



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

**“Evaluación De Políticas De Inventario Para Productos
Perecederos, En Una Empresa Ecuatoriana De Importación Y
Comercialización De Fruta Fresca.”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN GESTION DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Presentado por:

Johnny Cumbicos Narvárez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2025

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Jenny Gutierrez Ph.D.

Profesor de Materia

Xavier Cabezas Ph.D.

Tutor de proyecto

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Johnny Cumbicos Narváez acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 14 de marzo del 2025.

Johnny Cumbicos Narváez

RESUMEN

Este estudio presenta la implementación de un modelo matemático diseñado para determinar una política de inventario basado en criterios de optimización. Su propósito es proporcionar una herramienta clave para la toma de decisiones gerenciales en la planificación y gestión del abastecimiento de inventarios.

Con el propósito arriba expuesto, se examinó una empresa del sector de importación de frutas frescas, destinadas a su comercialización en el mercado ecuatoriano. Durante su manejo a lo largo de la cadena de suministro, estos productos experimentan un deterioro natural que puede acelerarse durante su ciclo de vida. Una gestión inadecuada de este tipo de inventario genera pérdidas en los márgenes de utilidad de la empresa. Además, la ausencia de una política formal de inventario mediante un mecanismo de optimización agrava aún más la problemática.

El objetivo general de este estudio es determinar una política de inventario óptima para la gestión de inventarios de la empresa, considerando la naturaleza perecedera de los productos que administra.

Para alcanzar este objetivo, se realizó un análisis de la cadena de suministro de la empresa y se identificó el producto con mayor impacto en el volumen de ventas mediante el análisis de Pareto. Asimismo, se examinaron los principales factores internos y externos que influyen en la gestión de inventarios. Posteriormente, se formuló un modelo matemático basado en la metodología de lot sizing, empleando programación lineal con el criterio de minimizar costos, sujeto a diversas restricciones, entre las cuales destaca la relacionada con el ciclo de vida del producto.

El modelo fue desarrollado y ejecutado en el software GAMS, utilizando CPLEX como solucionador de programación matemática especializado en programación lineal, lo que permitió obtener una solución óptima para el criterio utilizado.

Los resultados de los experimentos computacionales demostraron que la aplicación de esta metodología tiene un impacto significativo en la optimización de recursos de la empresa. El modelo mostró una reducción de costos superior al 100% en comparación con los datos reales del período analizado, definiendo una política con menor cantidad de órdenes de pedido y una reducción considerable en los niveles de inventario. Además, estos resultados demostraron ser robustos ante variaciones en los parámetros del modelo, como la inflación y las tasas de interés.

Finalmente, el análisis financiero aplicado a la solución evidenció que la implementación del modelo reduce los días de rotación del inventario, lo que implica una disminución en el ciclo de recuperación del efectivo y una mejora en la liquidez de la empresa. Adicionalmente, este ajuste permite un mayor apalancamiento financiero a través de sus proveedores.

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN

INDICE GENERAL

INTRODUCCION

CAPITULO 1.....	1
1. ANALISIS DE LA PROBLEMÁTICA Y CONTEXTO DE LA EMPRESA	1
1.1. Antecedentes de la empresa y sector.	1
1.2. Análisis del entorno.....	2
1.3. Planteamiento del problema.....	4
1.4. Objetivo General.	6
1.5. Objetivos Específicos.	6
1.6. Plan de trabajo y cronograma	7
1.7. Análisis y diagnóstico de la gestión de inventario.....	8
1.7.1. Análisis de la cadena de suministro	8
1.7.2. Clasificación de productos mediante el análisis ABC.....	9
CAPITULO 2.....	12
2. DESARROLLO DEL MODELO MATEMATICO PARA LA OPTIMIZACION DEL INVENTARIO. 12	
2.1. Selección de la metodología de optimización.....	12
2.2. Estructura de costos en la gestión de inventarios.....	13
2.3. Datos y definición de parámetros relevantes para la modelización	14
2.4. Selección del modelo de optimización	15
2.5. Desarrollo de experimentos computacionales.....	17
CAPITULO 3.....	18
3. FORMULACION Y ANALISIS DEL MODELO MATEMATICO.....	18
3.1. Definición de parámetros del modelo.....	18
3.2. Identificación de variables de decisión	19
3.3. Función objetivo y criterio de optimización	19
3.4. Restricciones y condiciones del modelo.....	20
3.5. Parametrización del modelo de Optimización	21
3.6. Resultados de los experimentos computacionales	22
3.7. Análisis de sensibilidad y robustez del modelo	25
3.8. Evaluación financiera y análisis de impacto	27
CAPITULO 4.....	28

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28
4.1.	Conclusiones.....	28
4.2.	Recomendaciones	29
	BIBLIOGRAFIA.....	31
	ANEXOS	32
	ANEXO A	33
	ANEXO B	34
	ANEXO C	35

INTRODUCCION

La industria alimentaria global ha experimentado transformaciones significativas en los últimos años, impulsadas por la evolución de las preferencias de los consumidores, avances tecnológicos y una creciente preocupación por la sostenibilidad y la seguridad alimentaria. Dentro de este contexto, la gestión eficiente de la cadena de suministro de productos frescos se ha convertido en un factor clave para garantizar la disponibilidad de alimentos de calidad, minimizar desperdicios y optimizar costos en un entorno altamente dinámico (Shukla & Jharkharia, 2013).

No obstante, esta industria enfrenta importantes desafíos relacionados con aspectos logísticos, regulatorios y operativos que afectan directamente los costos de los productos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, Junio 2023), el costo global de los alimentos se incrementará un 1.5% en 2023, tras un aumento del 11% en 2022. Estas presiones refuerzan la necesidad de optimizar los procesos dentro de la cadena de suministro, especialmente en la administración del inventario en todos sus eslabones.

Uno de los principales desafíos en la gestión de productos perecederos, como las frutas frescas, es la alta variabilidad en la demanda, la sensibilidad a las condiciones ambientales y la rápida degradación del producto, lo que exige estrategias de inventario bien estructuradas (Nahmias, 2011). Estudios recientes han abordado diversas estrategias para mejorar la eficiencia en la gestión de inventarios de productos perecederos. Por ejemplo, (Rahal & Elloumi, 2021) desarrollaron un modelo multi-escalón aplicado a la cadena de suministro de melones en Túnez, optimizando el tamaño de los pedidos y minimizando costos totales, además incorporaron variables como el deterioro del producto, el tiempo de almacenamiento y las pérdidas ocasionadas por desequilibrios entre la oferta y la demanda, mientras que (Roy & Chaudhuri, 2007) integraron estrategias de fijación de precios y políticas de inventario, demostrando que un enfoque conjunto puede maximizar las ganancias y reducir pérdidas.

La inclusión de los modelos propuestos en la revisión de la literatura descrita anteriormente permite abordar desafíos específicos relacionados con la alta perecibilidad de productos como las frutas. Estas herramientas son relevantes incluso para empresas dedicadas a la importación y comercialización de productos frescos, donde las variaciones en calidad y disponibilidad son comunes. La capacidad de predecir la demanda y optimizar niveles de inventario es fundamental para mantener la competitividad en un mercado altamente dinámico.

Sin embargo, a pesar de la relevancia de estos enfoques, la literatura sugiere que la optimización del inventario en productos agrícolas frescos sigue siendo un área fragmentada, con modelos que rara vez integran múltiples factores como la demanda estacional, el deterioro del producto y los costos logísticos de manera simultánea (Shukla & Jharkharia, 2013). La falta de metodologías integradas que aborden de manera holística la planificación de inventarios en este sector representa un desafío crítico para empresas que importan y comercializan frutas frescas, donde la variabilidad en calidad y disponibilidad del producto son factores recurrentes.

En este contexto, el presente trabajo se centra en analizar la gestión de inventarios de una empresa ecuatoriana dedicada a la importación y comercialización de frutas frescas. A través de un análisis detallado de su cadena de suministro, procesos de

abastecimiento y administración de inventarios, se propone implementar un modelo matemático de programación lineal que permita establecer una política de inventario adecuada para productos perecederos y que finalmente garantice la rentabilidad de la empresa en un entorno de alta competencia.

La estructura del trabajo está organizada de la siguiente manera: en el capítulo 1 se presentan los antecedentes de la empresa, identificando la problemática específica a resolver. El capítulo 2 describe la metodología empleada, incluyendo el modelo de optimización propuesto. En el capítulo 3 se presentan los resultados del análisis y la aplicación de la metodología, mientras que el capítulo 4 finaliza con las conclusiones y recomendaciones para la mejora de la gestión de inventarios de la empresa.

CAPITULO 1

1. ANALISIS DE LA PROBLEMÁTICA Y CONTEXTO DE LA EMPRESA

En esta sección se presenta un resumen del desempeño económico y operativo de la empresa, así como el análisis del entorno en el que opera. Se pone énfasis en la identificación de los principales síntomas del problema a resolver y en la formulación de los objetivos específicos que orientan el presente estudio.

1.1. Antecedentes de la empresa y sector.

El presente estudio se enfoca en una empresa del sector de comercialización de frutas frescas importadas, un grupo económico que ha tenido un desempeño estable en los últimos años. Según cifras del Banco Central del Ecuador, las importaciones realizadas por este sector alcanzaron un valor de 143 millones de dólares en el año 2023, lo que representa un incremento del 7.57% en comparación con 2019, cuando el total ascendió a 133 millones de dólares. Esta categoría de productos constituye aproximadamente el 4% de las importaciones totales de bienes de consumo no duradero en el país. Cabe destacar que durante la pandemia del COVID-19, el volumen de importación experimentó un aumento del 13% respecto al periodo anterior, atribuible principalmente a un cambio en las preferencias de los consumidores hacia alimentos más saludables.

La Tabla 1 presenta las estadísticas sobre las importaciones por país de origen en el periodo desde 2019 al 2023, en ésta se puede observar que las importaciones de frutas frescas en Ecuador provienen mayoritariamente desde Chile, un país con una industria agrícola altamente tecnificada, seguido por naciones que conforman el bloque de la Unión Europea. Estos países son los principales exportadores de frutas a nivel mundial, especialmente de manzanas y mantienen acuerdos de comercio bilaterales con Ecuador, que permiten la exoneración de aranceles y facilitan el acceso a estos productos en el mercado local.

TABLA 1

Importaciones de Frutas en Ecuador por País de Origen

(miles de dólares americanos)

Pais de Origen	2019	2020	2021	2022	2023
Chile	\$ 96,386	\$101,589	\$109,253	\$110,178	\$ 95,311
Union Europea	\$ 8,433	\$ 14,469	\$ 9,267	\$ 13,849	\$ 23,512
Estados Unidos de América	\$ 14,053	\$ 13,350	\$ 9,665	\$ 8,000	\$ 10,976
Perú	\$ 5,010	\$ 6,804	\$ 4,371	\$ 4,331	\$ 3,631
Argentina	\$ 2,836	\$ 4,868	\$ 3,017	\$ 3,033	\$ 6,005
Colombia	\$ 3,811	\$ 7,810	\$ 3,074	\$ 920	\$ 815
Türkiye	\$ 850	\$ 282	\$ 384	\$ 809	\$ 912
Otros	\$ 2,479	\$ 2,119	\$ 1,791	\$ 2,139	\$ 2,828
Total Importaciones	\$133,858	\$151,291	\$140,822	\$143,259	\$143,990

Fuente: Estadísticas del Banco Central del Ecuador

En cuanto al abastecimiento, Chile provee frutas al mercado ecuatoriano durante la primera mitad del año, especialmente entre los meses desde febrero hasta agosto. A partir de ese período, la Unión Europea, con Italia como principal proveedor, asegura el suministro desde agosto hasta enero del año siguiente. Este esquema permite mantener una oferta continua durante todo el año calendario. No obstante, el volumen de importación desde Chile tiende a ser mayor, principalmente debido a los costos logísticos más bajos asociados al transporte, lo que tiene un impacto significativo en los costos de los productos, el comportamiento del consumidor y en la dinámica de la demanda.

1.2. Análisis del entorno.

La empresa mantuvo durante más de una década, una posición de mercado relativamente estable en este sector de la economía, siendo una de las principales importadoras de fruta fresca y comercializadoras de este producto a nivel nacional. Sin embargo, esta posición relativa se ha ido deteriorando en los últimos años, más aún luego de la pandemia, que creó un nuevo entorno, de escasez de productos y elevados costos dentro de la cadena de suministro. La concentración de mercado, caracterizada por la entrada y salida de nuevas empresas también generó una dinámica de alta competitividad¹, reduciendo los márgenes de utilidad, que obligó a la administración de la empresa a enfocarse en cada uno de los procesos administrativos y operativos del giro de negocio, con el objetivo de mejorar la eficiencia de sus procesos a través de la reducción de costos y la gestión adecuada de los productos, sumado al análisis de valor que cada área aporta al valor total de la empresa.

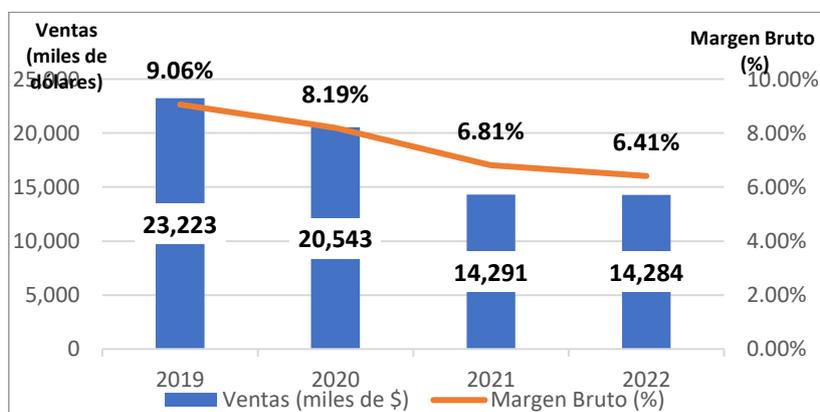


Figura 1.1 Evolución del volumen de ventas en dólares.

Fuente: Sistema contable de la empresa

La Figura 1.1 presenta la evolución de las ventas totales en miles de dólares que realizó la empresa y el margen bruto, que corresponde al ingreso neto por cada dólar vendido, durante el periodo comprendido entre 2019 y 2022. Se observa, por una parte, una

¹ En el año 2021 existían alrededor de 46 importadores mientras que para el año 2022 esta cifra bajó a 30 empresas entre personas naturales y jurídicas.

disminución importante en las ventas a lo largo del periodo analizado, pero sobre todo una reducción importante del margen bruto que es un indicador importante del desempeño financiero de la compañía.

Estos resultados tienen su impacto en la participación de mercado de la empresa, medida por el volumen de importaciones que se realizaron durante el periodo analizado, como lo ilustra la figura 1.2 se registró una disminución entre 2018 y 2022, esta participación pasó del 22.09% al 12.61%, lo que evidencia una pérdida significativa de competitividad.

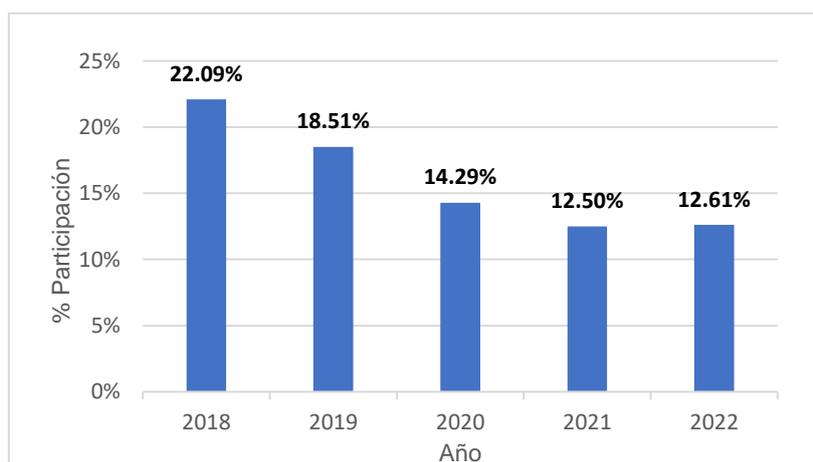


Figura 1.2 Participación de la Empresa en el total de importaciones de fruta fresca.

Fuente: Organización Mundial de Comercio, cálculos del Centro de Comercio Internacional (CCI)

El escenario descrito anteriormente implica que estos resultados pudieran provenir como consecuencia de la gestión operativa actual que se tiene del manejo de inventario de sus productos, esto se puede interpretar analizando la tabla 2, que muestra el margen bruto junto con la rotación de inventario (la razón del costo de los bienes vendidos o las ventas para su nivel promedio de inventario), que es una medida comúnmente utilizada para medir el desempeño de los administradores del inventario.

TABLA 2

Indicadores de desempeño: Margen Bruto y Rotación de Inventario

Año	Margen Bruto (%)	Rotación Inventario
2019	9.06%	14.29
2020	8.19%	14.95
2021	6.81%	8.85
2022	6.41%	11.13

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2 muestra que en el año 2021 la rotación de inventario tuvo una caída significativa con respecto al año 2020 lo que podría sustentar el declive tanto en las ventas totales como en los márgenes de ganancia de la compañía. Al año 2022 estos indicadores no han regresado a los registrados en el año 2019, año previo a la

pandemia. Una mirada más exhaustiva se presenta en el planteamiento del problema que pondrá relevancia en los aspectos de la gestión de inventario que pudieran tener impacto en los indicadores de desempeño de la compañía anteriormente descritos.

Este contexto plantea la necesidad de que la empresa implemente mejoras sustanciales en su desempeño, enfocándose en una gestión más eficiente de su cadena de valor. Además, resulta imprescindible, dado que la empresa administra productos perecibles como las frutas, en estado fresco, desarrollar herramientas que integren el impacto de la perecibilidad de los productos en los procesos de toma de decisiones, con el fin de satisfacer las crecientes exigencias de los consumidores y fortalecer su posición en el mercado.

1.3. Planteamiento del problema.

En esta sección se analizan los principales desafíos operativos identificados en la empresa durante el año 2022, con un enfoque en la gestión de inventarios y los impactos financieros asociados.

El diagnóstico inicial, realizado a una muestra de SKUs (Stock Keeping Unit) como las manzanas, revela dos escenarios críticos que afectan la rentabilidad y la eficiencia operativa.

El primer escenario, presentado en la Tabla 3, permite observar márgenes de utilidad bruta negativos en los meses de marzo, abril, mayo y agosto. Esta situación puede atribuirse al exceso de inventario acumulado en estos periodos de alta oferta. La cosecha y embarques de exportación de manzana hacia el país comienza a mediados de febrero y alcanza su pico en los meses de marzo, abril y mayo, periodo durante el cual se realizan órdenes de compra todas las semanas en base a la experiencia y expectativas de ventas que no necesariamente se cumplen, debido a que se carece de una planificación que provenga de un proceso de optimización. Esto incrementa los costos de mantener inventario que redundan en los resultados financieros adversos como los expuestos en la tabla 3.

TABLA 3

Margen Bruto Por Mes Grupo Manzanas

Año 2022	Ventas del periodo	Costo de Ventas	Margen bruto	Margen bruto (%)
Enero	\$ 849,305.15	\$ 710,390.42	\$ 138,914.73	16.36%
Febrero	\$ 719,579.45	\$ 676,145.64	\$ 43,433.81	6.04%
Marzo	\$ 844,624.80	\$ 845,139.79	\$ (514.99)	-0.06%
Abril	\$ 694,532.60	\$ 726,780.52	\$ (32,247.92)	-4.64%
Mayo	\$ 809,371.65	\$ 866,764.50	\$ (57,392.85)	-7.09%
Junio	\$ 737,421.71	\$ 724,130.63	\$ 13,291.08	1.80%
Julio	\$ 912,821.97	\$ 862,907.28	\$ 49,914.69	5.47%
Agosto	\$ 899,044.70	\$ 933,137.58	\$ (34,092.88)	-3.79%
Septiembre	\$ 905,755.30	\$ 824,564.14	\$ 81,191.16	8.96%
Octubre	\$ 640,457.05	\$ 518,518.90	\$ 121,938.15	19.04%
Noviembre	\$ 541,737.50	\$ 377,281.71	\$ 164,455.79	30.36%
Diciembre	\$ 499,004.65	\$ 303,114.32	\$ 195,890.33	39.26%
Total	\$ 9,053,656.53	\$ 8,368,875.43	\$ 684,781.10	7.56%

Fuente: Sistema Gerencial de la empresa

El segundo escenario, detallado en la Tabla 4, se relaciona con el manejo de los tiempos de perecibilidad de las frutas frescas. Para este tipo de productos es fundamental rotar el inventario lo más rápido posible, de tal manera que los consumidores puedan obtener siempre un producto fresco.

Si bien las manzanas son un producto con mayor tiempo de vida, (Bhosale & Sundaram, 2011) analizaron este tema, considerando los factores que influyen en la calidad de la manzana y concluyeron que la manzana se degrada de forma lineal hasta 15 días para luego incrementar su degradación a altas tasas después de los 15 días, lo que implica que después de este periodo de tiempo es posible que pierda frescura y por consiguiente valor comercial. En la tabla 4 se evidencia niveles bajos de rotación de inventario y un promedio de días de stock entre 21 y 37 días en siete de los doce meses analizados.

Estos altos niveles de antigüedad del inventario presentan varios problemas, uno de estos se debe a la antigüedad excesiva del inventario, que implica una reducción significativa en la calidad de los productos por superar el tiempo de vida útil, lo que afecta negativamente la percepción del cliente y la competitividad de la empresa. La baja rotación y los altos días de stock contribuyeron directamente a los márgenes negativos observados en el primer escenario. Esto se debe a la necesidad de ofrecer descuentos elevados para evitar el desperdicio de productos al final de su vida útil.

Adicionalmente, considerando que el periodo de reabastecimiento de la empresa es de aproximadamente 15 días, los productos con largos tiempos de almacenamiento tuvieron que ser vendidos rápidamente con precios reducidos, impactando directamente en la rentabilidad de la empresa. Estos hallazgos resaltan la necesidad de optimizar las políticas de inventario, alineando mejor los niveles de stock con la demanda proyectada.

TABLA 4

Indicadores de Inventario Grupo Manzanas

Año 2022	Inventario Promedio	Indice Rotación	Días de Stock
Enero	44,140	0.79	37.77
Febrero	16,898	1.86	14.55
Marzo	15,099	2.54	11.79
Abril	29,694	1.13	25.71
Mayo	33,749	1.23	24.37
Junio	38,923	0.89	32.53
Julio	50,156	1.02	29.30
Agosto	50,770	0.89	33.64
Septiembre	29,743	1.34	21.69
Octubre	12,252	1.97	15.21
Noviembre	7,569	2.49	11.66
Diciembre	7,277	1.97	15.24

Fuente: Sistema Gerencial de la empresa

Estos escenarios reflejan una gestión ineficiente del inventario, caracterizada por un desequilibrio entre oferta y demanda, así como por la falta de estrategias adecuadas para manejar la alta perecibilidad de los productos.

En resumen, el problema identificado en la gestión de inventario de la empresa radica en la ausencia de una política de inventario, que establezca criterios para determinar las cantidades óptimas a ordenar (compras de stock) y la frecuencia que se deben realizar estas órdenes. Como consecuencia las decisiones se basan principalmente en la experiencia y juicios subjetivos, los cuales, si bien son valiosos, no incorporan metodologías de optimización que, en conjunto, permitan mejorar la eficiencia y reducir la incertidumbre en la toma de decisiones de la alta gerencia. Además, la administración actual del inventario no considera adecuadamente la naturaleza perecedera de las frutas frescas, lo que provoca acumulación excesiva de stock y aumento del riesgo de pérdidas por deterioro. La falta de estos elementos produce decisiones sesgadas e ineficientes en la gestión de inventario, que tienen un impacto negativo en los resultados económicos de la empresa como se ha evidenciado previamente.

1.4. Objetivo General.

Habiendo planteado el contexto de la problemática a resolver, el objetivo general del presente proyecto de investigación es evaluar y determinar una política de inventario eficiente para la empresa objeto de estudio, tomando como referencia un producto o grupo de productos, y utilizando un modelo de optimización de inventario que considere la naturaleza perecedera de estos productos. De esta forma los directivos podrán tener una herramienta para la toma de decisiones que provenga de un proceso de optimización.

1.5. Objetivos Específicos.

- Analizar la cadena de suministro de la empresa objeto del presente estudio.
- Determinar el producto de mayor representatividad en volumen de ventas de la empresa, aplicando el método ABC de productos.
- Establecer los determinantes internos y externos que puedan incidir en la gestión de inventario de los productos perecederos.
- Desarrollar el modelo de optimización de inventario.
- Simular la aplicación de la política de inventario sugerida para el producto perecible de estudio.

1.6. Plan de trabajo y cronograma

El desarrollo de las actividades a realizar en el marco del presente trabajo se muestra en la figura 1.3.

ACTIVIDADES DEL PROYECTO DE TITULACION													
		Diciembre			Enero				Febrero				Marzo
		Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.1
1. INTRODUCCION													
1.1. Marco Teórico													
	Revisión de las teorías que subyacen a la metodología y contexto del problema												
1.2. Resultados de otras investigaciones													
	Recopilación y lectura de documentos de trabajo relacionados al tema												
	Revisión y validación con Tutor												
2. ANALISIS Y PLANTEAMIENTO DE LA EMPRESA													
2.1. Análisis de datos													
	Recopilación de información primaria												
	Validación con personal de la empresa												
	Revisión de los datos y análisis estadístico												
	Revisión y validación con Tutor												
3. MODELO MATEMATICO													
3.1. Experimentos computacionales													
	Planteamiento del modelo												
	Presentación Primer Avance												
	Implementación del modelo y uso del software apropiado												
	Experimentación y Simulación de escenarios												
	Revisión y validación con Tutor												
	Presentación Segundo Avance												
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES													
	Desarrollo de conclusiones finales												
	Recomendaciones y sugerencias para estudios posteriores												
	Revisión y validación con Tutor												
	Presentación Final												

Figura 1.3 Actividades del Proyecto de Titulación

Fuente: Elaboración propia

1.7. Análisis y diagnóstico de la gestión de inventario

1.7.1. Análisis de la cadena de suministro

En este apartado se describirá el funcionamiento de la cadena de suministro para la importación de frutas frescas en el mercado ecuatoriano, así como las operaciones específicas de la empresa objeto de estudio dentro de esta cadena.

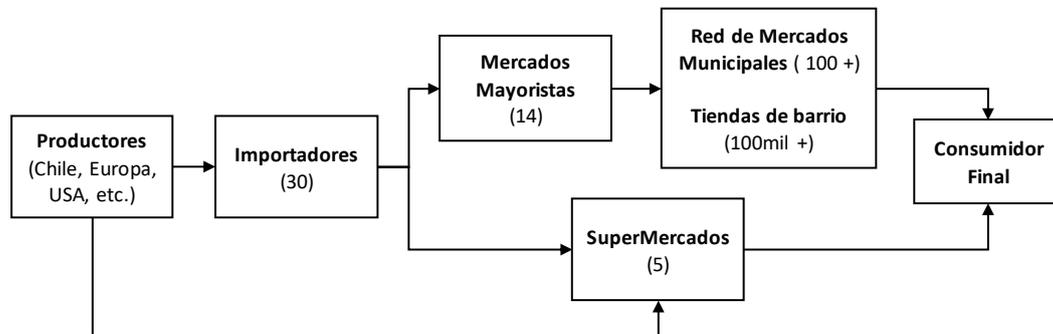


Figura 1.4. Cadena de Suministro Importación de Frutas Frescas

Fuente: Elaboración propia

La cadena de suministro para la comercialización de frutas frescas, representada en la Figura 1.3, está integrada por cinco actores principales: productores, importadores, mercados mayoristas, supermercados y una red de mercados minoristas, incluyendo tiendas de barrio ubicadas en diversas ciudades. Esta estructura refleja la interconexión entre distintos eslabones que aseguran el suministro continuo de frutas frescas al mercado ecuatoriano.

Productores: Los productores, localizados principalmente en países con los que Ecuador mantiene relaciones comerciales, como Chile, son responsables de la producción, cosecha y embalaje de los productos para el embarque. La empresa analizada colabora con más de seis productores, algunos de los cuales también actúan como exportadores directos, mientras que otros son intermediarios. De estos, un proveedor principal abastece el 60% del volumen total importado.

Importadores Mayoristas: La empresa objeto de estudio desempeña el rol de importador mayorista, almacenando grandes volúmenes de fruta durante todo el año. Este eslabón centraliza la oferta, permitiendo la distribución hacia mercados mayoristas y minoristas.

Mercados Mayoristas y Minoristas: Los mercados mayoristas de las provincias adquieren los productos directamente desde las bodegas del importador, basándose en las previsiones de demanda de sus clientes, que incluyen mercados municipales y tiendas de barrio.

Supermercados. Los supermercados o empresas de retail, por su parte, eliminan intermediarios al atender directamente al consumidor final, ya sea importando directamente o realizando pedidos a los importadores mayoristas.

El abastecimiento de la empresa se realiza semanalmente, generalmente al inicio de cada semana. Este proceso es liderado por el propietario, quien toma decisiones basadas en factores como los niveles de stock, el precio, la calidad del producto, la temporada y la semana del mes. Los pedidos son enviados a los productores-exportadores, quienes verifican la disponibilidad de su inventario y coordinan las

reservas de transporte marítimo² en conjunto con el área de comercio exterior de la empresa importadora. Este procedimiento, desde la colocación del pedido hasta la recepción del producto en las bodegas del importador, toma en promedio quince días, considerando los tiempos de despacho, transporte marítimo (ocho días), y trámites aduaneros (uno o dos días).

Los intermediarios de los mercados mayoristas realizan su abastecimiento dos veces por semana, lo que puede coincidir con la llegada de productos frescos o con inventarios de tres a cuatro días de antigüedad. Sin embargo, uno de los desafíos más críticos para la empresa radica en el equilibrio entre oferta y demanda.

Pedidos excesivos: Si la cantidad importada excede la demanda, los productos pueden permanecer almacenados por más de una semana, reduciendo su frescura y aumentando la probabilidad de deterioro. Esto genera devoluciones por parte de los clientes y costos adicionales asociados al manejo de productos deteriorados.

Calidad insuficiente: Una calidad inadecuada o productos con tiempos de almacenamiento elevados pueden derivar en rechazos por parte de los clientes. Esto obliga a la empresa a ofrecer descuentos significativos o, en casos extremos, desechar o incinerar los productos no vendidos, incrementando las pérdidas.

1.7.2. Clasificación de productos mediante el análisis ABC.

El análisis ABC constituye una herramienta fundamental para la gestión de inventarios, ya que permite priorizar aquellos productos que generan el mayor impacto en las ventas totales. En el caso de la empresa objeto de estudio, el portafolio de productos para el año 2022, está compuesto por aproximadamente 400 SKU, los cuales se identifican en función de características específicas como especie (manzanas, peras, entre otras), variedad (Royal Gala, Granny Smith, etc.), tamaño (medida del fruto), peso, color, calidad y la marca del proveedor. Para simplificar el análisis, se han agrupado los productos hasta el nivel de variedad, reduciendo el número total a 42 categorías³.

La clasificación ABC de los productos, se realizó considerando el criterio de las ventas (Nahmias & Lennon, Production and Operation Analysis, 2015), Este enfoque prioriza los productos que generan un alto porcentaje de las ventas totales y que representan una proporción pequeña del portafolio total. En el caso analizado, los resultados se presentan en la Tabla 5, donde se observa que: siete productos, que representan solo el 16.67% del total de categorías, contribuyen con el 79.94% de las ventas totales del año 2022. Por otro lado, 25 productos generan únicamente el 5.37% de las ventas totales, lo que indica que su impacto en la rentabilidad es significativamente menor.

² La empresa importadora negocia con sus proveedores en términos FOB (free on board).

³ Ver Anexo A

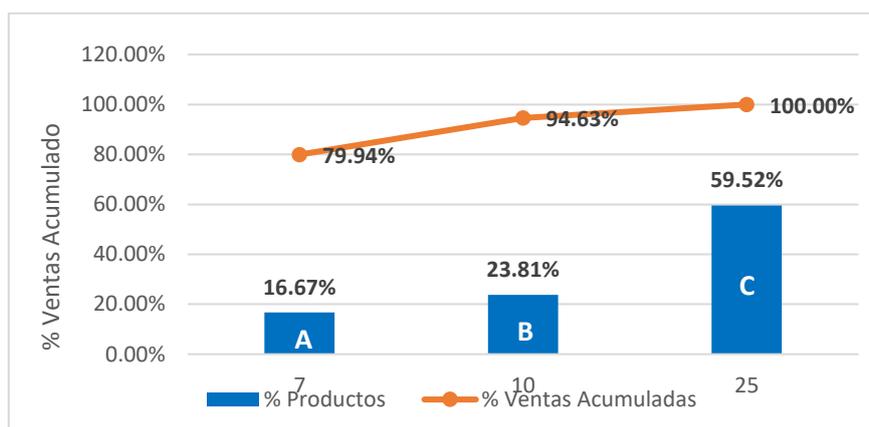
TABLA 5

CLASIFICACION ABC EN FUNCION DE LAS VENTAS

Rango	Clasificación	# Productos	% Productos	% Ventas totales	% Ventas Acumuladas
0 - 80%	A	7	16.67%	79.94%	79.94%
80% - 95%	B	10	23.81%	14.69%	94.63%
95% - 100%	C	25	59.52%	5.37%	100.00%
	Total	42	100.00%	100.00%	

Fuente: Elaboración propia

La Figura 1.4, muestra un diagrama de Pareto que permite visualizar de manera gráfica el impacto de las distintas categorías de productos en las ventas totales. Este gráfico destaca las diferencias en el aporte relativo de cada grupo y justifica la asignación de recursos para el control y manejo de inventarios, priorizando los productos de mayor impacto (categoría A) y aplicando estrategias más simples para los productos de menor relevancia (categorías B y C).

**Figura 1.5 Diagrama de Pareto Clasificación ABC**

Fuente: Elaboración propia

Con base en la clasificación ABC, se seleccionó el grupo de producto “manzanas” para un análisis detallado, ya que cuatro de los siete productos incluidos en la categoría A pertenecen a este grupo. Estos productos representan cerca del 60% de las ventas totales del portafolio, lo que subraya su importancia estratégica dentro de la operación de la empresa. La distribución detallada de los productos clasificados en la categoría A se presenta en la Tabla 6, donde se evidencia su contribución a las ventas totales de la empresa durante el año 2022.

TABLA 6

PRODUCTOS CLASIFICADOS EN LA CATEGORIA A

Id	Especie	Variedad	Precio	Demanda Anual	Ventas totales	% Ventas Totales	Clasificación	%
1	MANZANA	ROYAL GALA	22.53	276,533	6,230,381.02	43.58%	A	79.94%
2	UVAS	RED GLOBE	17.73	88,585	1,570,619.65	10.99%	A	
3	MANZANA	GRANNY SMITH	25.01	57,573	1,440,101.77	10.07%	A	
4	PERAS	FORELLE	23.36	31,432	734,270.20	5.14%	A	
5	MANZANA	RED DELICIOUS	24.47	23,874	584,208.87	4.09%	A	
6	MANZANA	PINK LADY	19.94	26,473	527,912.50	3.69%	A	
7	CEREZAS	SANTINA	18.70	18,206	340,393.50	2.38%	A	

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 2

2. DESARROLLO DEL MODELO MATEMATICO PARA LA OPTIMIZACION DEL INVENTARIO

En este capítulo, se describe detalladamente la metodología seleccionada para abordar el problema planteado en la sección anterior. La metodología se ha elegido con el objetivo de garantizar un enfoque formal que permita obtener resultados claros, interpretables y robustos, orientados tanto a la gerencia operativa como, especialmente, a los responsables de las decisiones estratégicas de abastecimiento de la empresa.

2.1. Selección de la metodología de optimización.

La metodología adoptada en este trabajo de investigación se fundamenta en los principios de la administración científica de inventarios, utilizando la formulación de un modelo matemático de optimización. Esta elección responde a varios criterios clave descritos a continuación, en línea con los planteamientos de (Silver, Pyke, & Thomas, 2017):

El modelo debe estar alineado con los objetivos estratégicos de la empresa, especialmente en lo referente a la eficiencia en la gestión de inventarios. Dado que la gestión de inventarios constituye el eje central de las operaciones de la empresa en estudio, es fundamental emplear un enfoque que permita medir la eficiencia de esta área crítica, considerando la evaluación de alguna medida de desempeño como los costos relevantes de administrar el inventario.

Se busca también que los resultados obtenidos sean accesibles y manejables para la alta dirección. Esto implica presentar los hallazgos en un formato agregado, complementado con representaciones gráficas que faciliten la interpretación y toma de decisiones.

Además, el modelo se diseñará bajo el principio de simplicidad, incorporando solo las variables esenciales que reflejen las realidades operativas descritas en el capítulo anterior, como la perecibilidad de los productos. Este enfoque permite mantener el modelo manejable, evitando complejidades innecesarias que puedan implicar altos costos en tiempo y recursos. A partir de una versión inicial simple, se pretende generar información útil y aplicable para la solución del problema.

Finalmente, el modelo se diseñará con la intención de aprovechar el conocimiento acumulado en problemas similares. Una estrategia eficiente consiste en identificar si el problema actual comparte características con otros previamente resueltos o si puede ser transformado en un problema conocido. Este enfoque permite emplear métodos y soluciones ya desarrolladas, optimizando así los recursos y el tiempo necesario para abordar el problema.

2.2. Estructura de costos en la gestión de inventarios

El siguiente paso en la implementación de la metodología consiste en analizar el tipo de información disponible y examinar cómo esta se genera dentro del sistema contable y de costos de la empresa. En esta misma línea, resulta esencial comprender las métricas utilizadas para medir los costos asociados al manejo del inventario y determinar cuáles son los más relevantes al parametrizar los modelos seleccionados.

Asimismo, es crucial incluir en el análisis aquellos costos significativos que no están necesariamente registrados en los sistemas contables tradicionales, como los costos de oportunidad. Numerosos estudios científicos y trabajos de modelización matemática han identificado ciertos costos clave que desempeñan un papel fundamental en la toma de decisiones relacionadas con la administración de inventarios (Silver, Pyke, & Thomas, 2017).

El valor unitario o costo variable unitario. Este valor, en el contexto de los productos gestionados por la empresa y el esquema de abastecimiento de su cadena de suministro, corresponde al precio pagado al proveedor⁴. Dicho costo incluye el transporte marítimo, los costos derivados de procesos de aduana y/o nacionalización que varían con la cantidad importada, así como el transporte interno hasta las bodegas del importador. Esta información está disponible en el sistema contable de la empresa, lo que permite obtener una aproximación bastante precisa del costo aplicable a cada SKU (Stock Keeping Unit).

El costo de mantener inventario. Este costo representa el costo de oportunidad del dinero invertido en el inventario. La formulación más utilizada es la siguiente:

$$\text{Costos de mantener inventario} = \bar{I}pr \quad (1)$$

Donde \bar{I} , representa el inventario promedio en unidades, p el costo variable unitario y r , el cargo por mantener inventario. Este valor así definido, también depende de los costos asociados al almacenamiento, algo que en la práctica es muy difícil asociar a cada SKU, por consiguiente, para efectos de la aplicación de la metodología se considerará r , como la tasa de interés a la cual se podría colocar una inversión, en alguna institución financiera, en lugar de destinar los fondos a financiar el inventario de la empresa.

El costo de colocar una orden. Este costo se refiere al gasto incurrido cada vez que se realiza un pedido al proveedor, independientemente de la cantidad solicitada. Este costo será determinado según el contexto operativo de la empresa. Sin embargo, con el uso de nuevas tecnologías de información y sistemas transaccionales, estos costos deberían ser mínimos, probablemente asociados a una proporción de la remuneración del personal encargado de gestionar los pedidos.

⁴ Como se mencionó en un apartado anterior las negociaciones entre la empresa y sus proveedores, en su mayoría, son en términos FOB (free on board),

2.3. Datos y definición de parámetros relevantes para la modelización

Hay otro tipo de información importante, además de los costos, que deben ser consideradas en el modelo matemático seleccionado. Estas incluyen:

Lead Time: El lead time es el tiempo que transcurre desde que se coloca una orden al proveedor hasta que se recibe en la bodega del importador. Esta variable es esencial para definir el momento adecuado para realizar un pedido y evitar desabastecimientos no programados.

Patrón de Demanda: Para el desarrollo del modelo se usarán los datos históricos de la demanda del producto manzana, variedad royal gala, correspondiente al año 2022 con periodicidad semanal. El patrón de demanda se conoce previamente interpretándose preliminarmente como determinística y variable en el tiempo. Esta característica permite ajustar el modelo para reflejar las condiciones reales del entorno empresarial.

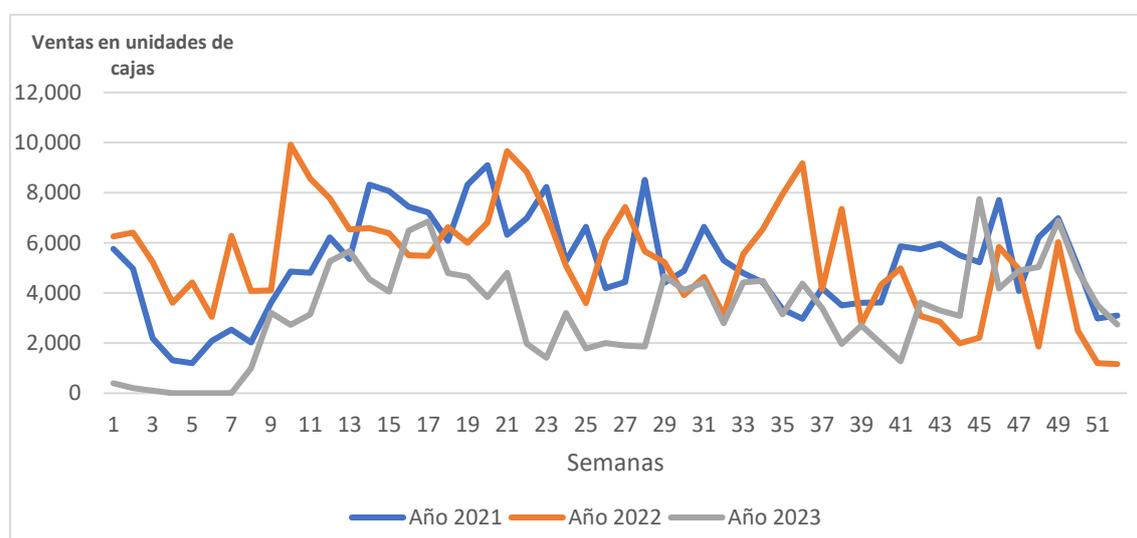


Figura 2.1 Demanda Manzana Royal Gala

Fuente: Elaboración Propia

La figura 2.1, ilustra la evolución de la demanda, en unidades de cajas, del producto manzana, variedad royal gala, para los periodos 2021, 2022 y 2023, en el que se puede observar el patrón estable que presentan los datos.

Tiempo de Perecibilidad del Producto: Uno de los parámetros más importantes y el principal aporte de este trabajo es la consideración del tiempo de perecibilidad de los productos. Esto permitirá establecer políticas de inventario que minimicen el deterioro y las pérdidas en los márgenes de utilidad. En el artículo presentado por (Rahal & Elloumi, 2021), proponen utilizar un modelo de administración de inventario multinivel que incluye la tasa de deterioro del producto, la cual es constante y conocida, calculada estimando la duración mínima y máxima del producto en cada etapa de la cadena de suministro. Otro artículo importante y que se tomara de referencia para definir un tiempo de vencimiento del producto es el elaborado por (Bhosale & Sundaram, 2011), en el cual los autores proponen la elaboración de una ecuación para predecir el tiempo de vida de

una manzana, considerando factores que afectan su calidad, como firmeza, color de la manzana, temperatura atmosférica y tasa de respiración. Los autores concluyen que la manzana se degrada hasta quince días de forma lineal para luego degradarse a altas tasas que pueden tener un impacto significativo en la calidad y frescura del producto.

2.4. Selección del modelo de optimización

La siguiente etapa de la metodología consiste en seleccionar un modelo matemático que interrelacione los objetivos del sistema y las variables controlables y no controlables definidas en las secciones anteriores.

En la literatura de gestión de inventarios existen varios modelos que se han implementado de acuerdo con características particulares de las situaciones a modelar, en las que se considera el patrón de demanda, si es determinística o estocástica, el lead time si es constante o variable, horizonte de planificación de un solo periodo o varios, entre otros elementos. Además, se han desarrollado varios modelos específicos para productos perecibles, que consideran factores como la vida útil, la tasa de deterioro y la demanda, ejemplos de éstos son: el modelo news vendor, modelos de revisión continua y periódica con perecibilidad entre otros, sin embargo algunos de estos mantienen supuestos o son necesaria cierta información que puede no estar disponible para el propósito del presente de trabajo, como por ejemplo, datos de demanda insatisfecha y supuestos en los parámetros como la demanda que no son específicos de la situación que se propone modelar.

Debido a que el patrón de demanda que debe satisfacer la compañía es conocido y varía con el tiempo y que además se pretende analizar un horizonte finito de periodos se utilizara el modelo Lot Sizing expuesto por (Silver, Pyke, & Thomas, 2017), en el que utilizan un método de programación lineal para su resolución. Este modelo permite determinar la política óptima de pedido en sistemas de inventario con demanda determinística y variable en el tiempo, minimizando los costos de preparación o pedido y los costos de mantenimiento de inventario durante un horizonte de planificación específico.

La formulación se muestra desde la ecuación (2) hasta la (5).

Notación:

$D(j)$:	Requerimientos en el periodo j
I_j	Inventario final en el periodo j
$F(j)$	Costo total de la mejor estrategia de reabastecimiento que satisface los requerimientos de demanda en los periodos $1, \dots, j$.
Q_j	Cantidad de reabastecimiento en el periodo j
A	Costo fijo de colocar una orden
v	Costo variable unitario
r	Costo de oportunidad del dinero invertido en el inventario
δ	Variable binaria que indica si se coloca o no la orden en el periodo j

Minimizar:

$$F(j) = \sum_{j=1}^T [A\delta(Q_j) + I_jvr] \quad (2)$$

Sujeto a:

$$I_j = I_{j-1} + Q_j - D(j), \quad j = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$Q_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$I_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, T \quad (5)$$

Donde: $\delta(Q_j) = \begin{cases} 0 & \text{si } Q_j = 0 \\ 1 & \text{si } Q_j > 0 \end{cases}$

Este modelo originalmente presentado en el libro de (Silver, Pyke, & Thomas, 2017) puede ser adaptado, facilitando la comprensión de las variables incluidas en su modelación, siguiendo la notación y formulación de la siguiente forma:

Notación del modelo Lot Sizing

Q_i	Cantidad por ordenar en el subperiodo i
Z_i	1 si $Q_i > 0$, 0 en otro caso
B	Inventario inicial en el subperiodo i
E	Inventario final en el subperiodo i
D	Demanda durante el periodo de planificación
D_i	Demanda durante un subperiodo $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ luego de dividir el periodo de planificación en n intervalos discretos
K	Costo fijo por pedido (\$ p / pedido)
p	Precio de compra por unidad de producto (\$/unidad)
r	Porcentaje de interés. Rendimiento del dinero por unidad de tiempo (\$/\$/t)
h	Costo de almacenamiento por unidad de producto por unidad de tiempo (\$/u/t)
M	Un número grande

Minimizar:

$$\sum_{i=1}^n KZ_i + \sum_{i=1}^n hE_i \quad (6)$$

Sujeto a:

$$B_1 = 0 \quad (7)$$

$$B_i - E_{i-1} = 0, \quad \forall i \in \{2, \dots, n\} \quad (8)$$

$$E_i - Q_i - B_i + D_i = 0, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (9)$$

$$MZ_i - Q_i \geq 0, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (10)$$

$$B_i \geq 0, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (11)$$

$$E_i \geq 0, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (12)$$

$$Q_i \geq 0, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (13)$$

$$Z_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (14)$$

Algunos supuestos se pueden destacar, en primer lugar, el lead time es igual a cero. Segundo la demanda se requiere y se consume al inicio del periodo y los costos de mantenimiento no se cargan sobre productos utilizados en ese periodo. Si bien algunos supuestos no guardan relación con la problemática a modelar, es un buen punto de partida para analizar sus implicaciones y luego relajar ciertas asunciones.

2.5. Desarrollo de experimentos computacionales

El modelo propuesto en la sección de metodología se implementará inicialmente en un escenario sin restricciones de perecibilidad, lo que permitirá analizar y evaluar los resultados obtenidos en condiciones similares a cualquier tipo de producto. Posteriormente, se llevará a cabo un segundo experimento en el que se incorporará la restricción de perecibilidad a la formulación del modelo. La comparación entre ambos experimentos facilitará el desarrollo de un marco de discusión acerca de la relevancia de adaptar los modelos a contextos que involucran productos perecederos, así como la determinación de su impacto en los costos totales de la gestión de inventarios.

En el segundo experimento, además, se incluirán restricciones adicionales, como el tamaño mínimo de lote. Esta restricción se fundamenta en las cantidades mínimas de transporte por contenedor en las importaciones y puede influir significativamente en las decisiones relativas al número de órdenes de pedido que el modelo determine.

CAPITULO 3

3. FORMULACION Y ANALISIS DEL MODELO MATEMATICO

En esta sección se presenta la formulación matemática del modelo de optimización, cuyo objetivo es determinar la cantidad óptima de unidades a ordenar y el momento adecuado para realizar el pedido, en un horizonte de planificación de n períodos. El criterio utilizado es minimizar los costos totales asociados a la gestión del producto, considerando los costos de adquisición y almacenamiento, contribuyendo a la toma de decisiones estratégicas en la planificación de pedidos (Silver, Pyke, & Thomas, 2017).

Para el desarrollo de la formulación, es fundamental establecer claramente las variables de decisión, así como los parámetros y constantes que definirán el comportamiento del modelo. Estos elementos permitirán estructurar el problema con base en un análisis riguroso, facilitando su resolución mediante el enfoque de programación lineal.

3.1. Definición de parámetros del modelo

La Tabla 7 muestra la definición abreviada de los parámetros y constantes utilizados en la formulación del modelo de optimización. En este contexto, n representa el número total de períodos dentro del horizonte de planificación, que en este caso corresponde a períodos semanales durante un año, es decir, 52 semanas. El parámetro D_i denota la cantidad esperada de unidades vendidas en el período i , mientras que h_i representa el costo de mantener inventario por unidad de producto en dicho período. El parámetro L corresponde al tiempo de reabastecimiento (conocido como lead time), y S define el tiempo de vida útil del producto.

Por otro lado, B_0 indica el nivel de inventario disponible al inicio del horizonte de planificación. El parámetro F representa el tamaño del lote de pedido, que en este caso es igual a 1,029 cajas. Finalmente, M se define como un valor suficientemente grande, utilizado en la modelización matemática para garantizar restricciones adecuadas en la formulación del problema.

TABLA 7

Parámetros Del Modelo

n :	Conjunto de periodos de tiempo
D_i :	Demanda del ítem en el periodo i
K :	Costo fijo de realizar un pedido
h_i :	Costo de mantenimiento por unidad de inventario en el periodo i
L :	Lead time del ítem ordenado
S :	Tiempo de vida del ítem luego de recibido
B_0 :	Inventario inicial del ítem
F :	Tamaño de lote que se puede pedir por unidad de contenedor
M :	Número grande

Fuente: Elaboración propia

3.2. Identificación de variables de decisión

En el modelo se definen las siguientes variables de decisión, las cuales determinan la dinámica de los pedidos y la gestión del inventario a lo largo del horizonte de planificación. Q_i , representa el número de unidades solicitadas en el período i . E_i , indica la cantidad de unidades que permanecen en inventario después de satisfacer la demanda del período i , esta variable refleja el nivel de stock remanente antes de la llegada de un nuevo pedido. B_i , corresponde a la cantidad de unidades disponibles al inicio del periodo i . Z_i , es una variable binaria que toma el valor de 1 si se realiza un pedido en el periodo i y 0 si no se efectúa ningún pedido. Y_i , representa una variable entera no negativa que indica la cantidad de lotes ordenados en el periodo i , cada lote tiene un tamaño predefinido de 1,029 unidades, equivalente al número de contenedores solicitados en dicho periodo. El resumen de estas variables se presenta en la tabla 8.

TABLA 8

Variables De decisión Del Modelo

Q_i :	Cantidad por ordenar en el periodo i
B_i :	Inventario inicial en el periodo i
E_i :	Inventario final en el periodo i
Z_i :	Variable binaria que indica si se realiza un pedido en el periodo i
Y_i :	Número de lotes pedidos en el período i (variable entera)

Fuente: Elaboración propia

3.3. Función objetivo y criterio de optimización

La función objetivo, representada en la ecuación (15) tiene como propósito minimizar la suma del costo total de colocar una orden $K * Z_i$ más el costo total de mantener el inventario $h_i * E_i$, generado por el stock remanente después de satisfacer la demanda en el periodo i .

$$\text{minimizar } \sum_{i=1}^n (K * Z_i + h_i * E_i) \quad (15)$$

El principal objetivo de la ecuación (6) consiste en encontrar la secuencia de decisiones (cuanto y cuando pedir) que minimicen la suma de los costos fijos de colocar una orden y los costos de mantener el inventario a lo largo del horizonte de planificación. Se asume que el modelo no considera costos asociados a la demanda insatisfecha ni costos por deterioro de productos, lo que implica que todas las unidades demandadas deben ser satisfechas dentro de su vida útil.

3.4. Restricciones y condiciones del modelo

La ecuación (16) establece el inventario inicial en un valor B_0 , el cual representa el stock disponible al inicio del periodo de planificación.

$$B_1 = B_0 \quad (16)$$

La ecuación (17) asegura que el inventario inicial del periodo i sea igual al inventario final del periodo anterior.

$$B_i = E_{i-1}, \quad \forall i = 2, \dots, n \quad (17)$$

Para definir un balance de inventario se utiliza la ecuación (18), la cual establece que el inventario al final del periodo i es igual al inventario inicial del periodo i más las cantidades recibidas de pedidos realizados L periodos antes, menos la demanda del periodo actual i .

$$E_i = B_i + Q_{i-L} - D_i, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (18)$$

La restricción (19) impone que la cantidad ordenada en el periodo i no exceda la demanda acumulada en el intervalo en el que el producto aún es vendible, es decir, desde que llega el pedido $i + L$ hasta el final de su vida útil ($i + L + S - 1$).

$$Q_i \leq \sum_{t=i+L}^{\min\{n, i+L+S-1\}} D_t, \quad \forall i \text{ con } i + L \leq n \quad (19)$$

La ecuación (20) conecta la decisión de ordenar (variable Z_i) con la cantidad ordenada Q_i de tal forma que si no se realiza un pedido ($Z_i = 0$) la restricción obliga a que $Q_i \leq 0$ y dado que M es un numero grande entonces $Q_i = 0$.

$$Q_i \leq M * Z_i, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (20)$$

Finalmente se tiene la restricción (21) que restringe el tamaño de lote. Esta ecuación garantiza que la cantidad a ordenar siempre sea múltiplo de F , que es la capacidad máxima que se puede pedir por unidad de contenedor.

$$Q_i = F * Y_i, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (21)$$

Para este modelo también se deja establecido que las variables de decisión deben ser mayores o iguales cero, es decir que no se puede tener inventario negativo ni ordenar una cantidad negativa.

$$B_i, E_i, Q_i \geq 0, Y_i \in \mathbb{Z}_+, Z_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (22)$$

3.5. Parametrización del modelo de Optimización

El valor de K , que es uno de los coeficientes de costo en la función objetivo, se calculó considerando los rubros asociados a la colación de un pedido. Como se muestra en la tabla 9, estos son: la remuneración del recurso humano involucrado en la logística de comercio exterior, proporcional al tiempo dedicado a esta actividad, más el costo del permiso fitosanitario de importación⁵, y los honorarios del agente de aduana para la nacionalización de los productos. La suma de estos costos resultó en un valor total de USD 651.50 por pedido realizado.

En el caso del valor h_i este se lo calculó como el costo de oportunidad del capital invertido en el stock. Para su estimación, se utilizó la tasa pasiva referencial del Banco Central de Ecuador, que en diciembre de 2022 se ubicó en 8.39% anual, por lo que para cada periodo semanal se consideró una tasa (r) de 0.16%. Finalmente, el costo de mantenimiento por periodo se obtuvo multiplicando (r) por el costo variable unitario de adquisición del producto.

TABLA 9

Cálculo del costo de ordenar

Costo de Realizar una Orden o Pedido (K)		
1. Remuneración RH	\$500.00	\$/semana
Ocupación en la actividad (%)	80%	
Ordenes de pedido	4	orden/semana
Proporción Rem.RH	\$100.00	\$/orden/semana
2. Permiso Fitosanitario de Importación	\$ 91.50	\$/orden
3. Servicio de Agente de Aduana	\$460.00	\$/orden
Costo de realizar un pedido (K) (1+2+3)	\$651.50	

Fuente: Elaboración propia

En una sección previa del estudio se realizó un análisis de clasificación ABC, para identificar los productos de mayor importancia (A) en términos del volumen de ventas. Como resultado, se determinó que la Manzana Royal Gala es uno de los productos con mayor volumen vendido, la demanda semanal de este producto durante el año 2022 se estableció en la variable D_i , y el inventario de este producto al inicio del año 2022 es de 35.468 unidades.

Para la resolución del problema de optimización, el modelo matemático fue implementado en el software GAMS (General Algebraic Modeling System), una herramienta especializada en la formulación y solución de modelos de optimización matemática. Para su resolución, se empleó el solver CPLEX, disponible en la versión libre de GAMS, y especializado en la optimización de modelos de programación lineal y programación entera mixta. El uso de CPLEX garantiza una solución óptima al problema

⁵ El permiso fitosanitario de importación es un documento oficial que establece los requisitos fitosanitarios que deben cumplir los productos agrícolas que se importan y es emitido por la agencia de regulación y control de calidad (Agrocalidad). En el caso de las manzanas se establece por ejemplo que debe el producto debe estar libre de plagas.

planteado en este estudio, permitiendo un análisis riguroso y preciso de los resultados obtenidos.

TABLA 10

Especificaciones del Dispositivo Utilizado para Ejecutar el Modelo

Device name	JHONNY_VENTASLAP
Processor	Intel(R) Core(TM) i5-6200U CPU @ 2.30GHz 2.40 GHz
Installed RAM	8.00 GB (7.67 GB usable)
Device ID	AF523116-22A1-40B3-A931-EE809F8BA712
Product ID	00325-95849-08638-AAOEM
System type	64-bit operating system, x64-based processor
Windows Edition	Windows 10 Home

Fuente: Configuración del Computador Dell

La Figura 3.1 resume la ejecución del modelo en GAMS, donde se evidencia que el solver CPLEX, en su versión utilizada en este estudio, alcanzó la solución óptima en 1.44 segundos. Para la realización de las pruebas se empleó la versión demo de GAMS y se ejecutó en un dispositivo (computador) cuyas especificaciones se pueden observar en la tabla 10, la cual cuenta con especificaciones de hardware apropiadas, lo que respalda la reproducibilidad de los resultados.

```

SOLVE SUMMARY

MODEL InventarioModel OBJECTIVE obj
TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE
SOLVER CPLEX FROM LINE 89

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion
**** MODEL STATUS 1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE 24205.3068

RESOURCE USAGE, LIMIT 1.438 10000000000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 9138 2147483647
*** This solver runs with a demo license. No commercial use.
--- GMO setup time: 0.00s
--- GMO memory 0.56 Mb (peak 0.56 Mb)
--- Dictionary memory 0.00 Mb
--- Cplex 22.1.1.0 link memory 0.01 Mb (peak 0.03 Mb)
---Starting Cplex

--- MIP status (101): integer optimal solution.
--- Cplex Time: 1.44sec (det. 231.66 ticks)
    
```

Figura 3.1 Resumen de la Ejecución del Modelo

Fuente: Software GAMS

3.6. Resultados de los experimentos computacionales

En este apartado se exponen los resultados de los experimentos realizados con el modelo formulado en la sección anterior. En un primer escenario se ejecuta el modelo sin la restricción del tiempo de vida del producto y en el segundo escenario se la incluye para comparar y analizar cuál es el impacto de modelar un producto perecible, que es el objetivo del presente trabajo. Los resultados de la programación matemática

correspondiente al primer escenario se presentan en la tabla 11, en ésta se puede observar que el modelo encuentra una solución óptima con un costo total de \$ 21,370.45 y una frecuencia de 17 órdenes de pedido, durante un horizonte de planificación de 52 semanas. Estos resultados si bien representan una disminución significativa de las ordenes solicitadas con respecto a los valores reales de la gestión de inventario durante el año 2022, incrementan las cantidades por cada pedido para minimizar los costos de colocar una orden y teniendo en cuenta que los productos no tienen vencimiento se piden con intervalos superiores al tiempo de ciclo de vida comercial de las manzanas.

La optimización realizada en el contexto del escenario uno, pone de manifiesto que el solo cambio del modelo de gestión a uno que provenga de un proceso de optimización genera un impacto positivo e importante en la estructura de costos de la empresa, que le puede permitir mejorar su posición económica en un entorno de alta competencia.

TABLA 11

Resultados del modelo de Optimización sin incluir Perecibilidad

Semana	Demanda D(i)	Cantidad Ordenada Q(i)	Inventario Final E(i)	Costo Mantenimiento h(i) * E(i)
1	6,257		29,211	\$ 783.31
2	6,409		22,802	\$ 611.45
...				
10	9,913	18,522	8,874	\$ 329.85
11	8,568		306	\$ 9.81
12	7,767	20,580	13,119	\$ 497.39
13	6,531		6,588	\$ 247.87
...				
25	3,600		897	\$ 31.14
26	6,111	13,377	8,163	\$ 282.79
27	7,424		739	\$ 26.46
28	5,662	14,406	9,483	\$ 353.60
29	5,229		4,254	\$ 149.70
30	3,906		348	\$ 13.09
31	4,634	13,377	9,091	\$ 297.11
...				
51	1,199		1,975	\$ 89.30
52	1,161		814	\$ 36.81
Total	276,469	241,815	307,761	\$ 10,294.95
Costo Total Ordenes realizadas (17 * US\$ 651.5)				\$ 11,075.50
Costo Total Mantener Inventario				\$ 10,294.95
Costo Total				\$ 21,370.45

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos a partir del modelo de optimización incluyendo la restricción (19), implementado y ejecutado en el software GAMS, se presentan en la Tabla 12. En dicha tabla se incluyen algunos valores⁶ de las variables de decisión. Por ejemplo, en la semana 10, el modelo determinó que la estrategia óptima para minimizar costos

⁶ Ver Anexo B donde consta los resultados para todos los periodos del horizonte de planificación.

consistía en reabastecer el inventario con 11,319 unidades de producto, equivalentes a 11 contenedores de manzana (cada contenedor con 1,029 cajas). Este pedido fue programado con dos semanas de anticipación, considerando el lead time establecido. Al finalizar el periodo, el inventario remanente ascendió a 1,671 cajas, lo que generó un costo de mantenimiento de US\$ 62,11. En esta tabla se puede observar también el costo total anual de realizar las ordenes, que sumaron un total de US\$ 16,287.50, es decir que se solicitaron 25 órdenes o reabastecimientos a lo largo del año, a un costo por orden de US\$ 651.50. El costo de mantener inventario alcanzó el valor de US\$ 7,917.81, dando un costo total de US\$ 24,205.31.

Estos resultados fueron comparados con los valores reales observados durante el año 2022 presentados en la tabla 13. Durante dicho año, la empresa realizó 43 órdenes de pedido, es decir 18 órdenes más que las sugeridas por el modelo de optimización. Como consecuencia, el costo total de las órdenes ascendió a USD 28,014.50, mientras que el costo de mantenimiento del inventario fue de USD 30,993.14, lo que resultó en un costo total de USD 59,007.64.

TABLA 12

Resultados del Modelo de Optimización Incluyendo la Restricción de Perecibilidad

Semana	Demanda D(i)	Cantidad Ordenada Q(i)	Inventario Final E(i)	Costo Mantenimiento h(i) *
1	6,257		29,211	\$ 783.31
2	6,409		22,802	\$ 611.45
...
10	9,913	11,319	1,671	\$ 62.11
11	8,568	15,435	8,538	\$ 273.83
12	7,767		771	\$ 29.23
13	6,531	12,348	6,588	\$ 247.87
...
25	3,600		897	\$ 31.14
26	6,111	13,377	8,163	\$ 282.79
27	7,424		739	\$ 26.46
28	5,662	10,290	5,367	\$ 200.12
29	5,229		138	\$ 4.86
30	3,906	5,145	1,377	\$ 51.80
31	4,634	7,203	3,946	\$ 128.96
...
51	1,199		1,975	\$ 89.30
52	1,161		814	\$ 36.81
Total	276,469	241,815	241,905	\$ 7,917.81
Costo Total Ordenes realizadas (25 * US\$ 651.5)				\$ 16,287.50
Costo Total Mantener Inventario				\$ 7,917.81
Costo Total				\$ 24,205.31

Fuente: Elaboración propia

Si se comparan ambos escenarios planteados, con tiempo de vida del producto y sin ella, se observa una diferencia en costos de US \$2.834.86, que representa una variación del 13%, que no genera un impacto significativo entre ambos.

Por otro lado, la evaluación entre el modelo con percibilidad y los datos reales del periodo analizado, evidencian que la aplicación del modelo de optimización habría permitido una reducción importante de costos por valor de US\$ 34,802.34, considerando solo este grupo de productos, logrando una gestión de inventarios más eficiente mediante decisiones óptimas sobre las cantidades a comprar y el momento adecuado para realizar los pedidos.

TABLA 13

Valores Reales de la Gestión de Inventario Año 2022

Semana	Demanda D(i)	Cantidad Ordenada Q(i)	Inventario Final E(i)	Costo Mantenimiento h(i) * E(i)
1	6,257		29,151	\$ 781.71
2	6,409		22,828	\$ 612.15
...
10	9,913	11,319	19,086	\$ 709.43
11	8,568	5,145	15,001	\$ 481.10
12	7,767	8,232	14,970	\$ 567.57
13	6,531	7,238	15,667	\$ 589.46
...
25	3,600	5,145	28,257	\$ 980.85
26	6,111	5,096	27,232	\$ 943.39
27	7,424	4,116	23,618	\$ 845.61
28	5,662	3,087	21,036	\$ 784.39
29	5,229	7,203	23,253	\$ 818.27
30	3,906	6,517	25,810	\$ 970.89
31	4,634	9,016	30,281	\$ 989.63
...
51	1,199	343	2,048	\$ 92.60
52	1,161		881	\$ 39.84
Total	276,469	248,368.00	905,472	\$ 30,993.14
Costo Total Ordenes realizadas (43 * US\$ 651.5)				\$ 28,014.50
Costo Total Mantener Inventario				\$ 30,993.14
Costo Total				\$ 59,007.64

Fuente: Elaboración propia

3.7. Análisis de sensibilidad y robustez del modelo

En el apartado anterior se mostró la solución óptima derivada del modelo de optimización, con unos valores específicos de los parámetros del modelo, sin embargo, en el contexto real donde los entornos de decisión pueden cambiar y con ello los parámetros del modelo, es importante determinar cuál es el efecto de estos cambios sobre la solución óptima.

Estos cambios se evalúan tomando como referencia la información contenida en la tabla 13, donde el costo de colocar la orden K se propone cambiar considerando el nivel de inflación (3.47% en el 2023), debido a sus componentes como son la remuneración del

recurso humano empleado y los servicios tanto gubernamentales como privados de aduana. En el caso de r , que representa el costo de oportunidad de realizar la inversión en inventario, este puede cambiar debido a factores económicos de oferta y demanda de dinero, que para el año 2023 se ubicó en 9.22%, esto es 9,89% de incremento con respecto al año previo. En el caso de la demanda esta se propone evaluar un incremento del 10% en su nivel, considerando las expectativas de ventas de la administración. En todos los casos se evaluará cambios de aumento y reducción en los valores mencionados.

TABLA 13

Variaciones en los Parámetros

Costo de Ordenar (K) :	
Cambio en función de la inflación anual	
Tasa de inflación anual 2023	3.47%
Costo de Oportunidad (r) :	
Cambio en función de la tasa pasiva referencial	
Tasa de interes pasiva referencial 2022	8.39%
Tasa de interes pasiva referencial 2023	9.22%
% Cambio	9.89%
Demanda (D) :	
Cambio en las expectativas de ventas	(+) (-) 10%

Fuente: Elaboración Propia

Los valores del análisis de sensibilidad se obtuvieron en base a un análisis paramétrico o de re-optimización, que consiste en resolver el modelo para los diferentes valores propuestos en la tabla 13 y analizar la estabilidad de la política de pedidos óptima, resumida en la tabla 14. En ésta última se puede observar que ante cambios en el parámetro k (costo de colocar la orden), un aumento y disminución del 3,47% mantiene la misma política de inventario, pero aumenta el costo total en 2.33% y lo disminuye en la misma proporción. Lo que implica que ante variaciones de los costos fijos K , debido a procesos inflacionarios en Ecuador, los costos totales de la gestión de inventario varían muy poco.

TABLA 14

Resultado del Análisis de Sensibilidad

Escenario	Cambio	# Ordenes	Costo Total	Variación %	Inventario Final	Inventario Promedio
Base $K = 651.50$	0	25	\$ 24,205.31	-	241,905	4,653
$K_{\Delta (+)}$	(+) 3.47%	25	\$ 24,770.48	2.33%	241,905	4,653
$K_{\Delta (-)}$	(-) 3.47%	25	\$ 23,640.13	-2.33%	241,905	4,653
$h_{\Delta (+)}$	$h(i) (+)$ 9.89%	25	\$ 24,988.59	3.24%	241,905	4,653
$h_{\Delta (-)}$	$h(i) (-)$ 9.89%	24	\$ 23,383.78	-3.39%	259,398	4,989
$D_{\Delta (+)}$	$D(i) (+)$ 10%	24	\$ 24,685.66	1.98%	272,487	5,241
$D_{\Delta (-)}$	$D(i) (-)$ 10%	22	\$ 23,739.29	-1.93%	283,078	5,444

Fuente: Elaboración Propia

Otro escenario que se evaluó es el cambio de la tasa r , que corresponde al costo de oportunidad del dinero invertido como inventario. La variación de un 9.89% de incremento en la tasa r no modificó la estrategia de pedidos y solo causó un incremento de 3.24% sobre el costo total. Por otro lado, se evidencia que una reducción de esta

tasa en la misma proporción de 9.89%, incentiva a mantener un nivel de inventario mayor (4,989 vs 4,653 del escenario base) y solicitar una orden de pedido menos.

Para el caso cuando se modifican las expectativas de venta, un aumento del 10% en la demanda produce una disminución en la cantidad de pedidos, pero de mayor tamaño para satisfacer el incremento de la demanda. Esto eleva el inventario promedio, ya que se hacen pedidos grandes que cubren más demanda, pero que también implican más stock en determinados períodos. Por otro lado, con una reducción en la demanda del 10%, el modelo sugiere reducir la frecuencia de pedidos (para ahorrar costos fijos K), pero cada pedido sigue siendo de un tamaño mínimo F que resulta grande para la demanda disminuida. Por ello, se acumula un excedente de inventario. En ambos casos el aumento y reducción en el costo total es poco significativa siendo de 1.98% y -1.93% en cada caso.

3.8. Evaluación financiera y análisis de impacto

Los resultados del modelo principal inciden en los resultados financieros de la empresa a través de dos vías. En primer lugar, el modelo genera un ahorro en costos de US\$34,802.34, lo que representa una reducción superior al 100% en comparación con los resultados reales del año 2022. Esta mejora se traduce en una disminución tanto en el número de pedidos como en el nivel de inventario, favoreciendo significativamente los indicadores de liquidez de la empresa.

En segundo lugar, el modelo impacta en la rotación del inventario, elemento clave para optimizar el ciclo de efectivo y el apalancamiento financiero necesario para nuevas adquisiciones. Mientras que durante 2022 la rotación del grupo de productos de manzanas fue de 24 días en promedio, la aplicación del modelo reduce este indicador a 6 días (calculado al dividir las ventas de 276,469 unidades por un inventario promedio de 4,653 unidades). Como se muestra en la Tabla 15, la implementación de la política de inventario sugerida permitiría una recuperación del efectivo en 21 días, superando así el periodo de pago a proveedores, lo que posibilita financiarse a través de estos. En contraste, la situación actual exige recursos propios adicionales y financiamiento externo, dado que la recuperación del efectivo se extiende a aproximadamente 39 días, un plazo superior al de los pagos a proveedores.

Tabla 15

Determinación del Apalancamiento Financiero

Ciclo de Efectivo	Política Actual	Política Nueva
Días de rotación de Cuentas por Pagar	30	30
Días de rotación de Cuentas por Cobrar	15	15
Días de rotación de Inventario	24	6
Ciclo de efectivo	9	-9
Fuente de Financiamiento	Accionistas / Entidades financieras	Proveedores
Costo Financiero Bancos Privados	10.85%	0%

Fuente: Sistema Gerencial de la Empresa, Elaboración Propia

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. A través del análisis de la cadena de suministro en el mercado de frutas importadas, se identificaron los principales actores involucrados en el proceso de distribución y comercialización, incluyendo proveedores, importadores, mercados mayoristas, supermercados y redes de mercados municipales. Asimismo, se examinó la dinámica operativa que enfrenta la empresa dentro de este contexto, destacando la importancia de una gestión eficiente de la cadena de frío, la adecuada administración del ciclo de vida del producto y la incorporación de herramientas de optimización en la toma de decisiones gerenciales. Estos elementos resultan fundamentales para garantizar la entrega de frutas frescas con estándares óptimos de calidad y en el menor tiempo posible, que permitan satisfacer la demanda de los clientes de la empresa, así como la del consumidor final.
2. El análisis ABC, basado en el principio de Pareto (80/20), permitió identificar los productos con mayor impacto en las ventas de la empresa durante el año 2022. Dentro de la categoría A, se clasificó a la manzana, variedad Royal Gala, como el producto de mayor representatividad dentro de este grupo, con un 43.58%. En función de esta clasificación, dicho producto fue seleccionado para el análisis correspondiente del presente estudio.
3. Los resultados de los experimentos indican que los costos totales obtenidos fueron significativamente inferiores a los registrados en el año 2022. La reducción supera el 100%, lo que demuestra que, independientemente de la inclusión del ciclo de vida del producto en la modelización, el uso de herramientas de optimización en la gestión de inventario tiene un impacto relevante en la rentabilidad de la empresa. Esto contrasta con la gestión actual que se basa en un análisis más subjetivo.
4. La implementación del modelo de optimización, que incorpora el ciclo de vida del producto, permitió definir una política de inventario más eficiente. Como resultado, el número de órdenes de pedido se redujo a 25, siguiendo una dinámica temporal detallada en el Anexo B. Asimismo, el modelo estimó un inventario final promedio de 4,652 unidades, lo que representa una disminución significativa en comparación con el nivel promedio observado durante el año de estudio, que fue de 17,413 unidades. Esta política minimiza los costos totales en \$24,205.31.
5. La política de inventario propuesta recomienda incrementar las cantidades a ordenar en cada pedido con el objetivo de minimizar los costos fijos asociados a la colocación de órdenes, dado que estos resultan relativamente más elevados que los costos de mantenimiento del inventario. Esto contrasta con la gestión actual, en la que se realizan pedidos de menor volumen, pero con una mayor frecuencia de reabastecimiento, llegando a efectuarse casi de forma semanal, incrementado los costos totales.

6. La comparación de los experimentos realizados demuestra que la incorporación de la restricción del ciclo de vida del producto, aunque genera un incremento en los costos totales en comparación con su omisión, permite una optimización más eficiente del nivel de inventario. Esto se debe a que el modelo planifica únicamente el abastecimiento necesario para cubrir la demanda dentro del ciclo de vida del producto, lo que mejora la rotación del inventario y evita que el stock exceda su vida útil comercial.
7. El análisis de sensibilidad indica que los resultados obtenidos son robustos, ya que las variaciones en los parámetros, como los cambios en los niveles de inflación que pueden afectar los costos fijos de colocación de órdenes, y las fluctuaciones en las tasas de interés en un entorno de mayor riesgo financiero, tienen un impacto mínimo en el costo total.
8. La implementación de esta política no solo optimiza la liquidez de la empresa mediante la reducción de costos, sino que también facilita el apalancamiento financiero a través del financiamiento de proveedores, al disminuir los días de rotación del producto y, en consecuencia, acelerar la recuperación del flujo de efectivo.
9. Finalmente, la solución óptima propuesta representa una herramienta eficaz para la toma de decisiones, contribuyendo significativamente a la mejora del rendimiento empresarial.

4.2. Recomendaciones

1. Ante la ausencia de una política de inventarios, se recomienda implementar la solución propuesta a corto plazo, mediante la asignación de un recurso humano, cuya función este enfocada al análisis y la realización de una prueba piloto en el sistema gerencial de la empresa. Esto permitirá a la gerencia disponer rápidamente de una herramienta para la planificación de los abastecimientos.
2. Con lo sugerido en el párrafo anterior y considerando que se analizó un horizonte de planificación de 52 semanas, se recomienda ejecutar el modelo de forma anual, analizando los cambios que hayan ocurrido en los parámetros utilizados, como el costo fijo de colocar la orden, el costo de mantenimiento del inventario y el comportamiento de la demanda, e incorporando esta nueva información al modelo, con el propósito de obtener un nuevo óptimo que minimice los costos totales y determine una política de inventario para el nuevo periodo de planificación.
3. Un modelo constituye una representación simplificada de la realidad. En este sentido, el modelo empleado en el presente estudio proporciona un punto de partida adecuado para interpretar los fundamentos y dinámicas básicas que involucra la gestión de inventario. Se sugiere revisar y refinar los supuestos, así como incorporar variables adicionales que describan la problemática de manera más realista.
4. El análisis de sensibilidad evidenció que variaciones en los parámetros del modelo como la tasa de interés y la demanda, resultan en incrementos en las cantidades

solicitadas por pedido, por lo que se recomienda negociar políticas de descuento con los proveedores para aprovechar las economías de escala derivadas de un mayor volumen de compra.

5. El modelo propuesto presenta ciertas limitaciones, entre ellas la falta de consideración de productos con diferentes edades o tiempos de vida dentro del inventario. No obstante, esta situación no es ajena a la empresa, por lo que se sugiere desarrollar estudios futuros que contemplen dicho escenario e incorporen estrategias de precios diferenciados.
6. Finalmente, el modelo no contempla penalizaciones por demanda insatisfecha debido a la ausencia de un procedimiento para registrar esta información. Se recomienda establecer mecanismos que permitan capturar dichos datos e integrarlos en el modelo, con el fin de mejorar su capacidad de representación y análisis de la situación real.

BIBLIOGRAFIA

- Bhosale, A. A., & Sundaram, K. K. (2011). Equation for predicting shelf life of an apple. *Applied Mechanics and Materials*, 52-54, 1936-1941.
- FAO. (Junio 2023). *Food Outlook - Biannual report on global food market*. Roma.
- Nahmias, S. (2011). *Perishable Inventory Systems*. USA: Springer.
- Nahmias, S., & Lennon, T. (2015). *Production and Operation Analysis* (Seventh Edition ed.). United States of America: Waveland Press, Inc.
- Rahal, I., & Elloumi, A. (2021). Inventory management of perishable products: a case of melon in Tunisia. *Munich Personal RePec Archive*.
- Roy, T., & Chaudhuri, K. S. (2007). An inventory model for a deteriorating item with price-dependent demand and special sale. *Int. J. Operational Research*, 2(2), 173-187.
- Shukla, M., & Jharkharia, S. (2013). Agri-fresh produce supply chain management: a state of the art literature review. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(2), 114-158.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2017). *Inventory and Production Management in Supply Chains*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
- VoB, S., & Woodruff, a. D. (2006). *Introduction to Computational Optimization Models for Production Planning in a Supply Chain*. Hamburg: Springer.

ANEXOS

ANEXO A

CLASIFICACION ABC POR GRUPO DE PRODUCTOS A NIVEL DE VARIEDAD

Id	Especie	Variedad	Precio	Demanda Anual	Ventas totales	Ventas Acumulado	% Ventas Acum.	Clasificación	%
1	MANZANA	ROYAL GALA	22.53	276,533	6,230,381.02	6,230,381.02	43.58%	A	79.94%
2	UVAS	RED GLOBE	17.73	88,585	1,570,619.65	7,801,000.67	54.57%	A	
3	MANZANA	GRANNY SMITH	25.01	57,573	1,440,101.77	9,241,102.44	64.64%	A	
4	PERAS	FORELLE	23.36	31,432	734,270.20	9,975,372.64	69.78%	A	
5	MANZANA	RED DELICIOUS	24.47	23,874	584,208.87	10,559,581.51	73.86%	A	
6	MANZANA	PINK LADY	19.94	26,473	527,912.50	11,087,494.01	77.55%	A	
7	CEREZAS	SANTINA	18.70	18,206	340,393.50	11,427,887.51	79.94%	A	
8	CEREZAS	LAPINS	17.29	17,917	309,728.00	11,737,615.51	82.10%	B	
9	PERAS	PACKAMS TRIUMPH	23.80	11,730	279,231.40	12,016,846.91	84.05%	B	14.69%
10	UVAS	THOMPSON SEEDLESS	16.24	17,138	278,262.44	12,295,109.35	86.00%	B	
11	KIWIS	HAYWARD	18.07	14,053	253,873.30	12,548,982.65	87.78%	B	
12	PERAS	COSCIA	23.44	8,411	197,116.00	12,746,098.65	89.16%	B	
13	CEREZAS	BING	24.30	7,401	179,810.00	12,925,908.65	90.41%	B	
14	UVAS	IVORY	20.12	7,829	157,527.00	13,083,435.65	91.52%	B	
15	PERAS	FLAMINGO	23.17	6,784	157,171.00	13,240,606.65	92.61%	B	
16	UVAS	SWEET GLOBE	29.66	5,287	156,786.60	13,397,393.25	93.71%	B	
17	MANZANA	RED CHIEF	25.17	5,206	131,017.02	13,528,410.27	94.63%	B	5.37%
18	UVAS	AUTUM ROYAL	13.58	7,260	98,557.74	13,626,968.01	95.32%	C	
19	UVAS	SUGRAONE	20.40	4,814	98,204.70	13,725,172.71	96.00%	C	
20	UVAS	ALLISON SEEDLESS	13.12	7,302	95,827.68	13,821,000.39	96.67%	C	
21	UVAS	CRIMSON SEEDLESS	24.34	3,311	80,578.75	13,901,579.14	97.24%	C	
22	MANZANA	BROOK FIELD	19.73	3,102	61,207.30	13,962,786.44	97.67%	C	
23	UVAS	TIMCO	23.86	2,338	55,793.50	14,018,579.94	98.06%	C	
24	CEREZAS	ROYAL DAWN	18.21	2,401	43,715.00	14,062,294.94	98.36%	C	
25	KIWIS	GREEN LIGHT	17.96	2,396	43,027.00	14,105,321.94	98.66%	C	
26	MANZANA	RAKU	17.44	2,220	38,705.70	14,144,027.64	98.93%	C	
27	CEREZAS	SWEETHEARTS	21.39	1,334	28,531.50	14,172,559.14	99.13%	C	
28	MANZANA	AMBROSIA	21.05	1,175	24,737.00	14,197,296.14	99.31%	C	
29	CEREZAS	SKEENA	22.42	637	14,284.00	14,211,580.14	99.41%	C	
30	CIRUELAS	ANGELENO	17.49	538	9,412.00	14,220,992.14	99.47%	C	
31	UVAS	PRINCESS	12.49	751	9,380.50	14,230,372.64	99.54%	C	
32	CEREZAS	KORDIA	20.26	426	8,632.00	14,239,004.64	99.60%	C	
33	MANZANA	CRIPPS PINK	18.64	448	8,349.00	14,247,353.64	99.66%	C	
34	CIRUELAS	BLACK KAT	13.43	588	7,896.00	14,255,249.64	99.71%	C	
35	DURAZNOS	ZEE LADY	16.81	469	7,882.00	14,263,131.64	99.77%	C	
36	MANZANA	FUJI	22.71	336	7,632.00	14,270,763.64	99.82%	C	
37	UVAS	MELODY	16.62	454	7,546.00	14,278,309.64	99.87%	C	
38	CEREZAS	STELLA	19.84	333	6,608.00	14,284,917.64	99.92%	C	
39	NECTARINES	YELLOW	14.49	355	5,143.20	14,290,060.84	99.96%	C	
40	CEREZAS	VAN	14.90	228	3,398.00	14,293,458.84	99.98%	C	
41	CEREZAS	REGINA	21.93	132	2,895.00	14,296,353.84	100.00%	C	
42	UVAS	CALMERIA	13.00	7	91.00	14,296,444.84	100.00%	C	
				667,787	14,296,444.84				100.00%

ANEXO B

TABLA DE RESULTADOS DEL MODELO DE OPTIMIZACION

Semana	Demanda D(i)	Cantidad Ordenada Q(i)	Inventario Final E(i)	Costo Mantenimiento h(i) * E(i)
1	6,257		29,211	\$ 783.31
2	6,409		22,802	\$ 611.45
3	5,235		17,567	\$ 471.07
4	3,602		13,965	\$ 503.45
5	4,422		9,543	\$ 344.03
6	3,044		6,499	\$ 264.77
7	6,279	8,232	8,452	\$ 305.06
8	4,081		4,371	\$ 177.69
9	4,106		265	\$ 9.79
10	9,913	11,319	1,671	\$ 62.11
11	8,568	15,435	8,538	\$ 273.83
12	7,767		771	\$ 29.23
13	6,531	12,348	6,588	\$ 247.87
14	6,587		1	\$ 0.04
15	6,384	7,203	820	\$ 30.81
16	5,502	10,290	5,608	\$ 203.56
17	5,476		132	\$ 4.55
18	6,622	7,203	713	\$ 25.44
19	6,006	12,348	7,055	\$ 252.05
20	6,807		248	\$ 8.44
21	9,655	11,319	1,912	\$ 64.37
22	8,824	15,435	8,523	\$ 287.31
23	7,168		1,355	\$ 44.68
24	5,090	8,232	4,497	\$ 155.80
25	3,600		897	\$ 31.14
26	6,111	13,377	8,163	\$ 282.79
27	7,424		739	\$ 26.46
28	5,662	10,290	5,367	\$ 200.12
29	5,229		138	\$ 4.86
30	3,906	5,145	1,377	\$ 51.80
31	4,634	7,203	3,946	\$ 128.96
32	3,124		822	\$ 26.32
33	5,558	11,319	6,583	\$ 221.45
34	6,554		29	\$ 0.98
35	7,944	10,290	2,375	\$ 80.30
36	9,170	12,348	5,553	\$ 174.12
37	4,136		1,417	\$ 50.40
38	7,347	9,261	3,331	\$ 117.03
39	2,771		560	\$ 18.99
40	4,322	8,232	4,470	\$ 146.80
41	4,981	7,203	6,692	\$ 219.78
42	3,082		3,610	\$ 123.54
43	2,847		763	\$ 26.11
44	1,992	4,116	2,887	\$ 90.60
45	2,214		673	\$ 20.11
46	5,835	10,290	5,128	\$ 162.00
47	4,949		179	\$ 8.31
48	1,858	5,145	3,466	\$ 126.06
49	6,028	8,232	5,670	\$ 176.01
50	2,496		3,174	\$ 115.96
51	1,199		1,975	\$ 89.30
52	1,161		814	\$ 36.81
Total	276,469	241,815	241,905	\$ 7,917.81
Costo Total Ordenes realizadas (25 * US\$ 651.5)				\$ 16,287.50
Costo Total Mantener Inventario				\$ 7,917.81
Costo Total				\$ 24,205.31

ANEXO C

CODIGO DE GAMS DEL MODELO DE OPTIMIZACION

```

* =====
* Modelo de inventario para un producto perecedero
* =====
Set
  i  "Períodos" /1*52/;

Alias (i,t);

* Parámetros del modelo
Parameter
  D(i)  "Demanda en el período i"
  h(i)  "Costo unitario de mantenimiento en el período i";

%$CALL GDXXRW ModeloInventario.xlsx par=D rng=hoja1!a2:b53 rdim=1 par=h rng=hoja1!g2:h53 rdim=1
%$GDXIN ModeloInventario.gdx
%$LOAD D, h
%$GDXIN

Display D, h;

Scalar
  K  "Costo fijo de realizar un pedido"           /651.50/
  B0 "Inventario inicial"                       /35468/
  L  "Lead time (períodos)"                     /2/
  S  "Tiempo de vida del producto (períodos)"   /2/
  N  "Numero de periodos"                       /52/
  F  "Tamano de lote"                           /1029/
  M  "Numero grande "                          /100000/;

* Declaración de variables
Variables
  Q(i)  'Cantidad a ordenar en el período i'
  B(i)  'Inventario inicial en el período i'
  E(i)  'Inventario final en el período i'
  obj   'Valor de la función objetivo';

Binary Variable
  Z(i)  'Variable binaria: 1 si se realiza un pedido, 0 en otro caso';

Integer Variable
  Y(i)  'Número de lotes pedidos en el período i'

Positive Variables
  Q(i), B(i), E(i)

* Declaración de ecuaciones
Equations
  objDef          "Función objetivo"
  resInvIni       "Restricción de inventario inicial"
  restransInv(i)  "Transición de inventario: para i > 1, B(i) = E(i-1)"
  resbalanceInv(i) "Balance de inventario"
  restiempoVida(i) "Restricción de tiempo de vida"
  reslotSize(i)   "Relación de tamaño de lote: Q(i) = 1029 * Y(i)"
  resM(i)         "Restricción M: M * Z(i) - Q(i) >= 0";

* Función objetivo: Minimizar los costos de pedidos y mantenimiento
objDef..
  obj =e= sum(i, K * Z(i) + h(i) * E(i));

* Restricción de inventario inicial
resInvIni..
  B('1') =e= B0;

* Transición del inventario para períodos i>1
restransInv(i)(ord(i) > 1)..
  B(i) =e= E(i-1);

* Balance de inventario: a partir del período L+1, llega la orden realizada en i-L
resbalanceInv(i)(ord(i) >= 1)..
  E(i) =e= B(i) + Q(i-L) - D(i);

* Restricción de tiempo de vida del producto:
* Se impone para los periodos en que la orden realizada en i llega dentro del horizonte
* i+L+1 que se puede utilizar durante S periodos (hasta i+L+S-1).
restiempoVida(i)(ord(i)+L <= n)..
  Q(i) =l= sum( t$( ord(t) >= ord(i)+L and ord(t) <= ord(i)+L+S-1 and ord(t) <= n ), D(t) );

* Restricción de tamaño de lote: La cantidad a ordenar es un múltiplo de 1029 unidades
reslotSize(i)..
  Q(i) =e= F * Y(i);

* Restricción M grande para la lógica de pedido
resM(i)..
  M * Z(i) - Q(i) =g= 0;

* Definición del modelo y solución
Model InventarioModel /all/;
Solve InventarioModel using mip minimizing obj;

* Mostrar resultados
Display Q.l, Y.l, B.l, E.l, Z.l, obj.l;

```