La proyección de la demanda correspondiente al año 2022 fue proporcionada por el departamento de ventas, lo que será el principal insumo de los requerimientos de aprovisionamiento para los modelos a probar.

3.1.3. Depuración de la data

Con la información histórica recopilada se trabajó en conjunto con los departamentos de sistemas y ventas para la depuración de los datos omitiendo SKU's que ya están obsoletos y unificando códigos duplicados de las diferentes bases bajo un mismo código debido a que en el año 2019 se realizó una migración al sistema SAP BUSSINES ONE, los mismos que son presentados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 *Histórico de venta anual en toneladas métricas (TM)*

DETALLE DE ARTICULO	2017	2018	2019	2020	2021	Total
ACIDO HUMICO GRANULAR 25 KG	13	9	32	34	5	93
AZUFRE GR - TIGER 90 25 KG	13	15	20	31	39	119
BORAX GR - GRANULEX 50 KG	43	45	76	68	77	309
DAP (18-46-0) 50 KG	4,228	4,080	3,988	5,731	5,164	23,191
FERTISILIC Q 50 KG	0	0	24	35	42	101
KIESERITA 50 KG	1,067	1,324	881	788	467	4,528
KS MAG + B 50 KG	462	523	507	445	401	2,338
MAP GR (11-52-0) 50 KG	219	162	1,116	310	231	2,039
MURIATO DE POTASIO GR. BLANCO 50 KG	498	1,754	1,149	559	744	4,704
MURIATO DE POTASIO GR. ROJO 50 KG	5,288	9,310	5,769	8,600	9,694	38,662
NITRATO DE AMONIO 50 KG	3,833	9,496	7,157	11,043	14,922	46,450
NITRATO DE POTASIO PRILADO 50 KG	67	59	60	11	50	249
NPK 12-12-17+2MgO 25 KG	258	357	292	321	215	1,443
NPK 15 - 05 - 20 + 2 MgO 25 KG	33	0	0	32	21	86
PATENKALI 50 KG	0	50	60	68	71	248
RESIDUOS 50 KG	30	74	66	218	255	643
SILICIO EDAFICO - SILMAG 50 KG	35	48	36	64	0	182
STIMULUS (UREA + AZUFRE) 50KG	0	0	0	433	899	1,332
SULFATO DE AMONIO FINO 50 KG	655	1,058	1,350	1,983	1,502	6,547
SULFATO DE AMONIO GR 50 KG	6,128	10,138	9,949	10,898	14,650	51,763
SULFATO DE CALCIO - SUCROAL 25 KG	307	545	867	713	773	3,205
SULFATO DE CALCIO GR. 50 KG	90	136	129	147	87	589
SULFATO DE MAGNESIO - KALIMAG 50 KG	1,200	1,336	435	79	0	3,051
SULFATO DE MAGNESIO GR. 50 KG	0	365	1,735	2,960	3,412	8,472
SULFATO DE MANGANESO GR. 25 KG	18	14	18	16	4	70
SULFATO DE POTASIO - KALISOP 50 KG	336	801	1,339	1,436	1,196	5,107
SULFATO DE ZINC GR. 25 KG	88	109	160	162	110	629
UREA GR 50 KG	6,977	9,355	4,674	10,866	8,873	40,746
UREA PRILADA 50 KG	20,030	26,652	27,636	31,068	27,494	132,879
UREA TNE 50 KG	213	166	115	74	12	580
Total	52,128	77,981	69,639	89,194	91,409	380,351

Fuente: Información proporcionada por la empresa

3.2. Hacer

3.2.1. Clasificación ABC

Con la base de datos depurada se procedió a realizar la clasificación de productos según su importancia utilizando el parámetro del total de toneladas vendidas desde el año 2017 al 2021 reflejados en la Tabla 3.2.

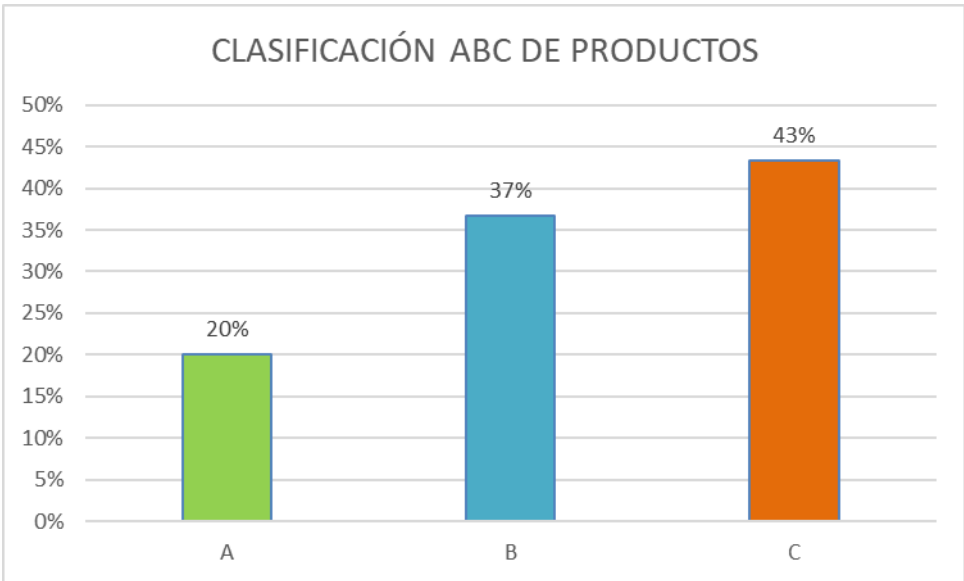
Tabla 3.2 Clasificación ABC según ventas históricas en TM

DETALLE DE ARTICULO	Total	PESO %	% ACUM	CATEGORIA
UREA PRILADA 50 KG	132,879	34.9%	35%	A
SULFATO DE AMONIO GR 50 KG	51,763	13.6%	49%	A
NITRATO DE AMONIO 50 KG	46,450	12.2%	61%	A
UREA GR 50 KG	40,746	10.7%	72%	A
MURIATO DE POTASIO GR. ROJO 50 KG	38,662	10.2%	82%	A
DAP (18-46-0) 50 KG	23,191	6.1%	88%	A
SULFATO DE MAGNESIO GR. 50 KG	8,472	2.2%	90%	B
SULFATO DE AMONIO FINO 50 KG	6,547	1.7%	92%	B
SULFATO DE POTASIO - KALISOP 50 KG	5,107	1.3%	93%	B
MURIATO DE POTASIO GR. BLANCO 50 KG	4,704	1.2%	94%	B
KIESERITA 50 KG	4,528	1.2%	96%	B
SULFATO DE CALCIO - SUCROAL 25 KG	3,205	0.8%	96%	B
SULFATO DE MAGNESIO - KALIMAG 50 KG	3,051	0.8%	97%	B
KS MAG + B 50 KG	2,338	0.6%	98%	B
MAP GR (11-52-0) 50 KG	2,039	0.5%	98%	B
NPK 12-12-17+2MgO 25 KG	1,443	0.4%	99%	B
STIMULUS (UREA + AZUFRE) 50KG	1,332	0.4%	99%	B
RESIDUOS 50 KG	643	0.2%	99%	C
SULFATO DE ZINC GR. 25 KG	629	0.2%	99%	C
SULFATO DE CALCIO GR. 50 KG	589	0.2%	100%	C
UREA TNE 50 KG	580	0.2%	100%	C
BORAX GR - GRANULEX 50 KG	309	0.1%	100%	C
NITRATO DE POTASIO PRILADO 50 KG	249	0.1%	100%	C
PATENKALI 50 KG	248	0.1%	100%	C
SILICIO EDAFICO - SILMAG 50 KG	182	0.0%	100%	C
AZUFRE GR - TIGER 90 25 KG	119	0.0%	100%	C
FERTISILIC Q 50 KG	101	0.0%	100%	C
ACIDO HUMICO GRANULAR 25 KG	93	0.0%	100%	C
NPK 15 - 05 - 20 + 2 MgO 25 KG	86	0.0%	100%	C
SULFATO DE MANGANESO GR. 25 KG	70	0.0%	100%	C
TOTALES	380,351	1		

Fuente: Elaboración del autor

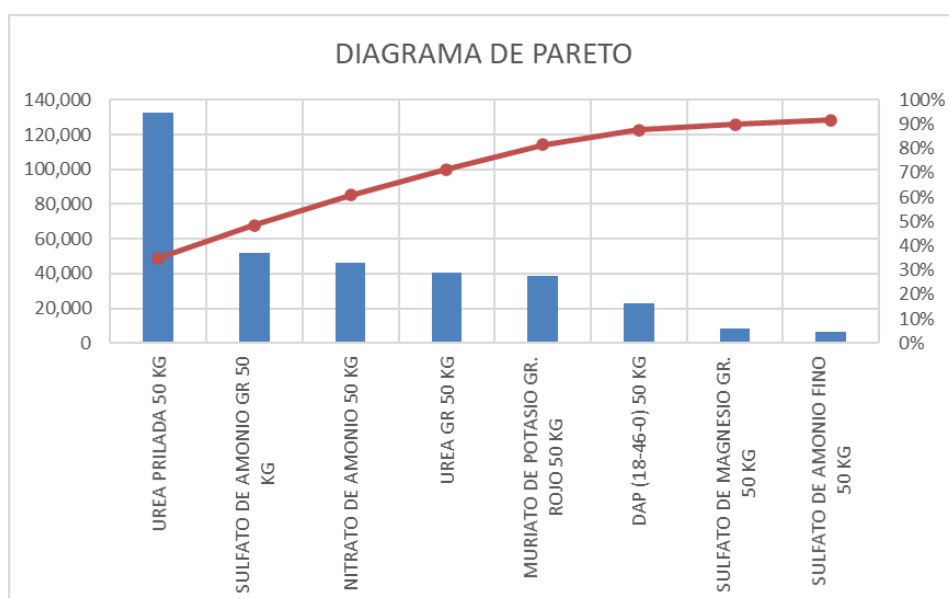
Con la información recolectada y verificada por el departamento de ventas se presentan los datos en el Figura 3.2 donde se determinó que el 20% de los ítems pertenecen a la categoría A que agrupan el 88% del volumen de ventas, el 37% de los ítems perteneces a la categoría B que corresponden al 11% del volumen de ventas y el 43% de ítems pertenecen a la categoría C que corresponden al 1% del volumen de ventas. Con el análisis de la información recolectada vemos que los datos cumplen el Principio de Pareto (1848- 1923) que establece de forma general que para un amplio número de fenómenos se cumple el 80/20 y en este caso el 88% de las ventas pertenecen al 20% de los productos como lo muestra la Figura 3.3.

Figura 3.2 Clasificación ABC



Fuente: Elaboración del autor

Figura 3.3 Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración del autor

Para el estudio de determinación de un modelo de inventario se trabajó con los ítems correspondientes a la categoría A, que son los productos a los que se les debe prestar mayor atención y son indispensables para las ventas de la empresa.

3.2.2. Análisis de tendencia y estacionalidad

Por medio del uso de la herramienta estadística RStudio se realizó un análisis detallado de cada uno de los productos considerados de interés para el estudio con la información disponible de ventas proporcionada por la empresa.

En este apartado se analizó los ítems de la categoría A detallados en la Tabla 3.3 revisando tendencia y estacionalidad para determinar qué tipo de revisión o ajuste debemos aplicar al modelo.

Tabla 3.3 Detalle de productos de categoría A

DETALLE DE ARTICULO	CATEGORIA
UREA PRILADA 50 KG	A
SULFATO DE AMONIO GR 50 KG	A
NITRATO DE AMONIO 50 KG	A
UREA GR 50 KG	A
MURIATO DE POTASIO GR. ROJO 50 KG	A
DAP (18-46-0) 50 KG	A

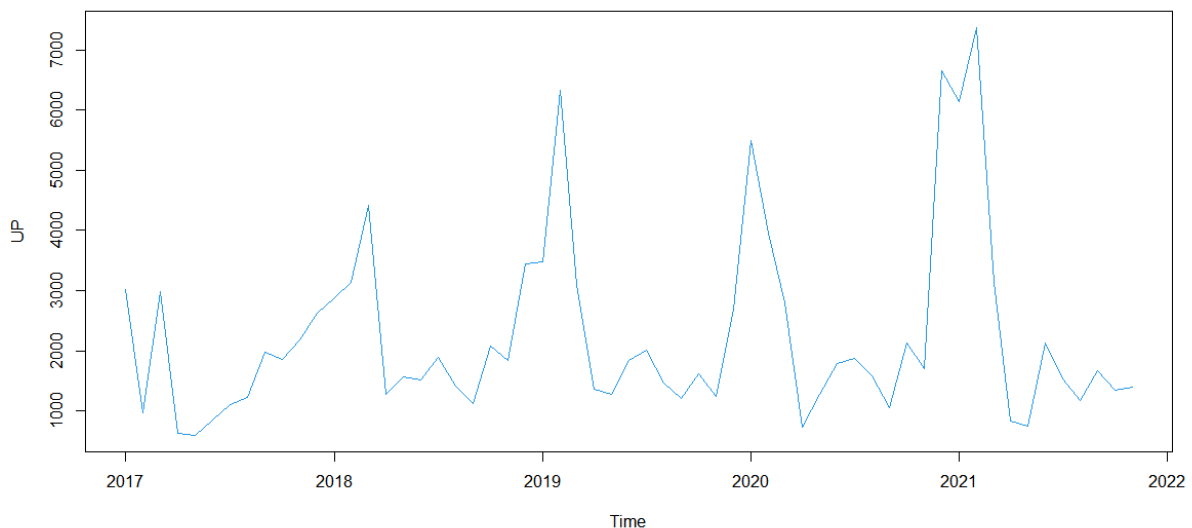
Fuente: Elaboración del autor

- UREA PRILADA 50 KG

Es el producto de mayor volumen de venta según los datos históricos de la empresa, en la Figura 3.4 se observa el comportamiento de la demanda desde el año 2017 hasta el año 2021.

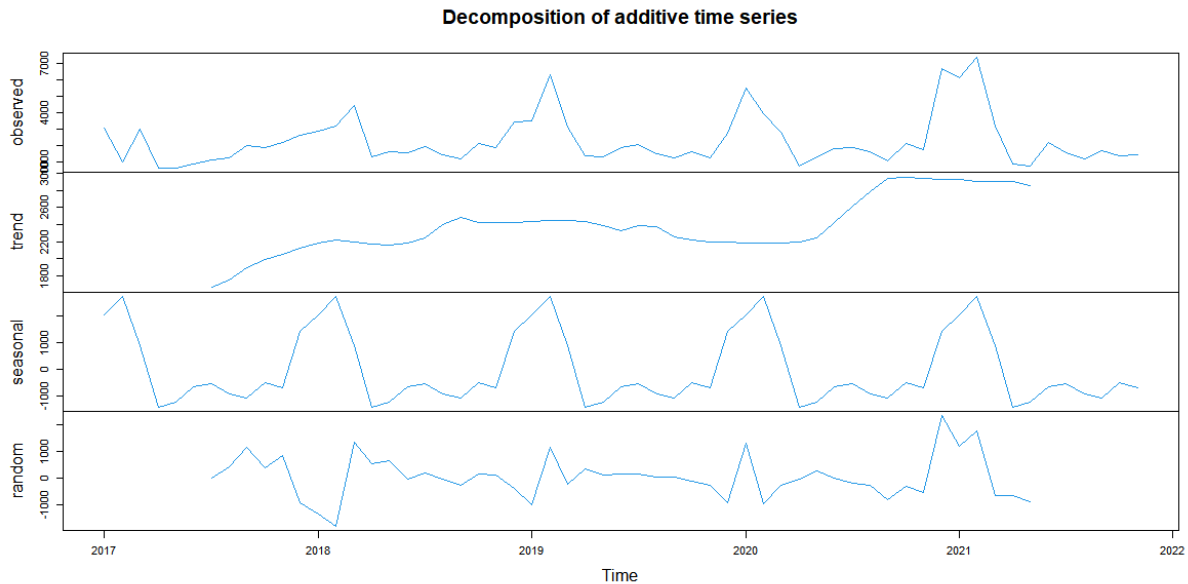
En la Figura 3.5 se observa una estacionalidad marcada en los meses de enero, febrero y marzo considerados como época pico a lo largo del tiempo que coinciden con la temporada invernal de la región costa del país. De abril a diciembre se mantiene una estabilidad a través del tiempo y con un valor atípico en diciembre 2020. Se puede determinar que es un producto de temporada para el primer trimestre del año y luego se mantiene estable.

Figura 3.4 Ventas UREA PRILADA 50 KG (2017-2021)



Fuente: Elaboración del autor

Figura 3.5 Tendencia y estacionalidad UREA PRILADA 50 KG



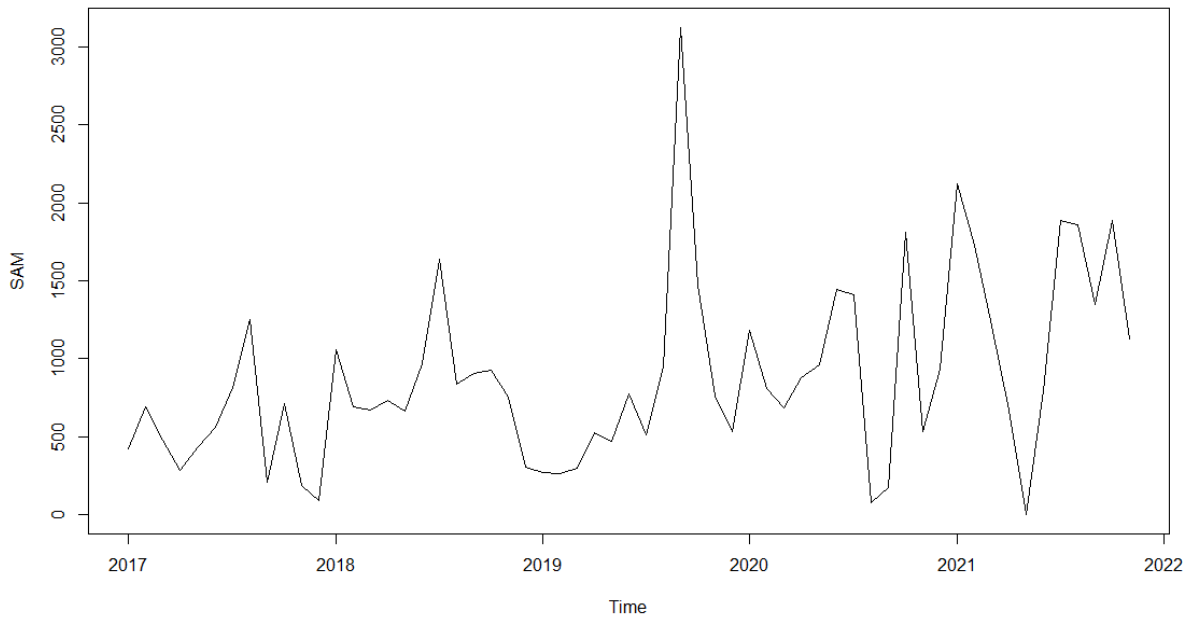
Fuente: Elaboración del autor

- SULFATO DE AMONIO GR 50 KG

Se realizó el gráfico de la demanda desde el año 2017 hasta el 2021 en cual se encuentra a continuación en la Figura 3.6 donde se observa un comportamiento muy fluctuante a través de tiempo, de hecho hay varios periodos con muy poca venta que es un comportamiento atípico para un producto de clasificación A por lo que se validó con el departamento de ventas que es un producto donde ha existido históricamente quiebres de stock por falta de aprovisionamiento oportuno lo que presenta una gran oportunidad de mejora.

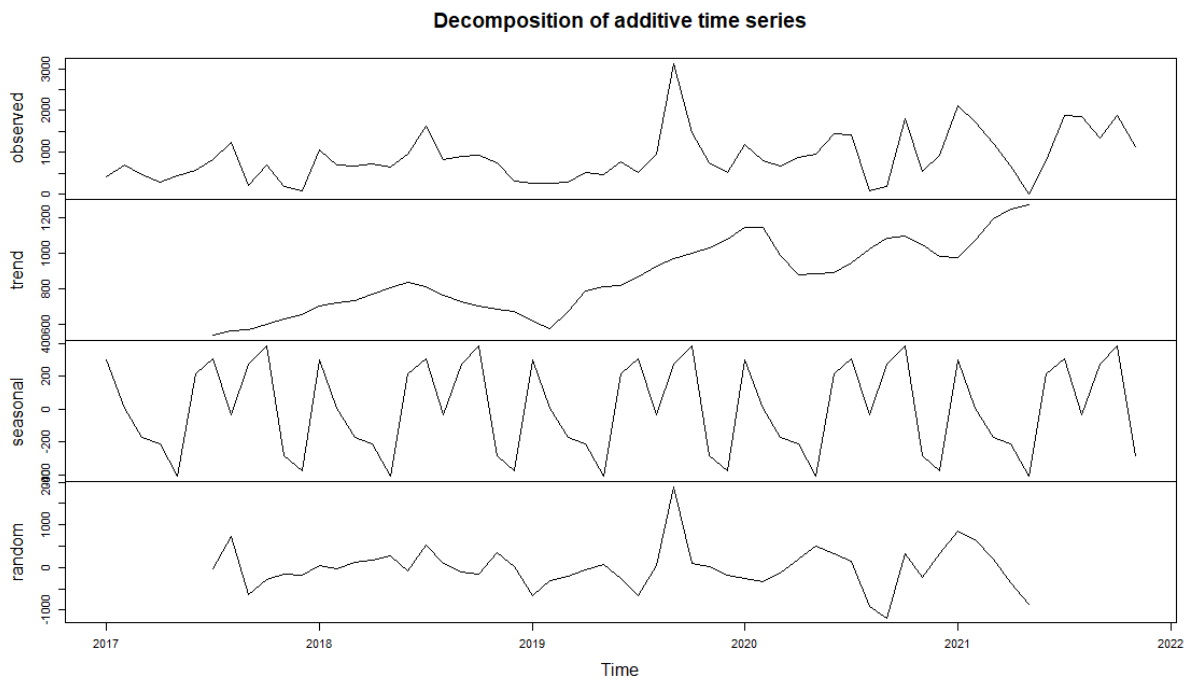
En la Figura 3.7 se observa una tendencia de crecimiento de venta, en cuanto a estacionalidad observa un ligero aumento de volumen de ventas en los meses de julio, agosto, septiembre que coincide con las siembras de verano del sector arrocero.

Figura 3.6 Ventas SULFATO DE AMONIO GR 50 KG (2017-2021)



Fuente: Elaboración del autor

Figura 3.7 Tendencia y estacionalidad SULFATO DE AMONIO 50 KG



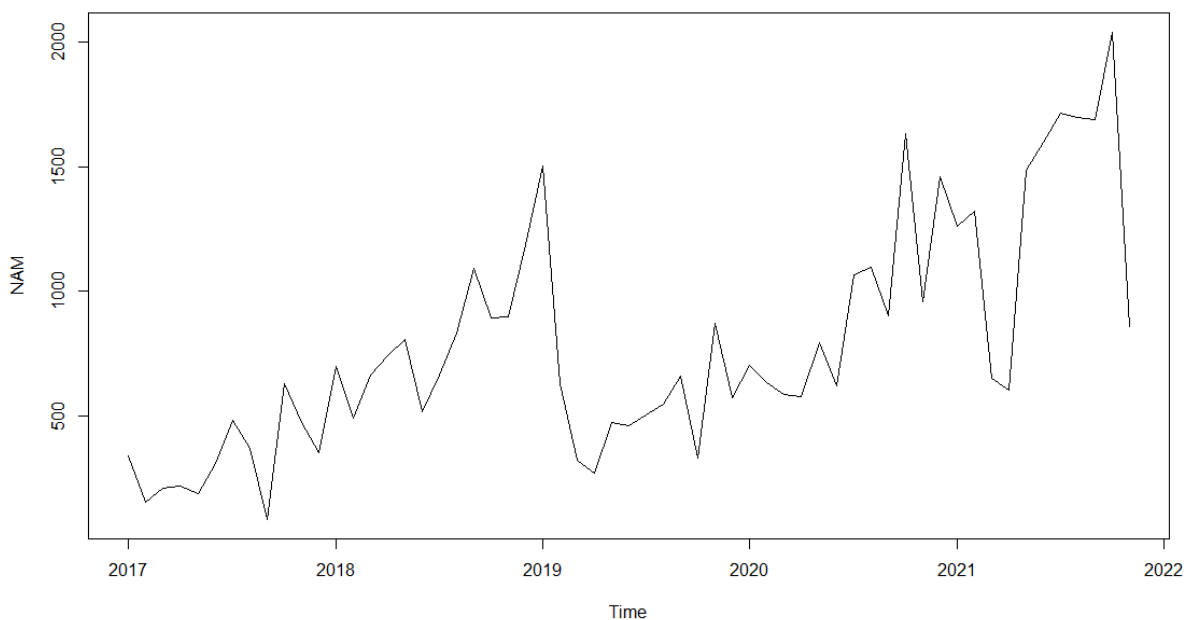
Fuente: Elaboración del autor

- NITRATO DE AMONIO 50 KG

Con el análisis de la información disponible de demanda desde el 2017 hasta el 2021 se realizó el gráfico presentado en la Figura 3.8.

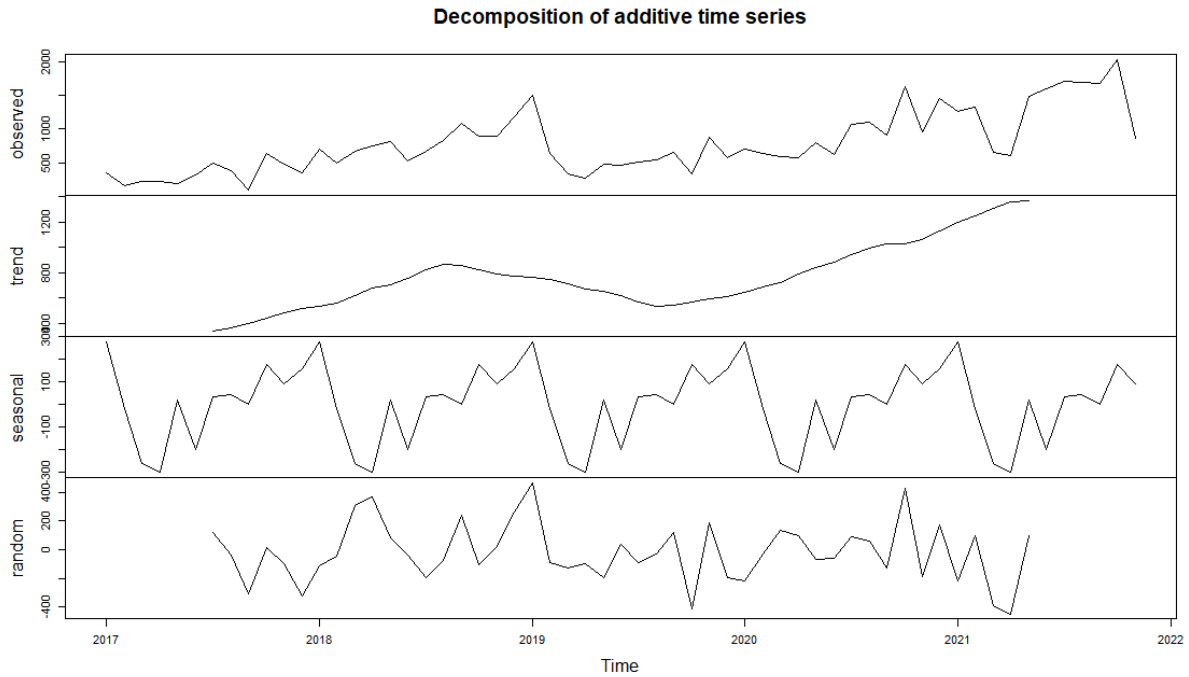
En el análisis de la Figura 3.9 se evidencia un crecimiento anual sostenido, a excepción del año 2019 donde se presentaron factores externos que afectaron la demanda. En los meses marzo y abril de 2021 hubo restricciones de ventas por falta de inventario. Los volúmenes de ventas crecen de manera acelerada año a año por lo que el manejo del inventario se va a ir volviendo crítico. Se evidencia un ligero pico entre los meses de septiembre y octubre, pero tiene un comportamiento regular.

Figura 3.8 Ventas NITRATO DE AMONIO 50 KG (2017-2021)



Fuente: Elaboración del autor

Figura 3.9 *Tendencia y estacionalidad NITRATO DE AMONIO 50 KG*



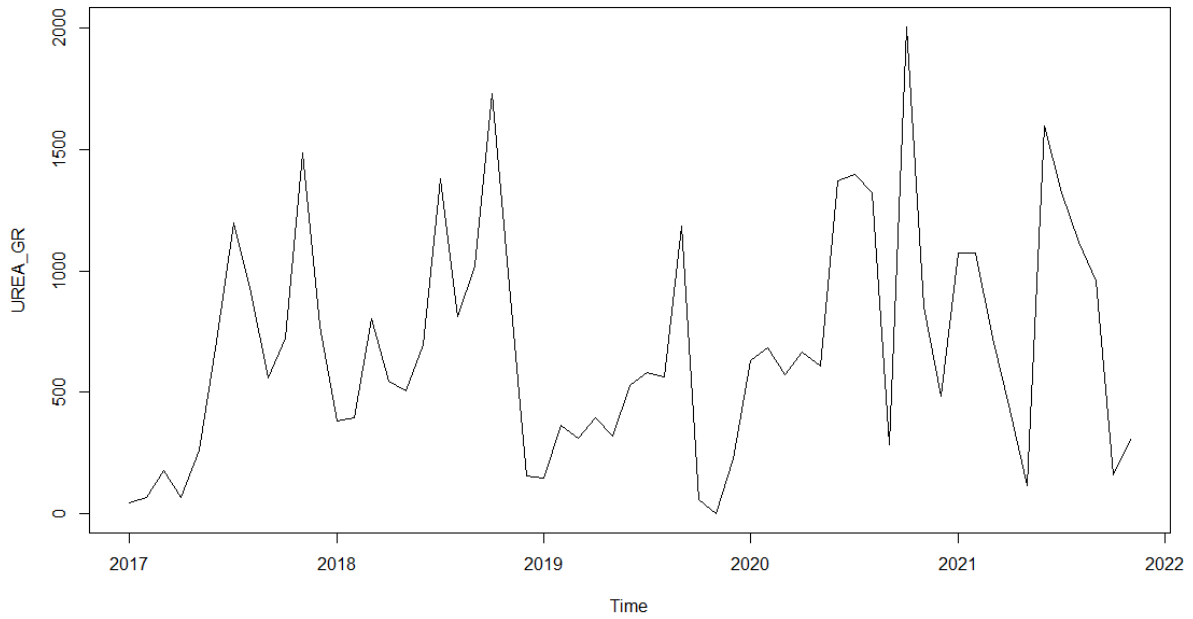
Fuente: *Elaboración del autor*

- UREA GR 50 KG

Se realiza el gráfico de las ventas del producto UREA GR con la información histórica disponible donde se observa el comportamiento de la demanda desde el año 2017 hasta el año 2021 en la Figura 3.10.

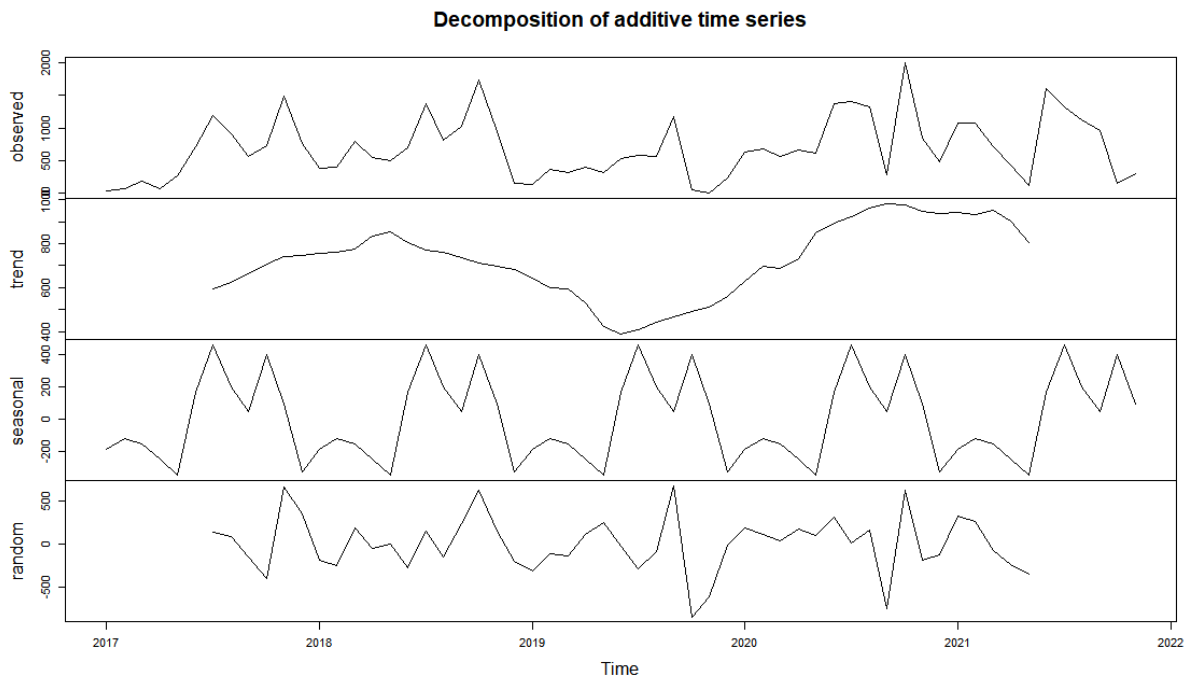
Además, se observa en la Figura 3.11 datos atípicos por niveles bajos de venta por quiebres de inventario. Se observa una tendencia de demanda incremental para los meses de junio, julio y agosto de acuerdo a su comportamiento histórico y picos irregulares en octubre y noviembre. También es un producto de alta demanda usado en la siembra de verano donde habría que prestar mayor atención en el aprovisionamiento y disponibilidad de inventario.

Figura 3.10 Ventas UREA GR 50 KG (2017-2021)



Fuente: Elaboración del autor

Figura 3.11 Tendencia y estacionalidad UREA GRANULAR 50 KG



Fuente: Elaboración del autor

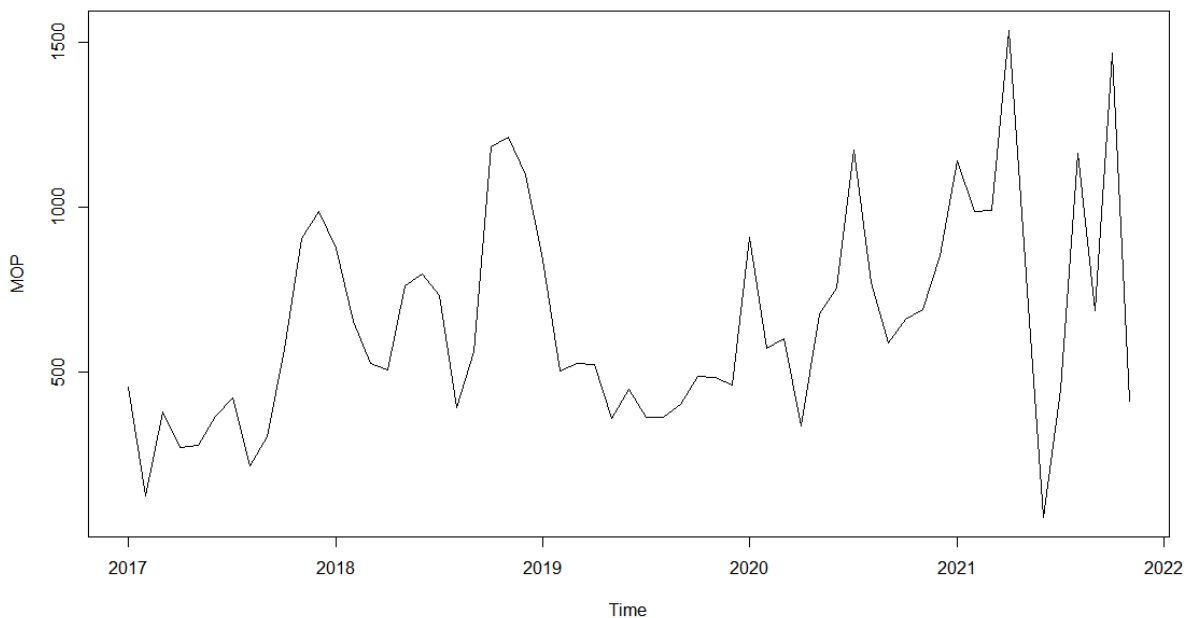
- MURIATO DE POTASIO GR. ROJO 50 KG

Basados en la información histórica de ventas se construye el gráfico presentado en la Figura 3.12 donde se observa el comportamiento de la demanda durante el periodo 2017 – 2021.

En el análisis de la Figura 3.13 podemos notar que a excepción del año 2021 que tiene picos muy marcados positivos y negativos por complicaciones en el abastecimiento, es un producto sin picos marcados, de un comportamiento regular.

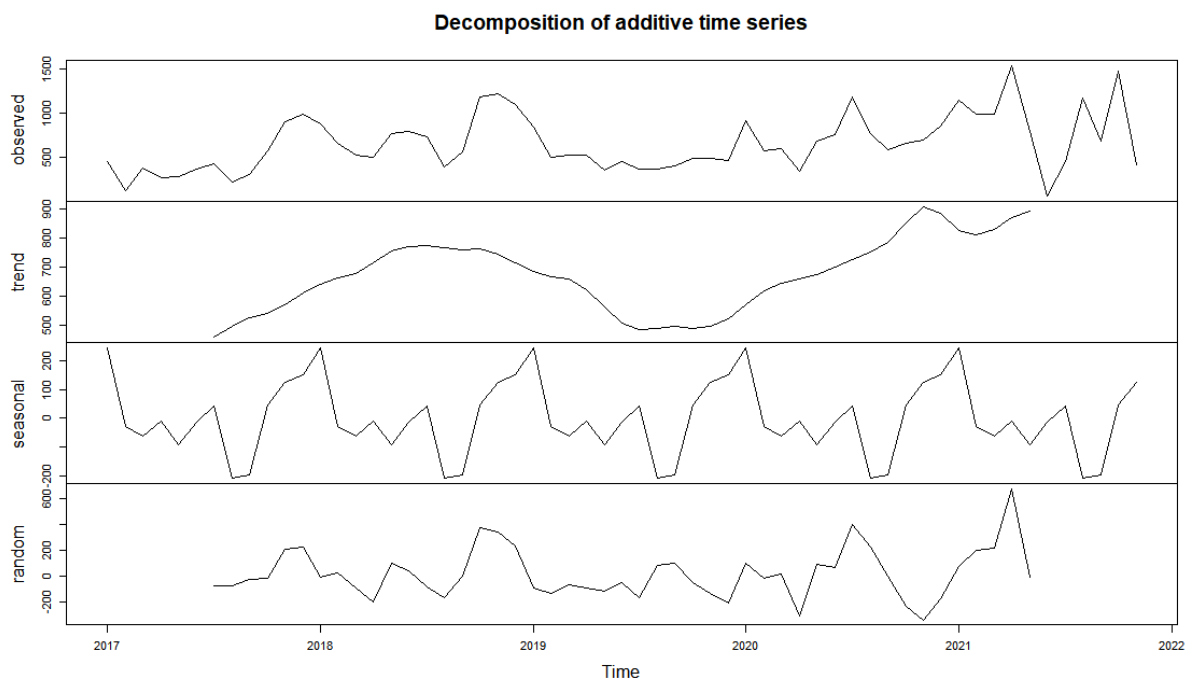
No maneja estacionalidad marcada por alguna de las temporadas climáticas de siembra en el país con potencial de crecimiento si se logra contar con un abastecimiento continuo.

Figura 3.12 Ventas MURIATO DE POTASIO GR ROJO 50 KG (2017-2021)



Fuente: Elaboración del autor

Figura 3.13 *Tendencia y estacionalidad MURIATO DE POTASIO 50 KG*



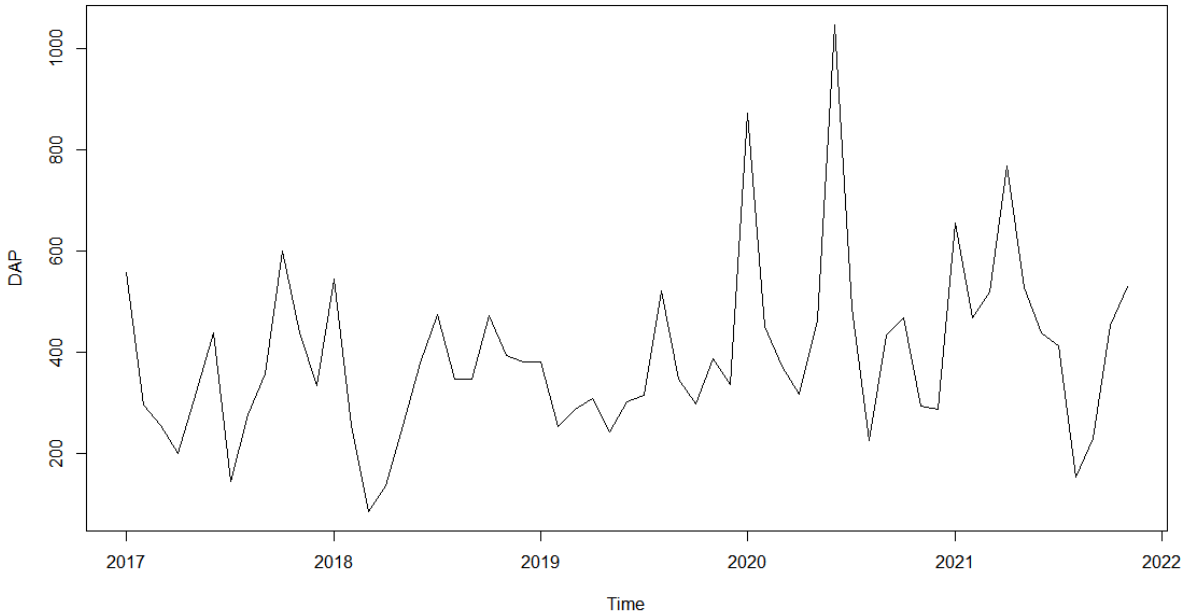
Fuente: *Elaboración del autor*

- DAP (18-46-0) 50 KG

Con la información histórica de ventas del año 2017 al 2021 se construye el gráfico del comportamiento de la demanda que se observa en la Figura 3.14, es un producto con demanda regular, muy similar en el transcurso de los años exceptuando un par de datos atípicos de junio 2020 y abril 2021.

Se analiza la Figura 3.15 donde se ratifica el comportamiento regular a través de los años, se puede decir que es el más constante de los analizados en cuanto a líneas de estacionalidad. Tiene marcado un mes pico que es el de enero debido a que el producto es una eficaz fuente de fósforo sumamente necesaria para el inicio de la siembra de invierno que se repite año a año. Mantiene una tendencia de crecimiento en ventas moderada.

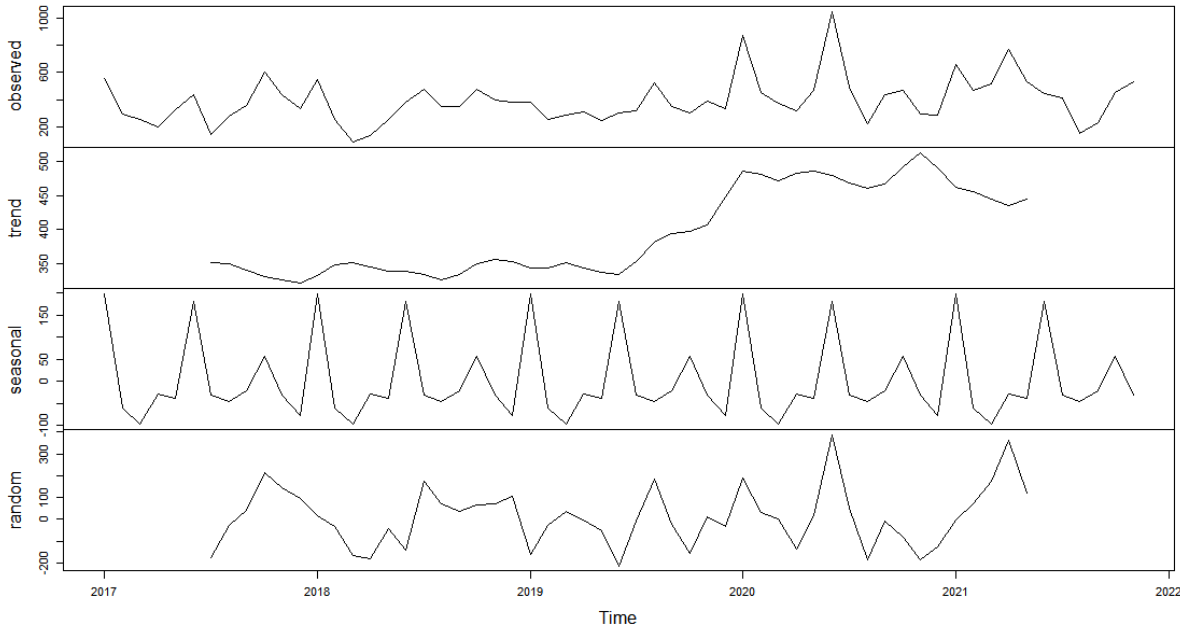
Figura 3.14 Ventas DAP 50 KG (2017-2021)



Fuente: Elaboración del autor

Figura 3.15 Tendencia y estacionalidad DAP 50 KG

Decomposition of additive time series



Fuente: Elaboración del autor

3.2.3. Descripción del modelo

La aplicación de modelos de inventario facilita el control de cuándo y cuánto producto comprar, es decir el momento preciso y con las cantidades necesarias, buscando en todo momento minimizar los costos de abastecimiento y manejo de inventario. De esta manera lograr un equilibrio de las referencias consideradas más importantes para la empresa sin que su manejo implique incurrir en costos adicionales.

A continuación, se realiza el detalle de los parámetros específicos que fueron utilizados como insumo para el cálculo del modelo matemático de optimización de costos.

El detalle de los parámetros de productos i se encuentra detallado en la Tabla 3.4 y los períodos j se encuentran detallados en la Tabla 3.5 presentados a continuación:

Tabla 3.4 *Definición de parámetro i*

PRODUCTOS (i)
UREA_PRILADA_50_KG
SULFATO_DE_AMONIO_GR_50_KG
NITRATO_DE_AMONIO_50_KG
UREA_GR_50_KG
MURIATO_DE_POTASIO_GR_ROJO_50_KG
DAP_(18-46-0)_50_KG

Fuente: *Elaboración del autor*

Tabla 3.5 Definición de parámetro *j*

PERIODO (<i>j</i>)
DIC_21
ENE_22
FEB_22
MAR_22
ABR_22
MAY_22
JUN_22
JUL_22
AGO_22
SEPT_22
OCT_22
NOV_22
DIC_22

Fuente: Elaboración del autor

El detalle de la demanda proyectada en toneladas se encuentra en la Tabla 3.6 presentada a continuación.

Tabla 3.6 Demanda proyectada en TM para el año 2022

Producto (<i>i</i>)	Período (<i>j</i>)											
	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22
UREA_PRILADA_50_KG	3810	3757	2350	1447	889	1675	1290	960	1728	1059	1569	2934
SULFATO_DE_AMONIO_GR_50_KG	2970	2316	1671	1445	1320	1601	2143	2136	1884	1955	1913	1546
NITRATO_DE_AMONIO_50_KG	1810	1824	1632	1602	1449	1770	1769	1918	1516	1805	1405	1351
UREA_GR_50_KG	716	772	487	520	495	1069	1535	1340	1112	1189	1016	731
MURIATO_DE_POTASIO_GR_ROJO_50_KG	1384	1114	1122	1151	1077	630	1119	902	725	1112	724	828
DAP_(18-46-0)_50_KG	804	621	640	600	536	508	642	366	397	408	353	424

Fuente: Información entregada por la empresa

El inventario inicial para el desarrollo del modelo matemático fue tomado de información real proporcionada por la empresa del inventario a cierre del período de diciembre 2021 el cual se encuentra presentado en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Inventario a cierre de año 2021

Producto (i)	InvIn(i)
UREA_PRILADA_50_KG	4500
SULFATO_DE_AMONIO_GR_50_KG	4000
NITRATO_DE_AMONIO_50_KG	2500
UREA_GR_50_KG	1000
MURIATO_DE_POTASIO_GR_ROJO_50_KG	1800
DAP_(18-46-0)_50_KG	1000

Fuente: Información entregada por la empresa

El stock de seguridad fue calculado como 5 días de inventario de la venta del período y se presenta a continuación en la Tabla 3.8, el mismo se obtiene de a partir de la demanda proyectada.

Tabla 3.8 Stock de seguridad en TM

Producto (i)	Periodo (j)												
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22
UREA_PRILADA_50_KG	635	626	392	241	148	279	215	160	288	177	262	489	50
SULFATO_DE_AMONIO_GR_50_KG	495	386	279	241	220	267	357	356	314	326	319	258	50
NITRATO_DE_AMONIO_50_KG	302	304	272	267	242	295	295	320	253	301	234	225	50
UREA_GR_50_KG	119	129	81	87	82	178	256	223	185	198	169	122	50
MURIATO_DE_POTASIO_GR_ROJO_50_KG	231	186	187	192	179	105	186	150	121	185	121	138	50
DAP_(18-46-0)_50_KG	134	103	107	100	89	85	107	61	66	68	59	71	50

Fuente: Elaboración del autor

Adicional tenemos los datos de:

- Capacidad máxima del almacén que corresponde a 15,000 TM en el centro de distribución de la empresa.
- Cantidad mínima de pedido, que son las toneladas métricas con la que el proveedor puede atender un pedido que corresponde a 500 TM.
- Múltiplo de lote, el proveedor de origen despacha los pedidos en tamaños de lote múltiplos de 100 TM.
- Lead Time, el tiempo desde la colocación del pedido hasta la recepción en bodega es de 2 meses.
- Los costos por pedido son \$1,720 y los costos de almacenamiento por TM son \$6.38 por cada unidad de tiempo.

Para poder realizar la resolución del problema mediante programación lineal entera mixta se procede a modelar la realidad mediante las variables y parámetros antes descritos.

El modelo se ejecutó en el lenguaje de programación matemática de GAMS cuyo resultado se encuentra en el Anexo IV.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

En el desarrollo de este capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos de la aplicación del modelo matemático contrastado con el actual manejo de la política de inventarios de la empresa.

4.1. Clasificación ABC.

Los productos seleccionados para realizar el control y aplicación del modelo matemático serán los considerados de mayor relevancia para la empresa que fueron determinados como productos tipo “A” según el en el diagrama de Pareto realizado en el capítulo anterior y resumido en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1 *Productos categoría “A”, análisis de Pareto.*

DETALLE DE ARTICULO	% ACUM	CATEGORIA
UREA PRILADA 50 KG	35%	A
SULFATO DE AMONIO GR 50 KG	49%	A
NITRATO DE AMONIO 50 KG	61%	A
UREA GR 50 KG	71%	A
MURIATO DE POTASIO GR. ROJO 50 KG	82%	A
DAP (18-46-0) 50 KG	88%	A

Fuente: *Elaboración del autor*

4.2. Aplicación del modelo de matemático de optimización.

Mediante la aplicación de los supuestos establecidos en la sección 3.2.3 y el planteamiento de restricciones del modelo matemático se obtuvo la planificación de abastecimiento por los 12 períodos para cada uno de los productos analizados como tipo “A”, los resultados de la optimización se encuentran reflejados en el Anexo V.

Se trabajó con los inventarios finales de cada producto al cierre del año 2021 y lead time de 2 meses, se empieza con la primera recomendación de pedido de compra en el mes 0 que corresponde a diciembre 2021.

Para el producto analizado UREA PRILADA 50 KG los datos obtenidos están reflejados en la Tabla 4.2, se destaca que se deben realizar pedidos mensuales de reposición de inventario a partir del mes diciembre 2021 hasta octubre 2022 teniendo un costo total para esta política de \$44.375 al año.

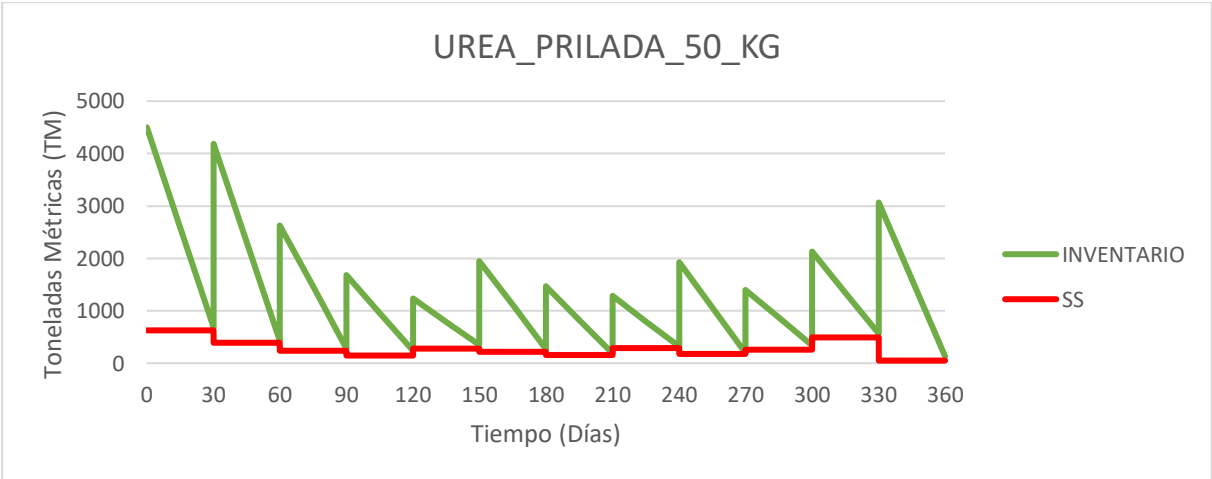
Tabla 4.2 Resultados optimización UREA PRILADA 50 KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	4,500	690	433	282	236	347	272	182	322	195	336	566	
Demanda	0	3,810	3,757	2,350	1,447	889	1,675	1,290	960	1,728	1,059	1,569	2,934	
Pedido de compra	3,500	2,200	1,400	1,000	1,600	1,200	1,100	1,600	1,200	1,800	2,500	0	0	
Recepción pedido	0	0	3,500	2,200	1,400	1,000	1,600	1,200	1,100	1,600	1,200	1,800	2,500	
Inventario final	4,500	690	433	282	236	347	272	182	322	195	336	566	132	
Stock de Seguridad	635	626	392	241	148	279	215	160	288	177	262	489	50	
Costo de pedido	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	0	0	\$18,920
Costo de mantener	0	4,399	2,758	1,801	1,504	2,212	1,731	1,160	2,056	1,241	2,140	3,611	841	\$25,455
Costo total	1,720	6,119	4,478	3,521	3,224	3,932	3,451	2,880	3,776	2,961	3,860	3,611	841	\$44,375

Fuente: Elaboración del autor

Como un análisis del inventario a través del tiempo tenemos la Figura 4.1 donde se observa cómo se consume el inventario con la demanda y el ingreso de los nuevos pedidos teniendo siempre un valor de seguridad para cubrirse de posibles demoras de los pedidos.

Figura 4.1 Inventario y stock de seguridad UREA PRILADA 50 KG.



Fuente: Elaboración del autor

Para el producto SULFATO DE AMONIO GR 50 KG los datos obtenidos están reflejados en la Tabla 4.3, donde se obtiene como resultado la colocación de pedidos mensuales desde el primer mes en las cantidades optimas que arroja el modelo teniendo un costo anual de la política de \$48,162.

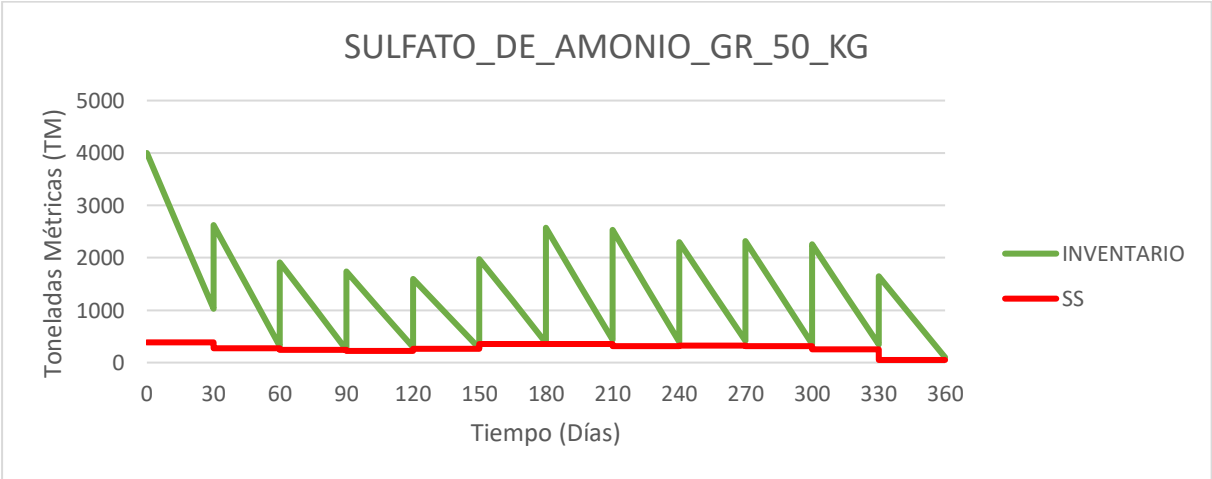
En la Figura 4.2 tenemos el comportamiento del inventario mediante un análisis gráfico.

Tabla 4.3 Resultados optimización SULFATO DE AMONIO GR 50 KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	4,000	1,030	313	242	297	277	376	433	398	414	360	346	
Demanda	0	2,970	2,316	1,671	1,445	1,320	1,601	2,143	2,136	1,884	1,955	1,913	1,546	
Pedido de compra	1,600	1,600	1,500	1,300	1,700	2,200	2,100	1,900	1,900	1,900	1,300	0	0	
Recepción pedido	0	0	1,600	1,600	1,500	1,300	1,700	2,200	2,100	1,900	1,900	1,900	1,300	
Inventario final	4,000	1,030	313	242	297	277	376	433	398	414	360	346	100	
Stock de Seguridad	495	386	279	241	220	267	357	356	314	326	319	258	50	
Costo de pedido	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	0	0	\$18,920
Costo de mantener	0	6,565	1,997	1,542	1,895	1,768	2,398	2,762	2,536	2,641	2,293	2,208	638	\$29,242
Costo total	1,720	8,285	3,717	3,262	3,615	3,488	4,118	4,482	4,256	4,361	4,013	2,208	638	\$48,162

Fuente: Elaboración del autor

Figura 4.2 Inventario y stock de seguridad SULFATO DE AMONIO GR 50 KG.



Fuente: Elaboración del autor

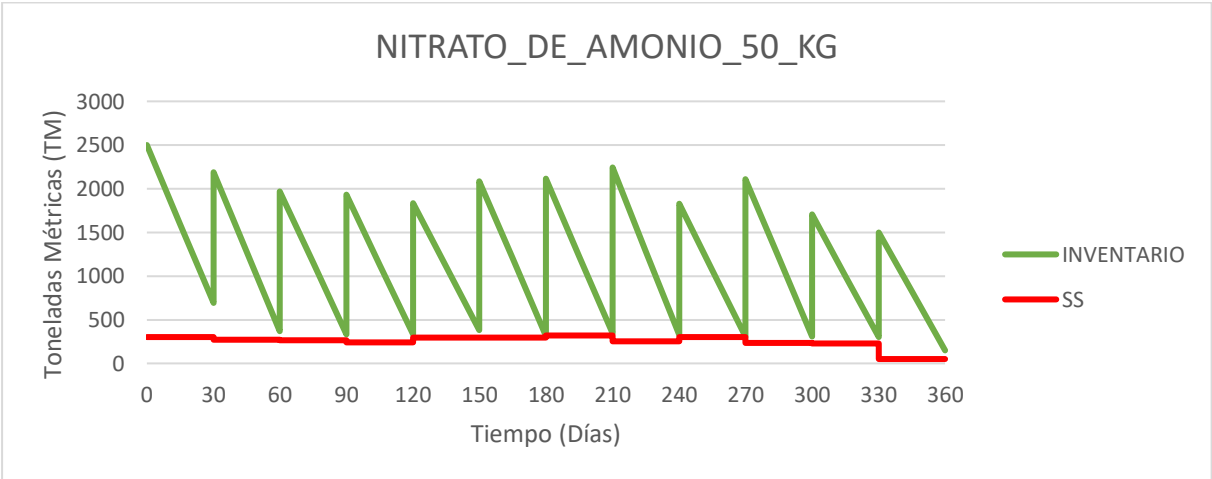
Para el producto NITRATO DE AMONIO 50 KG se tiene el resultado de la política de inventarios en la Tabla 4.4 donde se realizan pedidos de inventario mensuales generando un costo total anual de \$45,394 y en la Figura 4.3 se detalla el comportamiento del inventario.

Tabla 4.4 Resultados optimización NITRATO DE AMONIO 50 KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	2,500	690	366	335	332	383	313	344	326	309	305	300	
Demanda	0	1,810	1,824	1,632	1,602	1,449	1,770	1,769	1,918	1,516	1,805	1,405	1,351	
Pedido de compra	1,500	1,600	1,600	1,500	1,700	1,800	1,900	1,500	1,800	1,400	1,200	0	0	
Recepción pedido	0	0	1,500	1,600	1,600	1,500	1,700	1,800	1,900	1,500	1,800	1,400	1,200	
Inventario final	2,500	690	366	335	332	383	313	344	326	309	305	300	149	
Stock de Seguridad	302	304	272	267	242	295	295	320	253	301	234	225	50	
Costo de pedido	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	0	0	\$18,920
Costo de mantener	0	4,399	2,336	2,134	2,120	2,443	1,993	2,193	2,076	1,972	1,943	1,915	949	\$26,474
Costo total	1,720	6,119	4,056	3,854	3,840	4,163	3,713	3,913	3,796	3,692	3,663	1,915	949	\$45,394

Fuente: Elaboración del autor

Figura 4.3 Inventario y stock de seguridad NITRATO DE AMONIO 50 KG.



Fuente: Elaboración del autor

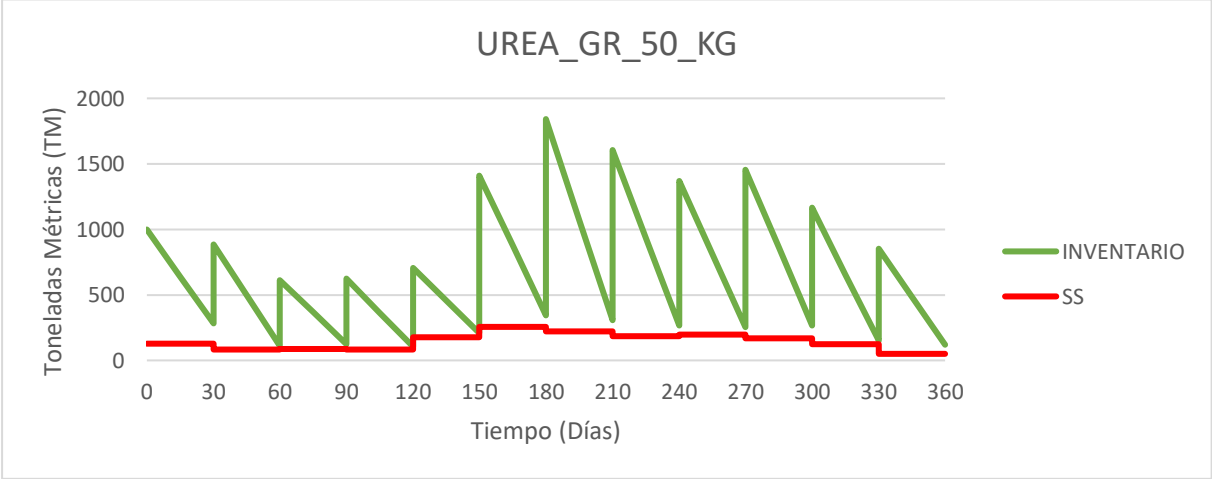
Para el producto UREA GR 50 KG los datos obtenidos están reflejados en la Tabla 4.5 que como resultado de la aplicación de la política recomienda realizar pedidos mensuales desde diciembre 2021 hasta octubre 2022 con un costo total de \$35,143 y en la Figura 4.4 se observa el comportamiento del inventario de una manera gráfica.

Tabla 4.5 Resultados optimización UREA GR 50 KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	1,000	284	111	125	105	210	342	307	267	256	267	151	
Demanda	0	716	772	487	520	495	1,069	1,535	1,340	1,112	1,189	1,016	731	
Pedido de compra	600	500	500	600	1,200	1,500	1,300	1,100	1,200	900	700	0	0	
Recepción pedido	0	0	600	500	500	600	1,200	1,500	1,300	1,100	1,200	900	700	
Inventario final	1,000	284	111	125	105	210	342	307	267	256	267	151	120	
Stock de Seguridad	119	129	81	87	82	178	256	223	185	198	169	122	50	
Costo de pedido	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	0	0	\$18,920
Costo de mantener	0	1,809	710	795	668	1,341	2,179	1,959	1,705	1,632	1,702	960	763	\$16,223
Costo total	1,720	3,529	2,430	2,515	2,388	3,061	3,899	3,679	3,425	3,352	3,422	960	763	\$35,143

Fuente: Elaboración del autor

Figura 4.4 Inventario y stock de seguridad UREA GR 50 KG.



Fuente: Elaboración del autor

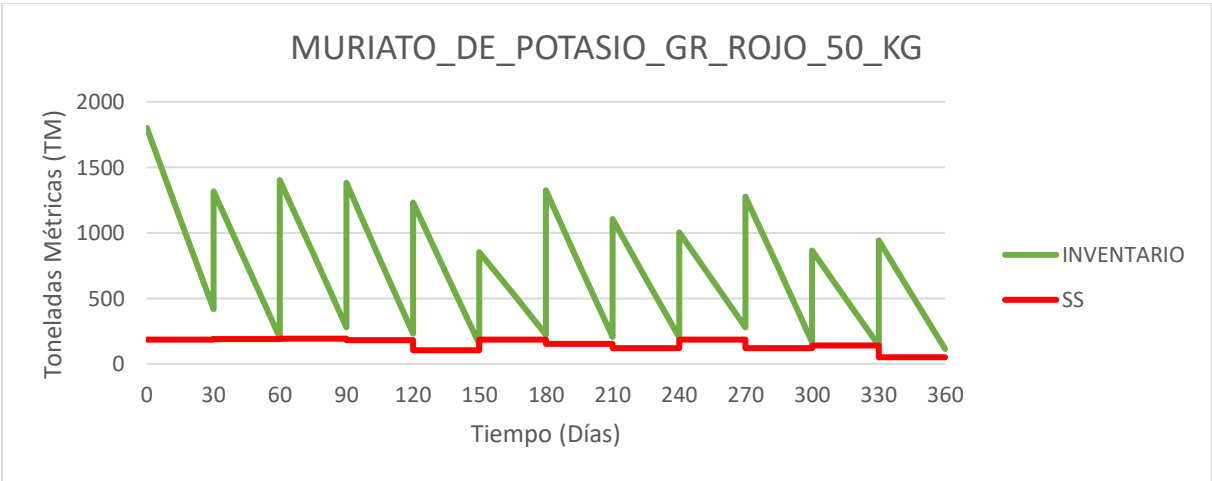
Para el producto MURIATO DE POTASIO GR ROJO 50 KG los datos obtenidos están reflejados en la Tabla 4.6 donde se presenta la política de inventarios con pedidos mensuales de inventarios desde el diciembre 2021 hasta octubre 2022 con un costo total de implementación de la política de \$35,547 y en la Figura 4.5 se grafica los movimientos del inventario a través del tiempo analizado.

Tabla 4.6 Resultados optimización MURIATO DE POTASIO GR ROJO 50 KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	1,800	416	202	280	230	153	223	204	202	277	166	141	
Demanda	0	1,384	1,114	1,122	1,151	1,077	630	1,119	902	725	1,112	724	828	
Pedido de compra	900	1,200	1,100	1,000	700	1,100	900	800	1,000	700	800	0	0	
Recepción pedido	0	0	900	1,200	1,100	1,000	700	1,100	900	800	1,000	700	800	
Inventario final	1,800	416	202	280	230	153	223	204	202	277	166	141	113	
Stock de Seguridad	231	186	187	192	179	105	186	150	121	185	121	138	50	
Costo de pedido	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	0	0	\$18,920
Costo de mantener	0	2,654	1,288	1,787	1,463	973	1,422	1,302	1,290	1,769	1,056	902	720	\$16,627
Costo total	1,720	4,374	3,008	3,507	3,183	2,693	3,142	3,022	3,010	3,489	2,776	902	720	\$35,547

Fuente: Elaboración del autor

Figura 4.5 Inventario y stock de seguridad MURIATO DE POTASIO GR ROJO 50 KG



Fuente: Elaboración del autor

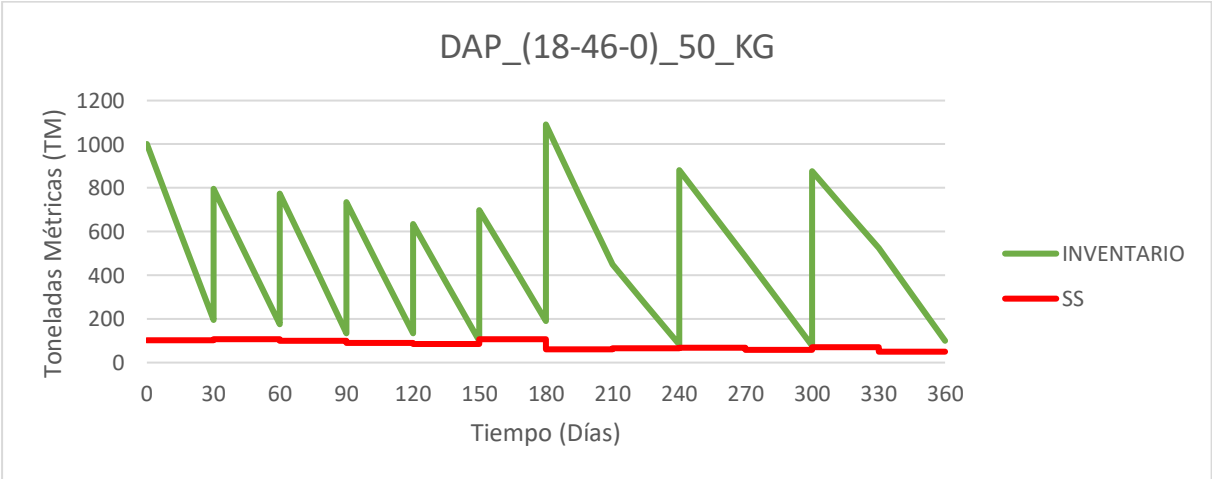
Para el producto DAP (18-46-0) 50 KG los datos obtenidos están reflejados en la Tabla 4.7 que como resultado de la optimización sugiere realizar pedidos mensuales de inventario con excepción de junio, agosto y octubre donde no se realizan pedidos y se trabaja con el inventario existente con un costo total de la política de \$30,643 al año y el comportamiento gráfico del inventario se lo tiene reflejado en la Figura 4.6.

Tabla 4.7 Resultados optimización DAP (18-46-0) 50 KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	1,000	196	175	135	135	99	191	448	82	486	77	525	
Demanda	0	804	621	640	600	536	508	642	366	397	408	353	424	
Pedido de compra	600	600	600	500	600	900	0	800	0	800	0	0	0	
Recepción pedido	0	0	600	600	600	500	600	900	0	800	0	800	0	
Inventario final	1,000	196	175	135	135	99	191	448	82	486	77	525	100	
Stock de Seguridad	134	103	107	100	89	85	107	61	66	68	59	71	50	
Costo de pedido	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	0	1,720	0	1,720	0	0	0	\$13,760
Costo de mantener	0	1,248	1,115	858	859	631	1,216	2,859	525	3,097	493	3,345	638	\$16,883
Costo total	1,720	2,968	2,835	2,578	2,579	2,351	1,216	4,579	525	4,817	493	3,345	638	\$30,643

Fuente: Elaboración del autor

Figura 4.6 Inventario y stock de seguridad DAP (18-46-0) 50 KG



Fuente: Elaboración del autor

4.3. Comparación de la propuesta versus situación actual

Al momento la empresa realiza su abastecimiento de forma trimestral, es decir hace un pedido de importación considerando la demanda proyectada de los siguientes 3 periodos y llegando al mes de reposición vuelve a realizar otro pedido. Considerando de igual manera que se respetan las mismas restricciones de lead time, pedido mínimo, múltiplo de pedido y stock de seguridad.

El detalle de la política actual se encuentra adjunta en el Anexo VI. A continuación, se presenta un resumen de los costos anuales de pedido y mantenimiento por producto y totalizados para ver la diferencia de costos entre las políticas evaluadas en la Tabla 4.8.

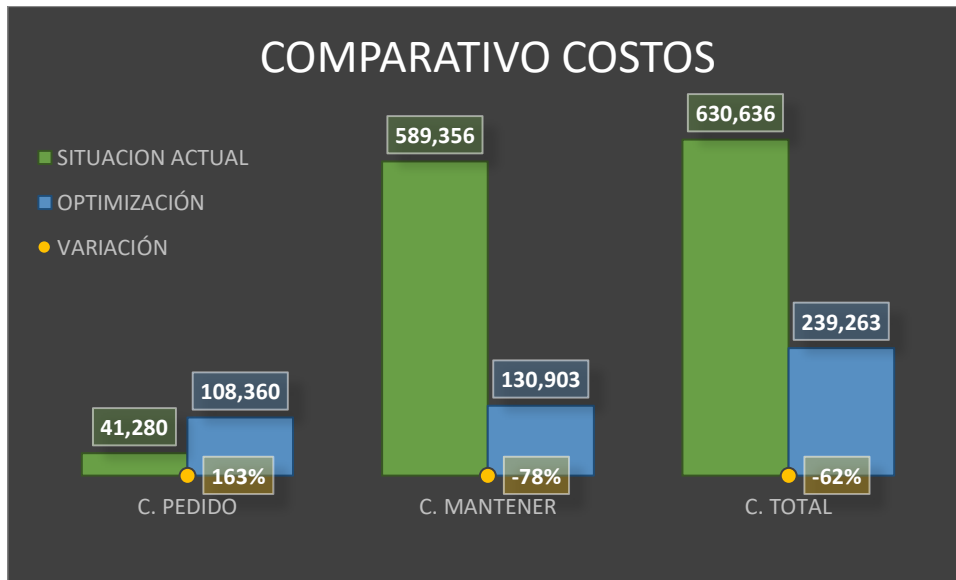
Tabla 4.8 Comparativo por producto situación actual vs optimización

PRODUCTO	SITUACION ACTUAL			OPTIMIZACIÓN		
	C. PEDIDO	C. MANTENER	C. TOTAL	C. PEDIDO	C. MANTENER	C. TOTAL
UREA_PRILADA_50_KG	6,880	142,786	149,666	18,920	25,455	44,375
SULFATO_DE_AMONIO_GR_50_KG	6,880	141,471	148,351	18,920	29,242	48,162
NITRATO_DE_AMONIO_50_KG	6,880	106,152	113,032	18,920	26,474	45,394
UREA_GR_50_KG	6,880	83,178	90,058	18,920	16,223	35,143
MURIATO_DE_POTASIO_GR_ROJO_50_KG	6,880	72,741	79,621	18,920	16,627	35,547
DAP_(18-46-0)_50_KG	6,880	43,028	49,908	13,760	16,883	30,643
TOTAL	41,280	589,356	630,636	108,360	130,903	239,263

Fuente: Elaboración del autor

En la Figura 4.7 podemos observar que la aplicación de un modelo matemático para determinar una política de inventarios representa un ahorro de costos total de 62% al año.

Figura 4.7 Comparativo costo total situación actual vs optimización



Fuente: Elaboración del autor

Podemos observar como un dato interesante que los costos de pedir aumentan en un 163% que con la política actual debido a que se aumenta el flujo de pedidos de una manera considerable porque se realizan pedidos cada mes.

Esto implica que posiblemente haya que destinar más recursos en la gestión de compras a los destinados actualmente en este proceso, pero este incremento bruto en costos representa un gran ahorro (78%) en el costo de mantenimiento del inventario que tiene un gran peso en el componente del costo total.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se detallan las conclusiones a las que se llegó después de analizar los resultados desarrollados en el trabajo de estudio y a su vez se plantean varias recomendaciones con el objetivo de poder proponer mejoras a implementar a futuro.

5.1. Conclusiones

Mediante el levantamiento de información de los procesos de interés, visita al centro de distribución y análisis de la data histórica proporcionada por la empresa se pudo obtener una información completa de las distintas temporadas y estacionalidades; y a su vez entender las afectaciones externas que normalmente sufre la demanda de este mercado, lo que permitió organizar los datos depurando de información relevante para la elaboración del proyecto.

Con la información ordenada se realizó una clasificación ABC en base al volumen de ventas de los últimos 5 años enfocándose en todos los productos clasificados como categoría A, que al realizar un análisis de Pareto esta categoría representa el 88% de las ventas históricas, las mismas fueron validadas por la gerencia general y comercial de la compañía.

Mediante el uso de la herramienta estadística RStudio se realizó un análisis de descomposición de estacionalidad y tendencia de cada uno de los productos, encontrando las fluctuaciones de la demanda a través del tiempo, validando así que la información entregada como planificación de demanda guarda relación a la realidad del negocio.

Se realizó el análisis comparativo entre la revisión periódica que actualmente realiza la empresa y la revisión continua planteada con el modelo matemático, teniendo como resultado que se logra una optimización de los recursos al aplicar una revisión continua.

Para cada producto analizado se obtuvo una política de inventarios ajustada a su demanda y requerimiento que minimiza el costo total del aprovisionamiento y mantenimiento de inventario cumpliendo las restricciones propias del negocio.

Se diseñó una política de inventarios para la empresa mediante la aplicación de un modelo matemático enfocado en la minimización de los costos. Para el año que fue sujeto a estudio se determinó que la optimización puede permitir un ahorro de hasta un 62% del costo total de abastecimiento y manejo de inventarios.

5.2. Recomendaciones

Para que la metodología aplicada (Ciclo de Deming) en el presente caso de estudio se mantenga en un proceso de mejora continua y brinde aportes considerables en el manejo del inventario a la empresa se debe hacer énfasis en los siguientes puntos:

- Se debe mantener la aplicación de la clasificación ABC para determinar los productos que sean de mayor relevancia para el desarrollo de la compañía e implementar a las otras divisiones de negocios de la empresa que no fueron objeto de este estudio.
- Se debe implementar a futuro métodos de pronóstico de la demanda para contrastar la información obtenida con los pronósticos del departamento de ventas. Y de esta manera poder contar con información de mercado más confiable para la mejora de las políticas de inventario.
- Según el análisis de los resultados se pudo observar que los costos de pedidos se incrementan de manera importante por la aplicación del modelo matemático, por lo que se debe invertir en recursos humanos y herramientas informáticas o de automatización que permitan optimizar la gestión de compra y seguimiento de pedidos. Pues la mejora en los costos depende en que se realice una gestión eficiente de compra y seguimiento en recepción de los pedidos.

- Se puede abarcar en la ejecución del modelo matemático en otras categorías de productos que sean de relevancia para la empresa o líneas de negocios no analizadas en el presente estudio. Estableciendo sus necesidades particulares en cuanto a políticas y períodos de revisión.

6. REFERENCIAS

- Chamorro Corea, J. L., Díaz Camejo, J., Fuentes Espinoza, O. D., & Lovo Gutiérrez, H. Y. (2018). Política de inventarios máximos y mínimos en cadenas de suministro multinivel. Caso de estudio: una empresa de distribución farmacéutica (Artículo Profesional). *Nexo Revista Científica*, 31(2), 144-156. Obtenido de <https://www.lamjol.info/index.php/NEXO/article/view/6837>
- Gonzalez, A. (2020). Un modelo de gestión de inventarios basado en estrategia competitiva. *Ingeniare. Rev. chil. ing.* vol.28 no.1, 133-142. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000100133>
- Juca, C., Narváez, C., Erazo, J., & Luna, K. (2019). Carlos Veloz Navarrete, Oscar Parada Gutierrez. 593 Digital Publisher CEIT, 19-39. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7144054>
- Parada Gutierrez, O., & Veloz Navarrete, C. (2017). Métodos para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en la gestión de inventarios. *Revista Ciencia UNEMI*, 29-38. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6151210>
- Ross, S. A. (2010). *Fundamentos de finanzas corporativas* (9na ed.--.). México D.F: México: McGraw-Hill.
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de Operaciones* 9na edición. Pearson.
- Betancourt, D. F. (25 de diciembre de 2017). Tamaño del lote: Decisión, métodos (determinísticos variables) y ejemplos. Recuperado el 06 de febrero de 2022, de *Ingenio Empresa*: www.ingenioempresa.com/tamano-del-lote-inventario.

7. ANEXOS

ANEXO I: Proyección de ventas año 2022

PROYECCIÓN DE VENTAS EDAFICOS SIMPLES 2022													
CATEGORIA: EDAFICOS SIMPLES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
AZUFRE GR - TIGER 90 25 KG	9	1	1	10	1	1	7	3	2	7	3	1	46
ULEXITA GRANULAR 50KG	22	3	3	5	36	13	18	37	15	43	6	5	204
DAP (18-46-0) 50 KG	804	621	640	600	536	508	642	366	397	408	353	424	6,300
PATENKALI 50 KG	19	3	6	8	2	4	2	0	4	5	4	10	67
KIESERITA 50 KG	140	130	45	124	147	90	63	75	68	91	113	90	1,177
KS MAG + B 50 KG	120	64	97	86	138	185	150	120	110	141	121	121	1,452
MAP GR (11-52-0) 50 KG	52	17	24	28	33	37	51	35	27	47	24	28	402
MURIATO DE POTASIO GR. BLANCO 50 KG	77	65	116	102	85	76	97	71	121	101	72	60	1,041
MURIATO DE POTASIO GR. ROJO 50 KG	1,384	1,114	1,122	1,151	1,077	630	1,119	902	725	1,112	724	828	11,887
NITRATO DE AMONIO 50 KG	1,810	1,824	1,632	1,602	1,449	1,770	1,769	1,918	1,516	1,805	1,405	1,351	19,851
NITRATO DE POTASIO PRILADO 50 KG	18	19	15	8	11	14	16	19	24	41	11	9	205
NPK 12-12-17+2MgO 25 KG	23	17	23	22	25	20	23	27	21	24	20	20	265
SILICIO EDAFICO - SILMAG 50 KG	8	5	10	11	15	13	16	14	16	16	12	3	135
SULFATO DE AMONIO FINO 50 KG	102	67	109	181	179	154	125	161	226	184	160	194	1,842
SULFATO DE AMONIO GR 50 KG	2,970	2,316	1,671	1,445	1,320	1,601	2,143	2,136	1,884	1,955	1,913	1,546	22,900
SULFATO DE CALCIO - SUCROAL 25 KG	71	49	56	45	50	60	56	45	59	35	57	45	631
SULFATO DE CALCIO GR. 50 KG	34	9	15	27	20	19	36	17	16	30	23	10	254
SULFATO DE MAGNESIO GR. 50 KG	553	423	445	763	556	424	399	756	534	622	475	464	6,414
SULFATO DE MANGANESO GR. 25 KG	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	5
SULFATO DE POTASIO - KALISOP 50 KG	267	103	155	214	294	178	252	181	191	236	191	139	2,398
SULFATO DE ZINC GR. 25 KG	24	33	24	17	30	18	22	58	29	28	26	26	335
STIMULUS (UREA + AZUFRE) 50KG	52	121	114	83	81	147	66	152	62	75	54	71	1,077
UREA GR 50 KG	716	772	487	520	495	1,069	1,535	1,340	1,112	1,189	1,016	731	10,980
UREA PRILADA 50 KG	3,810	3,757	2,350	1,447	889	1,675	1,290	960	1,728	1,059	1,569	2,934	23,468
SUBTOTAL TM	13,087	11,533	9,158	8,497	7,467	8,706	9,895	9,390	8,887	9,251	8,351	9,111	113,334

ANEXO II: Hoja de cálculo de costo de pedido “K”

CÁLCULO COSTO DE PEDIDO

GERENTE GENERAL 30%	\$/MES	1875
JEFE DE COMPRAS	\$/MES	2250
AUXILIAR COMPRAS	\$/MES	1000
ASISTENTE DE COMPRAS	\$/MES	750
NOMINA IMPORTACIONES	\$/AÑO	\$ 70,500

Nº PEDIDOS AL AÑO	AÑO 2021	\$ 150
--------------------------	-----------------	---------------

Gastos locales (Puerto, Manejo)	\$/PEDIDO	600
Trámites Aduaneros	\$/PEDIDO	450
Inspección carga	\$/PEDIDO	200
TOTAL GASTOS LOCALES	\$/PEDIDO	\$ 1,250

TOTAL COSTO PEDIDO	\$/PEDIDO	\$ 1,720
---------------------------	------------------	-----------------

ANEXO III: Hoja de cálculo de costo de mantenimiento “Ch”

CÁLCULO DE COSTO DE MANTENIMIENTO

m2 bodegas cubiertas	m2	6300
m2 patios de maniobra	m2	1500
m2 totales construcción	m2	6300
\$/m2 techado	\$/m2	500
\$/m2 sin techar	\$/m2	180
COSTO DE BODEGA	\$/año	\$ 171,000

Montacargas	und	3
Cargadoras	und	2
Compra Montacargas	\$/und	28000
Compra Cargadoras	\$/und	65000
Mantenimiento	\$/año	20000
Combustible	\$/año	15000
COSTO DE MONTACARGAS Y MAQUINARIA	\$/año	\$ 77,800

Strechfilm	\$/año	12600
Volumen de paletizado	50%	4000
Pallets alistados	pallets/año	24000
Consumo por pallet	20 Pallet/rollo	1200
Costo total	\$ 10.5 / rollo	12600
Faltante/mermas	\$/año	7200
Toneladas venta al mes	TM/mes	8000
Porcentaje merma	0.03%	2.4
Costo promedio TM	\$250 / TM	600
SERVICIOS DE BODEGAS	\$/año	\$ 19,800

Sueldo Operario (8)	\$/MES	4000
Sueldo Supervisor (2)	\$/MES	2000
Sueldo Op. Montacarga (3)	\$/MES	1875
Sueldo Op. Cargadora (2)	\$/MES	1250
Sueldo Jefe Bodega (1)	\$/MES	1680
NOMINA DE LA BODEGA	\$/año	\$ 129,660

Gasto de Alimentación	\$1.6 / día-per	6144
Uniformes y EPP's	\$ 200 / per-año	3200
Transporte	\$ 1.5 / día-per	5760

Seguro médico	\$25 / per-mes	4800
MANNING COST	\$/año	\$ 19,904

Licencias SAP (3)	\$ 800 / per-año	2400
Licencia Office (3)	\$ 250 / per-año	750
Conectividad	\$ 720 /año	720
Mantenimiento y renovación	\$300/año	300
IT	\$/año	\$ 4,170

Bodega, edificios	15% anual	25650
Maquinarias	6% anual	6600
Inventarios promedio	2% anual	40000
Accidentes personales (pólizas)	\$350 /pers-año	5600
FINANZAS (SEGUROS, POLIZAS Y GARANTÍAS)	\$/año	\$ 77,850

Mantenimiento cubierta	\$ 0.5 / m2	3150
Mantenimiento bodegas, pisos, pintura	\$ 1 / m2	6300
Mantenimiento eléctrico	\$ 0.5 / m2	3150
Mantenimiento señalética	\$ 0.3 / m2	1890
MANTENIMIENTO Y REPARACIONES CIVILES	\$/año	\$ 14,490

Puesto de seguridad	Número	1
Costo por puesto (\$/mes por turno 24h)	\$2600/puesto	2600
SERVICIOS DE SEGURIDAD	\$/año	\$ 31,200

Energía Eléctrica	\$/mes	350
Agua Potable	\$/mes	40
Control de plagas	\$/mes	20
Suministros limpieza	\$/mes	40
Suministro de oficina	\$/mes	30
Equipos de comunicación (radio/teléfonos)	\$/mes	60
Permisos de funcionamiento	\$/año	600
ADMINISTRACION Y OPERACIONES	\$/año	\$ 7,080

COSTO TOTAL DE WAREHOUSING	\$/año	\$ 552,954
-----------------------------------	---------------	-------------------

TOTAL TM AÑO	2022	95,387
--------------	------	--------

COSTO (\$/TM)	\$/TM	5.80
Profit (%)	10%	0.58
Valor total Warehousing (\$/TM)	\$/TM	\$ 6.38

ANEXO IV: Programación en GAMS del modelo matemático

```

1  options
2  optcr=0
3
4  SETS
5  i productos
6  j meses
7  ;
8
9  PARAMETERS
10 K          Costo de pedido
11 Ch         Costo de mantenimiento de inventario
12 InvIn(i)   Inventario inicial del producto i en el periodo j=0
13 D(i,j)     Demanda del producto i en el periodo j
14 SS(i,j)    Inventario de seguridad del producto i en el periodo j
15 CAP        Capacidad total de almacenamiento
16 PMin       Pedido mínimo de importación
17 Leadtime   Tiempo de recepción de pedido
18 MultLote   Multiplo pedido mínimo de compra
19
20 $onecho > tasks.txt
21
22 dset=i rng=INDICES!A2 rdim=1
23 dset=j rng=INDICES!B2 rdim=1
24
25 par=K       rng=COSTOPEDIDO!A2 rdim=0
26 par=Ch      rng=COSTOMAN!A2 rdim=0
27 par=InvIn   rng=STOCKINICIAL!A1 rdim=1
28 par=D       rng=DEMANDA!A1 rdim=1 cdim=1
29 par=SS      rng=STOCKSEGURIDAD!A1 rdim=1 cdim=1
30 par=CAP     rng=CAPACIDADALMACEN!A2 rdim=0
31 par=PMin    rng=PEDMIN!A2 rdim=0
32 par=Leadtime rng=LEADTIME!A2 rdim=0
33 par=MultLote rng=MULTLOTE!A2 rdim=0
34
35 $offEcho
36
37 $CALL GDXXRW DATAMODELO.xlsx trace=3 @tasks.txt
38 $GDXIN DATAMODELO.gdx
39 $LOAD i,j
40 $LOAD K, Ch, InvIn, D, SS, CAP, PMin, Leadtime, MultLote
41 $GDXIN
42
43 VARIABLES
44 Z          Costo total de politica de inventario
45 Q(i,j)     Cantidad a pedir del producto i en el periodo j
46
47 POSITIVE VARIABLES
48   S(i,j)   Inventario del producto i en el periodo j;
49
50 BINARY VARIABLE
51   B(i,j)   Si se realiza el pedido en el periodo j;
52
53 INTEGER VARIABLE
54   P(i,j)   Cantidad de pedido minimo de producto i en el periodo j;
55
56 EQUATIONS
57 COSTOTOTAL      Funcion objetivo de costo toal (Pedido + Mantenimiento)
58 FLUJO           Flujo de inventario con Lead time
59 INICIAL         Se define el stock inicial en TM para el periodo j=1
60 INVENTARIOSEG  Restriccion cumplimiento de inventario de seguridad
61 MINPEDIDO      Restriccion de pedido minimo
62 BINARIA        Restriccion variable binaria
63 CAPACIDAD      Restriccion capacidad de almacen
64 TPED           Restriccion de pedido multiplo de lote;
65
66 COSTOTOTAL..      Z =E= sum((i,j),K*B(i,j))+sum((i,j),S(i,j)$ (ord(j)>1)*Ch);
67 FLUJO(i,j)$ (ord(j)>1).. S(i,j) =E= S(i,j-1)+Q(i,j-Leadtime)-D(i,j);
68 INICIAL(i)..     S(i,'DIC 21') =E= InvIn(i);
69 INVENTARIOSEG(i,j)$ (ord(j)>1).. S(i,j) =G= SS(i,j);
70 MINPEDIDO(i,j)$ (ord(j)>1).. Q(i,j) =G= PMin*B(i,j);
71 BINARIA(i,j)..   Q(i,j) =L= 10000000*B(i,j);
72 CAPACIDAD(j)..   sum(i,S(i,j)) =L= CAP;
73 TPED(i,j)..     Q(i,j) =E= P(i,j)*MultLote;
74
75 MODEL INVENTARIO /all/
76 SOLVE INVENTARIO minimizing Z using MIP
77
78 display z.l,S.l,Q.l,B.l,P.l

```

ANEXO V: Resultados de optimización del modelo matemático en GAMS

----	80 VARIABLE Z.L	=	239263.334	Costo total de politica de inventario											
----	80 VARIABLE S.L	Inventario del producto i en el periodo j													
		DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
	UREA_PRILADA_50_KG	4500.000	689.800	432.550	282.400	235.900	346.850	271.500	181.950	322.350	194.650	335.650	566.300	131.950	
	SULFATO_DE_AMONIO_GR_50_KG	4000.000	1029.550	313.150	241.800	297.150	277.200	376.050	433.200	397.700	414.100	359.600	346.250	100.000	
	NITRATO_DE_AMONIO_50_KG	2500.000	689.900	366.350	334.700	332.450	383.050	312.600	343.900	325.600	309.300	304.750	300.250	148.850	
	UREA_GR_50_KG	1000.000	283.700	111.300	124.750	104.750	210.250	341.750	307.200	267.400	255.900	266.900	150.600	119.600	
	MURIATO_DE_POTASIO_GR_ROJO_50_KG	1800.000	416.200	201.950	280.250	229.500	152.650	222.950	204.250	202.350	277.400	165.550	141.400	112.950	
	DAP_(18-46-0)_50_KG	1000.000	195.650	174.800	134.600	134.750	99.000	190.650	448.300	82.400	485.600	77.300	524.500	100.100	
----	80 VARIABLE Q.L	Cantidad a pedir del producto i en el periodo j													
		DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22			
	UREA_PRILADA_50_KG	3500.000	2200.000	1400.000	1000.000	1600.000	1200.000	1100.000	1600.000	1200.000	1800.000	2500.000			
	SULFATO_DE_AMONIO_GR_50_KG	1600.000	1600.000	1500.000	1300.000	1700.000	2200.000	2100.000	1900.000	1900.000	1900.000	1300.000			
	NITRATO_DE_AMONIO_50_KG	1500.000	1600.000	1600.000	1500.000	1700.000	1800.000	1900.000	1500.000	1800.000	1400.000	1200.000			
	UREA_GR_50_KG	600.000	500.000	500.000	600.000	1200.000	1500.000	1300.000	1100.000	1200.000	900.000	700.000			
	MURIATO_DE_POTASIO_GR_ROJO_50_KG	900.000	1200.000	1100.000	1000.000	700.000	1100.000	900.000	800.000	1000.000	700.000	800.000			
	DAP_(18-46-0)_50_KG	600.000	600.000	600.000	500.000	600.000	900.000		800.000		800.000				
----	80 VARIABLE B.L	Si se realiza el pedido en el periodo j													
		DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22			
	UREA_PRILADA_50_KG	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
	SULFATO_DE_AMONIO_GR_50_KG	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
	NITRATO_DE_AMONIO_50_KG	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
	UREA_GR_50_KG	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
	MURIATO_DE_POTASIO_GR_ROJO_50_KG	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
	DAP_(18-46-0)_50_KG	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000		1.000				
----	80 VARIABLE P.L	Cantidad de pedido minimo de producto i en el periodo j													
		DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22			
	UREA_PRILADA_50_KG	35.000	22.000	14.000	10.000	16.000	12.000	11.000	16.000	12.000	18.000	25.000			
	SULFATO_DE_AMONIO_GR_50_KG	16.000	16.000	15.000	13.000	17.000	22.000	21.000	19.000	19.000	19.000	13.000			
	NITRATO_DE_AMONIO_50_KG	15.000	16.000	16.000	15.000	17.000	18.000	19.000	15.000	18.000	14.000	12.000			
	UREA_GR_50_KG	6.000	5.000	5.000	6.000	12.000	15.000	13.000	11.000	12.000	9.000	7.000			
	MURIATO_DE_POTASIO_GR_ROJO_50_KG	9.000	12.000	11.000	10.000	7.000	11.000	9.000	8.000	10.000	7.000	8.000			
	DAP_(18-46-0)_50_KG	6.000	6.000	6.000	5.000	6.000	9.000		8.000		8.000				

ANEXO VI: Política actual de aprovisionamiento de inventario

UREA_PRILADA_50_KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	4,500	690	2,633	282	2,836	1,947	272	2,982	2,022	295	4,836	3,266	
Demanda	0	3,810	3,757	2,350	1,447	889	1,675	1,290	960	1,728	1,059	1,569	2,934	
Pedido de compra	5,700	0	4,000	0	0	4,000	0	0	5,600	0	0	0	0	
Recepción pedido	0	0	5,700	0	4,000	0	0	4,000	0	0	5,600	0	0	
Inventario final	4,500	690	2,633	282	2,836	1,947	272	2,982	2,022	295	4,836	3,266	332	
Costo de pedido	1,720	0	1,720	0	0	1,720	0	0	1,720	0	0	0	0	\$ 6,880
Costo de mantener	0	4,399	16,787	1,801	18,084	12,414	1,731	19,015	12,896	1,879	30,835	20,828	2,117	\$ 142,786
Costo total	1,720	4,399	18,507	1,801	18,084	14,134	1,731	19,015	14,616	1,879	30,835	20,828	2,117	\$ 149,666

SULFATO_DE_AMONIO_GR_50_KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	4,000	1,030	1,913	242	3,297	1,977	376	4,433	2,298	414	3,860	1,946	
Demanda	0	2,970	2,316	1,671	1,445	1,320	1,601	2,143	2,136	1,884	1,955	1,913	1,546	
Pedido de compra	3,200		4,500			6,200			5,400				0	0
Recepción pedido	0	0	3,200	0	4,500	0	0	6,200	0	0	5,400	0	0	
Inventario final	4,000	1,030	1,913	242	3,297	1,977	376	4,433	2,298	414	3,860	1,946	400	
Costo de pedido	1,720	0	1,720	0	0	1,720	0	0	1,720	0	0	0	0	\$ 6,880
Costo de mantener	0	6,565	12,200	1,542	21,025	12,608	2,398	28,269	14,652	2,641	24,611	12,411	2,551	\$ 141,471
Costo total	1,720	6,565	13,920	1,542	21,025	14,328	2,398	28,269	16,372	2,641	24,611	12,411	2,551	\$ 148,351

NITRATO_DE_AMONIO_50_KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	2,500	690	1,866	235	3,532	2,083	313	3,744	1,826	309	-1,495	1,700	
Demanda	0	1,810	1,824	1,632	1,602	1,449	1,770	1,769	1,918	1,516	1,805	1,405	1,351	
Pedido de compra	3,000	0	4,900	0	0	5,200	0	0	0	4,600	0	0	0	
Recepción pedido	0	0	3,000	0	4,900	0	0	5,200	0	0	0	4,600	0	
Inventario final	2,500	690	1,866	235	3,532	2,083	313	3,744	1,826	309	-1,495	1,700	349	
Costo de pedido	1,720	0	1,720	0	0	1,720	0	0	0	1,720	0	0	0	\$ 6,880
Costo de mantener	0	4,399	11,901	1,497	22,525	13,283	1,993	23,874	11,641	1,972	0	10,842	2,225	\$ 106,152
Costo total	1,720	4,399	13,621	1,497	22,525	15,003	1,993	23,874	11,641	3,692	0	10,842	2,225	\$ 113,032

UREA_GR_50_KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	1,000	284	611	125	1,905	1,410	342	2,807	1,467	356	2,167	1,151	
Demanda	0	716	772	487	520	495	1,069	1,535	1,340	1,112	1,189	1,016	731	
Pedido de compra	1,100	0	2,300	0	0	4,000	0	0	3,000	0	0	0	0	
Recepción pedido	0	0	1,100	0	2,300	0	0	4,000	0	0	3,000	0	0	
Inventario final	1,000	284	611	125	1,905	1,410	342	2,807	1,467	356	2,167	1,151	420	
Costo de pedido	1,720	0	1,720	0	0	1,720	0	0	1,720	0	0	0	0	\$ 6,880
Costo de mantener	0	1,809	3,898	795	12,146	8,993	2,179	17,901	9,357	2,269	13,818	7,337	2,676	\$ 83,178
Costo total	1,720	1,809	5,618	795	12,146	10,713	2,179	17,901	11,077	2,269	13,818	7,337	2,676	\$ 90,058

MURIATO_DE_POTASIO_GR_ROJO_50_KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	1,800	416	1,302	180	1,930	853	223	1,904	1,002	277	1,866	1,141	
Demanda	0	1,384	1,114	1,122	1,151	1,077	630	1,119	902	725	1,112	724	828	
Pedido de compra	2,000	0	2,900	0	0	2,800	0	0	2,700	0	0	0	0	
Recepción pedido	0	0	2,000	0	2,900	0	0	2,800	0	0	2,700	0	0	
Inventario final	1,800	416	1,302	180	1,930	853	223	1,904	1,002	277	1,866	1,141	313	
Costo de pedido	1,720	0	1,720	0	0	1,720	0	0	1,720	0	0	0	0	\$ 6,880
Costo de mantener	0	2,654	8,302	1,149	12,304	5,437	1,422	12,143	6,392	1,769	11,896	7,278	1,996	\$ 72,741
Costo total	1,720	2,654	10,022	1,149	12,304	7,157	1,422	12,143	8,112	1,769	11,896	7,278	1,996	\$ 79,621

DAP_(18-46-0)_50_KG

CONCEPTOS	PERÍODO DE EVALUACIÓN													TOTAL
	DIC_21	ENE_22	FEB_22	MAR_22	ABR_22	MAY_22	JUN_22	JUL_22	AGO_22	SEPT_22	OCT_22	NOV_22	DIC_22	
Inventario inicial	0	1,000	196	775	135	1,235	699	191	948	582	186	977	625	
Demanda	0	804	621	640	600	536	508	642	366	397	408	353	424	
Pedido de compra	1,200		1,700			1,400			1,200	0	0	0	0	
Recepción pedido	0	0	1,200	0	1,700	0	0	1,400	0	0	1,200	0	0	
Inventario final	1,000	196	775	135	1,235	699	191	948	582	186	977	625	200	
Costo de pedido	1,720	0	1,720	0	0	1,720	0	0	1,720	0	0	0	0	\$ 6,880
Costo de mantener	0	1,248	4,941	858	7,874	4,457	1,216	6,047	3,714	1,184	6,232	3,982	1,276	\$ 43,028
Costo total	1,720	1,248	6,661	858	7,874	6,177	1,216	6,047	5,434	1,184	6,232	3,982	1,276	\$ 49,908