



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Diseño de un modelo de abastecimiento de productos lácteos en
una empresa retail”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Presentada por:

Robinson Julian Guerrero Quinde

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2024

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino; a mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en mí siempre. Este logro es tanto mío como suyo.

Robinson Guerrero

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en la realización de este proyecto.

En primer lugar, agradezco profundamente a mi tutor de proyecto, Cinthia Pérez, por su guía, paciencia y dedicación. Su experiencia y conocimientos han sido esenciales para el desarrollo de este trabajo.

A mis profesores, quienes a lo largo de mi formación académica me han brindado las herramientas necesarias para enfrentar este desafío.

A los miembros de la empresa, Lucia, Ericka, Ana, Silvia y Nicol, les extiendo mi más sincero agradecimiento por su apoyo y confianza en este proyecto. Su contribución ha sido crucial para alcanzar los objetivos planteados.

Finalmente, a mi familia, mi más profundo agradecimiento. Principalmente a Fernando por su apoyo constante. Este logro es tanto mío como suyo, y no podría haberlo alcanzado sin su respaldo y sacrificio.

A todos ustedes, gracias de corazón.

Robinson Guerrero

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

María Belén Segovia, MSc.

Profesor de Materia

Cinthia Cristina Pérez, Ph.D.

Tutor de proyecto

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Robinson Julian Guerrero Quinde 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.

Robinson Guerrero Quinde

RESUMEN

Este trabajo de titulación presenta el diseño de un modelo de abastecimiento de productos lácteos para una empresa minorista ubicada en las Islas Galápagos, la cual enfrenta problemas de disponibilidad de inventario debido a su dependencia del abastecimiento desde el continente. En particular, se ha identificado que el 39.8% de los SKUs lácteos analizados presentan más de cinco días con stock en cero durante el período de enero a noviembre de 2024, lo que impacta negativamente en la estrategia de la empresa de ofrecer variedad y disponibilidad de productos.

Este estudio empleó un enfoque metodológico basado en el análisis de la gestión actual del inventario, la clasificación ABC de inventarios y la aplicación de modelos de pronóstico de demanda mediante técnicas de series de tiempo. Posteriormente, se diseñó una política de abastecimiento diferenciada según el tipo de compra (importado o local) y su método de almacenamiento (refrigerado o seco). Se considera un enfoque de revisión periódica con intervalos de 2 y 15 días para los pedidos, ajustado a los tiempos de entrega y a las restricciones logísticas.

Para validar la propuesta, se desarrolló una simulación de eventos discretos que permite evaluar el impacto de las nuevas políticas de abastecimiento en términos de nivel de servicio y reducción de días con stock en cero. Los resultados obtenidos indican que la implementación del modelo diseñado permite reducir en al menos un 19% la incidencia de productos con desabastecimiento prolongado (más de 5 días con stock 0), considerando los límites de almacenamiento.

Este estudio contribuye al campo de la gestión de la cadena de suministro en entornos minoristas con restricciones logísticas, proporcionando un marco metodológico replicable en otros contextos similares. Se recomienda la implementación progresiva del modelo propuesto y su continua adaptación en función de los cambios en la demanda y las condiciones de abastecimiento.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL	II
INDICE DE FIGURAS	IV
INDICE DE TABLAS	V
CAPÍTULO 1	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. ANTECEDENTE	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. <i>Declaración del problema</i>	5
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	5
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	6
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO	6
1.5. EQUIPO DE TRABAJO	7
CAPÍTULO 2	8
2. METODOLOGIA	8
2.1. PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS	9
2.2. CLASIFICACIÓN ABC	10
2.3. SELECCIÓN DEL SUBCONJUNTO DE SKUS A ANALIZAR	11
2.4. ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y SUS PATRONES	13
2.5. MODELO DE PRONÓSTICO DE LA DEMANDA	15
2.6. MODELAMIENTO DE LA GESTIÓN DEL INVENTARIO	17
2.6.1. <i>Selección del modelo de administración de inventario</i>	17
2.6.2. <i>Diseño de políticas de abastecimiento de inventario</i>	19

2.7. SIMULACIÓN DE POLÍTICAS DE INVENTARIO	23
2.8. PROPUESTA PARA LA REVISIÓN DE POLÍTICAS DE INVENTARIO	24
CAPÍTULO 3	26
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	26
3.1. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE INVENTARIO	26
3.2. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LAS POLÍTICAS DE INVENTARIO	29
3.3. POLÍTICAS DE INVENTARIO PARA SKUs LÁCTEOS Y RESTRICCIÓN DE ALMACENAMIENTO	29
CAPÍTULO 4	32
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
4.1. CONCLUSIONES	32
4.2. RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXOS	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ventas mensuales acumuladas a noviembre 2024 de las principales familias ..	1
Figura 1.2 Comparación de las ventas mensuales acumuladas de Enero a Noviembre en los últimos 3 años	2
Figura 1.3 Principales decrecimientos de ventas por familias de SKUs en el año 2024 de enero a noviembre	3
Figura 1.4 Análisis de días con stock 0 de yogur griego en el mes de octubre.....	4
Figura 1.5 Procesos de cadena de suministro dentro del alcance del proyecto	6
Figura 2.1 Actividades para el desarrollo de la metodología	9
Figura 2.2 Segregación de SKUs lácteos por tipo de compra y almacenamiento.....	12
Figura 2.3 Serie de tiempo de la venta en unidades del SKU 117118601	13
Figura 2.4 Tipos de Gráficos de estacionalidad de la venta en unidades para el SKU 117118601	14
Figura 2.5 Ventas y pronóstico en unidades por mes del año 2024 para el SKU 117118601	16
Figura 2.6 Plantilla de simulación de políticas de inventario.....	24
Figura 4.1 Código en RStudio para análisis de ventas y modelo de pronóstico con validación cruzada.....	39
Figura 4.2 Código en RStudio para prueba t de diferencias de medias para datos pareados	39
Figura 4.3 Código en RStudio para el modelamiento de pronóstico de múltiples SKUs ...	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencias absolutas y relativas de la cantidad de SKUs por categoría de días con stock 0 por mes	5
Tabla 2 Plan de recolección de datos	10
Tabla 3 Resumen de familia de lácteos por categorías A, B y C.....	11
Tabla 4 Subconjunto de SKUs seleccionados para el desarrollo de las políticas de abastecimiento.....	12
Tabla 5 Resumen de la detección de patrones de tendencia y estacionalidad de las series de tiempo de ventas en unidades	14
Tabla 6 Métodos de pronósticos aplicable por SKUs según sus características	15
Tabla 7 Modelo de pronóstico seleccionado	17
Tabla 8 Intervalo fijo de pedido y el tiempo de entrega para las políticas de inventario por segregación de SKU.....	19
Tabla 9 Políticas de inventario para SKUs del subconjunto de análisis con distribución normal en su demanda durante el periodo T+L.....	21
Tabla 10 Políticas de inventario para SKUs del subconjunto de análisis con distribución de Laplace en su demanda durante el periodo T+L.....	22
Tabla 11 Rango de dígitos aleatorios para la demanda diaria del SKU 117118601	23
Tabla 12 Resultados de la simulación de la política de inventario para SKU 117118601 .	26
Tabla 13 Comparación del porcentaje de días con stock 0 de SKUs analizados	27
Tabla 14 Comparación del nivel de servicio del ciclo de SKUs analizados	27
Tabla 15 Resumen de costos anuales de las políticas de inventarios de SKUs analizados	28
Tabla 16 Resultado del análisis de sensibilidad respecto a la demanda	29
Tabla 17 Políticas de inventario propuestas para SKUs refrigerados en función del almacenamiento	30
Tabla 18 Políticas de inventario propuestas para SKUs secos en función del almacenamiento	30

Tabla 19 Listado de SKUs lácteos	38
Tabla 20 Modelo de pronóstico para los demás SKUs lácteos.....	41
Tabla 21 Políticas de inventario para los demás SKUs lácteos.....	42

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedente

La empresa considerada en el desarrollo de este proyecto de titulación es un supermercado dedicado a la venta al por menor de una gran variedad de SKUs perecibles y no perecibles, haciendo base en una de las Islas Galápagos. De esta manera, una gran parte de los SKUs que se ofrece en este supermercado es abastecido desde la parte continental del Ecuador, característica relevante en cuanto a los tiempos de entrega y a la capacidad de respuesta ante la fluctuación de la demanda.

Dentro del catálogo de SKUs que vende este supermercado se encuentran alimentos, utensilios para el hogar, útiles escolares, artículos de temporada, entre otros. En 2023 se registraron ventas en más de 16,000 SKUs. Siendo así que hasta finales de noviembre de este año el supermercado ha registrado ventas en cerca de 15,000 SKUs.

La empresa ha clasificado sus SKUs en 36 familias, cada uno con varios grupos. En la figura 1.1 se muestra la venta mensual acumulada hasta noviembre 2024 de las principales familias de SKUs del supermercado. Se puede observar en esta figura que los snacks y lácteos tienen el mayor aporte en los ingresos por ventas de este supermercado.

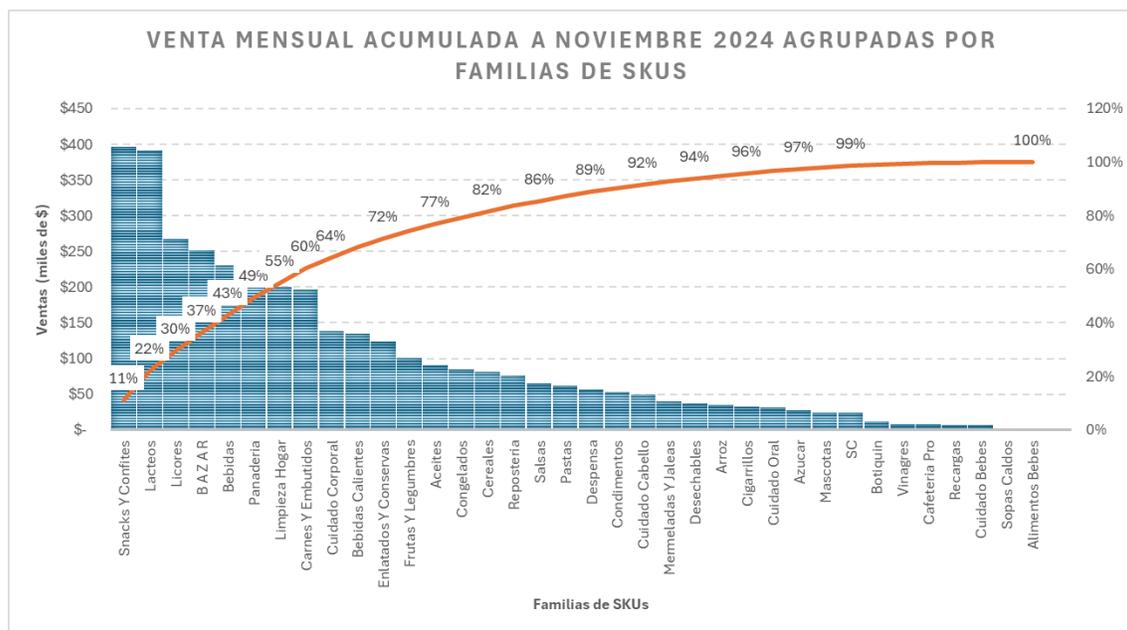


Figura 1.1 Ventas mensuales acumuladas a noviembre 2024 de las principales familias

Fuente: Autor

En la actualidad la empresa administra su inventario en dos locaciones: el almacén con sus respectivas perchas y una bodega ubicada a pocos minutos de distancia del almacén. Siendo así que varios SKUs sólo son gestionados en la locación del almacén, considerando el volumen y el tiempo de vida del SKU.

Ahora bien, la administración de la empresa minorista (retail en inglés) ha escogido competir en una estrategia de Variedad y disponibilidad, con énfasis en la flexibilidad en la oferta (innovación) a precios accesibles. Además, ha determinado como características relevantes, que les representan ante su clientela, aspectos como el servicio, el compromiso y la calidad; y se ha planteado como objetivo para el año 2025 incrementar sus ventas. Por ello, las actividades relacionadas al abastecimiento y al control del inventario se consideran clave para un buen funcionamiento de la organización (Kotzab & Fischer, 2024).

La empresa no cuenta con indicadores relacionados al nivel de servicio, ventas perdidas, porcentaje de disponibilidad de sus SKUs o rotación de inventarios. Además, se conoce que varios indicadores mencionados, como la venta perdida, son complejos de medir en un entorno minorista, y su impacto tiene relaciones importantes con conceptos como la complementariedad y la sustitución de SKUs (Heese & Swaminathan, 2010).

Sin embargo, se ha detectado disminución de los ingresos en lo transcurrido del 2024 en comparación contra el año 2023 como se muestra en la figura 1.2. Se puede notar que el porcentaje de variación (decrecimiento) de las ventas acumuladas del 2024 es del 18.9%. Además, se observa que el valor de ventas en el 2024 también es menor que registrado en el año 2022, en el acumulado de enero a noviembre.

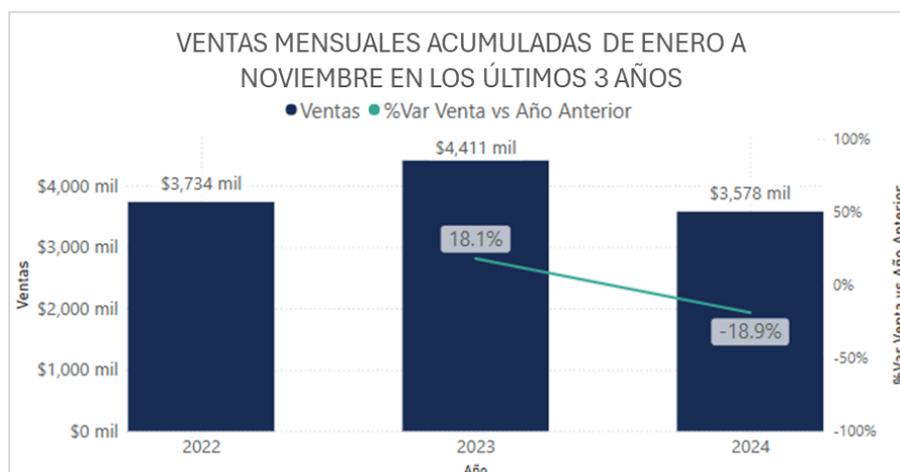


Figura 1.2 Comparación de las ventas mensuales acumuladas de Enero a Noviembre en los últimos 3 años

Fuente: Autor

Una de las familias de SKUs que se ha visto mayormente afectadas en esta empresa es la de lácteos. En la figura 1.3 se puede contemplar un reporte de las variaciones de las ventas mensuales acumuladas por familias, en un contraste entre el año 2024 (año actual) y el año

2023 (año anterior). Las ventas de la familia de lácteos en el 2024 han decrecido más de \$100000, una variación porcentual de -21.7%, contrastado contra el año 2023.

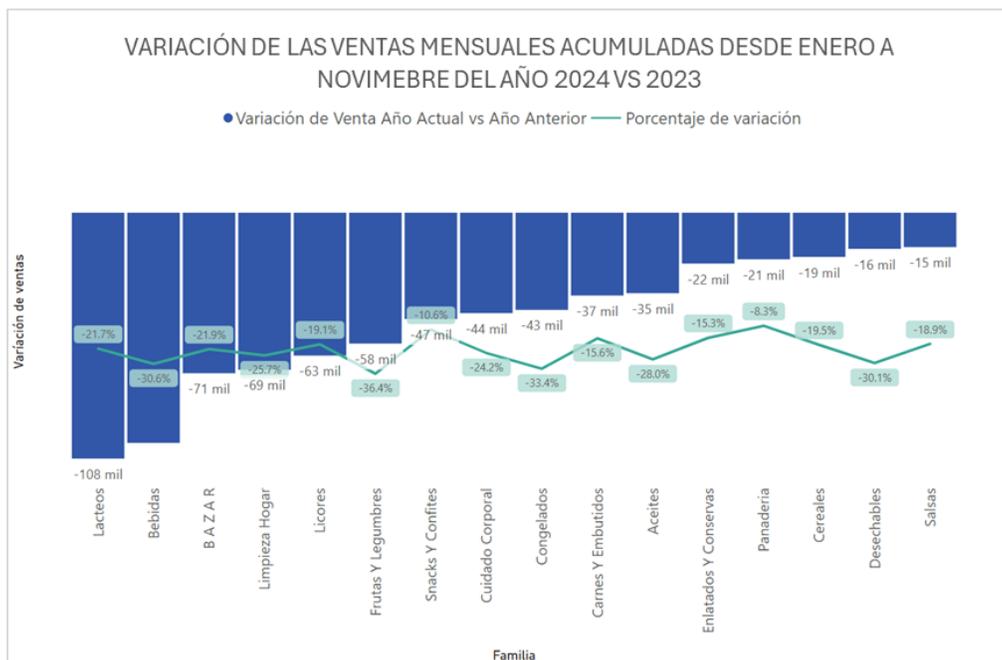


Figura 1.3 Principales decrecimientos de ventas por familias de SKUs en el año 2024 de enero a noviembre

Fuente: Autor

Ahora bien, dado que la empresa maneja más de 15000 SKUs y considerando las delimitaciones del tiempo necesario para abarcar todas las categorías, se ha planteado que el desarrollo del presente proyecto tenga como enfoque la familia de lácteos por su aporte en el 11% de los ingresos por ventas y por el nivel de decrecimiento de ventas del 21.7%, siendo una familia de SKUs en la que el diseño de políticas de abastecimiento representa gran relevancia para la organización. Esta familia maneja inventarios limitados en contraste con otras familias, dado sus características inherentes de corta vida útil y sus restricciones de almacenamiento, teniendo algunos grupos de SKUs con necesidad de refrigeración

1.2. Descripción del problema

El presente proyecto involucra el estudio del proceso de control de inventario para el abastecimiento de los SKUs de esta empresa. Las áreas que intervienen en este proceso son compras, bodega y contabilidad; donde el área de compras es el dueño del proceso a estudiar y sus actividades han sido asignadas a 3 personas actualmente.

El proceso de abastecer el almacén con los SKUs requeridos para la venta no cuenta con una política de abastecimiento de inventario; por ello, la cantidad del pedido es definida por el responsable de compras y el tiempo entre cada pedido es irregular, donde consideran el nivel de inventario y se determina la cantidad de pedido en base a la experiencia del

personal. Cabe señalar que se maneja un proceso diferenciado entre las compras locales y las compras de importación, considerando las características del proceso logístico involucrado en cada tipo de compra. Para esta empresa una compra local es el abastecimiento de SKUs de proveedores que se encuentran en la isla; en cambio, una compra de importación es el aprovisionamiento desde la parte continental del Ecuador hacia el supermercado, implicando costos de transporte y procesos en aduana con los respectivos impuestos.

Los resultados del proceso actual de abastecimiento no cuentan con indicadores de gestión, por ello, a pesar de que la administración de la empresa ha evidenciado en sus recorridos SKUs que no se encuentran en percha para la venta, no han logrado cuantificar esta incidencia. De esta manera, se eligió el SKU de mayor venta registrada en la familia de lácteos para realizar una representación inicial de cómo los días en que el stock llega a 0 tiene un potencial impacto sobre las ventas. El SKU analizado fue un yogur griego y se observaron sus movimientos de inventario durante el mes de octubre. Los componentes pertinentes para el análisis fueron: el nivel de stock inicial y la cantidad vendida.

En la figura 1.4 se muestra el resultado de este análisis durante el mes de octubre para representación del problema a resolver en el presente proyecto. En el eje X se tiene las fechas de cada día de octubre. Se puede observar en la figura que el nivel de stock inicial está graficado por la línea de color azul. La venta en unidades, por su parte, es expresada por medio de barras de color verde. Siendo así que en la figura se ha marcado 6 puntos con color rojo donde el nivel de stock del SKU llega a 0, donde en 3 de estos puntos las ventas en unidades igualaron al nivel de stock inicial y en otros 3 puntos el nivel de stock se mantuvo en 0. Se puede observar, además, que en 3 días de octubre el nivel de inventario inicial fue 0 y, por ende, no se registraron ventas del SKU.



Figura 1.4 Análisis de días con stock 0 de yogur griego en el mes de octubre

Fuente: Autor

Es importante señalar que esta representación inicial no es suficiente para correlacionar el impacto de los días con stock 0 de los SKUs en las ventas perdidas, pero en su lugar permite afirmar la necesidad de diagnosticar la gestión del abastecimiento actual con un enfoque en reducir la cantidad de SKUs con días de stock 0, alineados a la estrategia de variedad y disponibilidad que persigue esta empresa.

Siguiendo el esquema mostrado para el SKU de la figura 1.4 se ha levantado la información del inventario diario para todos los SKUs de la familia de lácteos para identificar la cantidad de días con stock 0 de enero a noviembre de 2024. Para esto se utilizó la base de SKUs entregada por el área de compras de la empresa. Se realizó la tabulación de la cantidad de días con stock 0 por SKU, luego se clasificó la cantidad de SKUs por número de días con stock 0 para finalmente hacer un resumen por mes con una agrupación de 3 categorías: SKUs con 0 o 1 días con stock 0, SKUs con 2 a 5 días con stock 0 y SKUs con más de 5 días con stock 0. Los resultados de la agrupación de los datos en las categorías mencionadas se encuentran en la tabla 1, donde se puede observar que, en promedio, el 39.8% de SKUs lácteos registra más de 5 días con stock 0.

Tabla 1 Frecuencias absolutas y relativas de la cantidad de SKUs por categoría de días con stock 0 por mes

Mes	Total SKUs	Frecuencia Absoluta			Frecuencia Relativa		
		Menos de 2 días con stock 0	Entre 2 y 5 días con stock 0	Más de 5 días con stock 0	Menos de 2 días con stock 0	Entre 2 y 5 días con stock 0	Más de 5 días con stock 0
enero	359	180	22	157	50.1%	6.1%	43.7%
febrero	363	200	28	135	55.1%	7.7%	37.2%
marzo	362	187	23	152	51.7%	6.4%	42.0%
abril	361	193	23	145	53.5%	6.4%	40.2%
mayo	365	213	18	134	58.4%	4.9%	36.7%
junio	359	240	17	102	66.9%	4.7%	28.4%
julio	362	149	28	185	41.2%	7.7%	51.1%
agosto	361	143	32	186	39.6%	8.9%	51.5%
septiembre	363	175	44	144	48.2%	12.1%	39.7%
octubre	373	194	49	130	52.0%	13.1%	34.9%
noviembre	379	223	31	125	58.8%	8.2%	33.0%
Promedio	364	191	29	145	52.3%	7.9%	39.8%

Fuente: Autor

1.2.1. Declaración del problema

La empresa necesita conocer de manera técnica, el diseño idóneo de políticas de reabastecimiento de los SKUs de la familia de lácteos que reduzca el porcentaje de SKUs con más de 5 días con stock 0, que desde enero a noviembre del 2024 ha registrado un valor promedio de 39.8%, resultado contrario a la estrategia de la organización de ofrecer variedad y disponibilidad de SKUs.

1.3. Objetivos del proyecto de titulación

1.3.1. Objetivo general

Diseñar políticas de abastecimiento de los SKUs lácteos de un retail, para reducir el porcentaje de SKUs lácteos con más de 5 días con stock 0 en un 10%, considerando la definición de niveles de servicio deseado y límites de almacenamiento.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la gestión del inventario actual, levantando el porcentaje de días con stock 0 por SKU y su potencial impacto en los resultados de la empresa.
- Categorizar los SKUs de la familia de lácteos con base a un análisis ABC de ventas en dólares, para la aplicación diferenciada de medidas de control de inventario.
- Evaluar diferentes políticas de abastecimiento a través de la revisión bibliográfica y la comparación, considerando las características de los SKUs y los recursos de la empresa.
- Analizar escenarios de la política de abastecimiento seleccionada a través de la simulación, considerando el porcentaje de días con stock 0, el nivel de servicio y las restricciones de almacenamiento.

1.4. Alcance del proyecto

Se ha identificado que este proyecto de titulación incluye la respectiva interacción con varios procesos de la cadena de suministro de este minorista. Por ello, para determinar el alcance del proyecto se ha levantado las actividades que se realiza en los procesos del supermercado, desde la planificación al servicio al cliente.

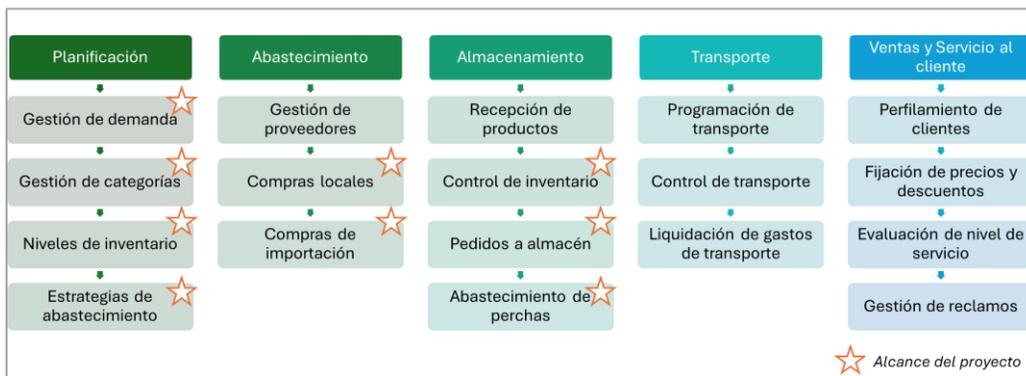


Figura 1.5 Procesos de cadena de suministro dentro del alcance del proyecto

Fuente: Autor

En la figura 1.5 se ha representado con una estrella las actividades involucradas en el desarrollo del proyecto. Siendo así que como se muestra en la figura este proyecto tiene impacto en todas las actividades del proceso de planificación. En cuanto al abastecimiento no se ha incluido intervención en la gestión de proveedores y, en su lugar se considera como restricciones los proveedores actuales y los términos ya pactados. De igual manera,

es necesario mencionar que dentro del alcance no están las actividades de los procesos relacionados al transporte ni a las ventas.

1.5. Equipo de trabajo

El equipo de trabajo para el desarrollo de este proyecto de titulación se encuentra definido de la siguiente manera, considerando sus roles:

- **Representante de la dirección:** Gerente general
- **Patrocinador:** Jefe de finanzas.
- **Líder de proyecto:** Autor del presente proyecto.
- **Dueño del proceso:** Responsable de compras.
- **Miembros del equipo:** Responsable de compras, jefe de bodega, supervisión de ventas.

El patrocinador brinda los accesos necesarios de los datos reales y el representante de la dirección revisa y aprueba formalmente el proyecto.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA

Para el desarrollo del presente proyecto se realizó una revisión de la literatura relacionada al diseño y evaluación de políticas de abastecimiento. Se buscaron referencias relacionadas a la gestión de la cadena de suministro en un entorno minorista. (Coyle, Langley, Novack, & Gibson, 2018) mencionan que en la gestión del inventario se tienen técnicas para la administración del inventario, así como técnicas para la evaluación del inventario. El modelo de cantidad económica de pedido es un ejemplo de técnica de administración y la clasificación ABC es una técnica de evaluación de inventario. Ahora bien, este autor afirma que es necesario el uso tanto de técnicas de administración como de evaluación cuando en la organización cuando los SKUs muestran entre sí diferencias en los niveles y variabilidad de la demanda o del plazo de entrega.

Ahora bien, se revisó artículos que utilizaron este tipo de herramientas y sus hallazgos. Se consideró un caso de estudio donde (Biswas, Karmaker, Islam, Hossain, & Ahmed, 2017) plantearon una evaluación de diferentes técnicas para el control del inventario en una tienda minorista de Bangladesh. Entre las técnicas revisadas se encuentran herramientas de clasificación del inventario, el modelo de la cantidad económica de pedido y del inventario de seguridad. Una contribución importante de esta investigación es el uso conjunto de estas técnicas para el diseño de la política y control del inventario, planteando una estrategia diferenciada que permite mejorar los resultados del negocio. De manera similar, (Gonzalez, 2020) propuso e implementó una metodología para la gestión de inventario con orientación a soportar la estrategia competitiva de la organización, logrando mejorar el nivel de servicio deseado.

Otro artículo científico tomado como referencia es el elaborado por (Chiadamrong & Lhamo, 2017) donde realizan un comparación de políticas de abastecimiento de inventario para productos perecibles en entorno minorista, así como el contraste contra una gestión del inventario sin una política de abastecimiento. Una de las principales contribuciones de la investigación de estos autores es la propuesta de una guía y recomendaciones para la elección de políticas de abastecimiento para productos perecibles, en un marco de 24 condiciones específicas como entornos empresariales que caracterizan a las organizaciones. Además, este artículo detalla un esquema sistemático para la consecución de sus resultados: revisión literario sobre gestión de inventarios de perecibles, elección de las políticas a estudiar, simulación de las políticas y un análisis de escenarios donde se tienen variaciones en los datos de entrada de los modelos como patrones de demanda y tamaño del lote de compra.

En su investigación (Gorria, Lezaun, & López, 2022) analizan modelos de inventario no estacionarios para productos perecibles, bajo una política de reabastecimiento de revisión periódica que considera una estimación de los productos a caducar para el calculo del pedido. Los autores aplicaron en este trabajo una comparación entre resultados de la simulación de un banco de sangre y las aproximaciones analíticas que proponen para este

tipo de modelos de abastecimiento de inventario. En la simulación se experimentó con diferentes escenarios de nivel de inventario de seguridad y la distribución de probabilidad de la demanda.

De esta manera, para la ejecución de este proyecto se tuvo en cuenta las herramientas usadas en las investigaciones mencionadas y la propuesta de interacción en su uso, que al considerar el entorno de la empresa minorista en la que se ha desarrollado este trabajo su adaptación fue esquematizada en 4 etapas: diagnóstico de la gestión del inventario, caracterización de la demanda, selección-simulación de la política de abastecimiento y su respectiva evaluación de resultados.

En la figura 2.1 se muestran las actividades realizadas para el desarrollo de esta metodología. Para el diagnóstico fue clave el uso de herramientas de investigación primaria como entrevistas a los colaboradores y observación. Asimismo, ha sido de suma relevancia la revisión de bibliografía pertinente al diseño de políticas de abastecimiento en un entorno minorista. La recolección de datos y su tratamiento ha sido una de las actividades que requirió mayor dedicación de tiempo, tomando en cuenta que la empresa no ha definido una estructura formal para el tratamiento de la información que registra en su sistema. Cabe señalar que la ejecución de las 4 etapas de esta metodología fue realizada de manera secuencial, pero las actividades dentro de cada etapa como indica (Urroz-Osés, 2018) en su trabajo sobre el diseño y desarrollo de soluciones, se llevaron a cabo en un proceso de ciclos.

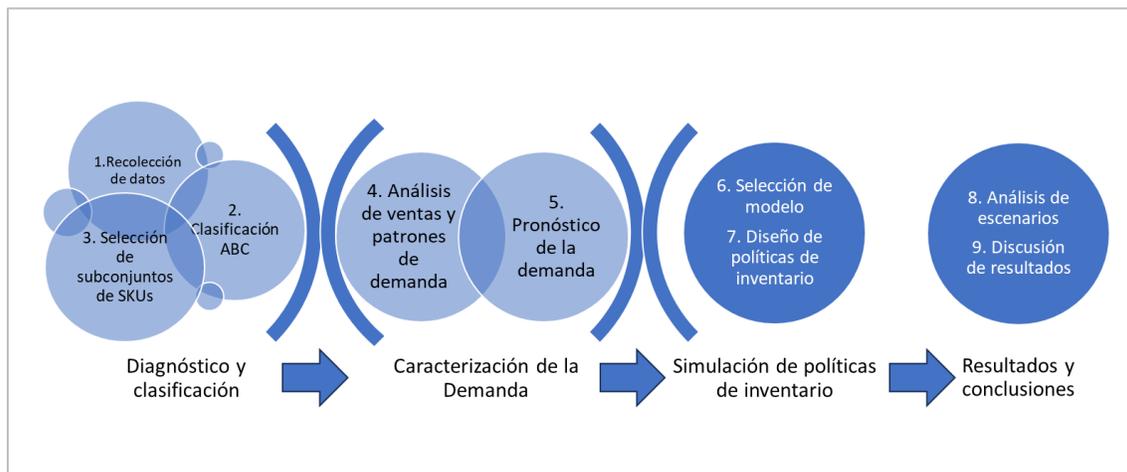


Figura 2.1 Actividades para el desarrollo de la metodología

Fuente: Autor

2.1. Plan de recolección de datos

Para entender la situación actual de la empresa respecto a su proceso de abastecimiento de inventario se realizó un plan de recolección de datos que se muestra en la tabla 2. Para la obtención de estos se ha requerido dos medios principales: registros de la base de datos de la empresa y las entrevistas que se ha mantenido con el personal de la empresa. El listado de SKUs con las características levantadas se encuentra en el anexo A.

Tabla 2 Plan de recolección de datos

Datos	Definición operacional	Unidades	Fuente	Tipo de datos	Uso previsto
Demanda histórica de ventas por SKU	Ventas históricas diarias por SKU	Unidades	Base de datos de la empresa	Cuantitativos -Discretos	Realización del pronóstico de la demanda
Inventario diario por SKU	Corte de inventario a inicio de cada día	Unidades	Base de datos de la empresa	Cuantitativos -Discretos	Levantamiento de métrica de cantidad de días con stock 0
Tiempo de entrega LT	Fecha de pedido- Fecha de llegada	Días	Área de compras de la empresa	Cuantitativos -Discretos	Análisis del tiempo del reabastecimiento
Tipo de compra por SKU	Lista detallada de cada SKU con su tipo de compra	Local Importación	Área de compras de la empresa	Cualitativo-Categorico	Diferenciación de la política de abastecimiento por tipo de compra
Tipo de almacenamiento por SKU	Lista detallada de cada SKU con su tipo de almacenamiento	Refrigerado Seco	Área de compras de la empresa	Cualitativo-Categorico	Diferenciación de la política de abastecimiento por tipo de almacenamiento
Lista de precios por SKU	Precio unitario de cada SKU	Dólares	Base de datos de la empresa	Cuantitativos -Discretos	Simulación y evaluación de resultados de la política
Lista de costo de adquisición por SKU	Costo unitario de cada SKU	Dólares	Base de datos de la empresa	Cuantitativos -Discretos	Simulación y evaluación de resultados de la política
Posiciones de almacenamiento	Largo, ancho y alto	Metros cúbicos	Área de compras de la empresa	Cuantitativos -Continuo	Inclusión de límites de almacenamiento

Fuente: Autor

2.2. Clasificación ABC

Una de las herramientas que se considera necesaria para el diseño de un modelo de abastecimiento es la clasificación ABC de inventarios que es un método de gestión de inventarios que es utilizado para categorizar los SKUs en función de algún criterio que indique su importancia relativa. Por lo general, la clasificación se realiza con base a las ventas anuales o al valor de los SKUs dentro del inventario y se divide en tres categorías: A, B y C. Los SKUs de la categoría A son los más importantes en términos de valor y representan una cantidad pequeña de SKUs, pero tienen un gran peso en el valor total del inventario. Estos SKUs suelen considerarse de alta demanda y su gestión debe tener especial atención. De manera contrapuesta, los SKUs de la categoría C son los menos importantes en términos de valor y representan una gran cantidad de SKUs, pero significan relativamente bajo valor en el inventario. Estos SKUs suelen ser de rotación y pueden ser

gestionados de manera menos estricta. De esta manera la clasificación ABC de inventarios es relevante para optimizar el control y la gestión de los inventarios, identificando los SKUs más críticos y asignar recursos de manera más eficiente (Rushton, Croucher, & Baker, 2017).

Para la clasificación ABC de los SKUs de la familia de lácteos se empleó las ventas diarias desde enero a noviembre del 2024 y su valor monetario. Se utilizó el siguiente criterio para la clasificación: los SKUs de la categoría A contribuyen al 70% de las ventas en dólares, la categoría B contribuye al 20% subsiguiente y la categoría C contribuye al 10% restante. Cabe señalar que no se usó el criterio tradicional de que la categoría A contribuye al 80% de la venta, porque se observó que del porcentaje acumulado de ventas de 70% se requería incluir 45 SKUs más para llegar al 80%, lo que no contribuiría al objetivo de aplicar controles de inventario diferenciados y asignar los recursos de manera eficiente.

La tabla 3 muestra las 3 clases en las que se ha categorizado el inventario, donde podemos observar que la categoría A está conformada por 95 SKUs (que representa el 22% del total de SKUs de lácteos), la categoría B está conformada por 119 SKUs (que representa el 28%) y la categoría C está conformada por los 218 SKUs restantes (representando el 50% del total de SKUs de esta familia).

Tabla 3 Resumen de familia de lácteos por categorías A, B y C

Categoría	% Ventas en dólares	Cantidad de SKUs	% SKUs
A	70%	95	22%
B	20%	119	28%
C	10%	218	50%
Total		432	100%

Fuente: Autor

2.3. Selección del subconjunto de SKUs a analizar

Considerando las limitaciones de tiempo para el desarrollo del presente proyecto se ha planteado la selección de un subconjunto de SKUs en los que se aplicará los pasos de la metodología planteada y diseñar políticas de abastecimiento robusta que sean aplicables a los demás SKUs de la familia de lácteos. Por ello, es pertinente la segregación de los SKUs por tipo de compra y por tipo de almacenamiento, por las implicaciones que estas características representan, al menos en términos de tiempos del ciclo de reabastecimiento y del espacio de almacenamiento disponible. Siendo así que se clasificaron los SKUs con estas dos características y el resumen se registró en la figura 2.2, donde se puede observar que los SKUs comparten características en 3 grandes agrupaciones: los SKUs locales son refrigerados, los SKUs de importación mayormente son refrigerados y una menor proporción de SKUs de importación se almacenan en seco.

Tipo de almacenamiento		Tipo de compra		
		Refrigerado	Seco	Total
Local (Abasto interno en la Isla)		55	0	55
Importación (Abasto desde parte continental del Ecuador)		235	143	378
Total		289	143	432

Figura 2.2 Segregación de SKUs lácteos por tipo de compra y almacenamiento

Fuente: Autor

De esta manera, se podría requerir 2 o 3 tipos de políticas de abastecimiento de inventario que sea aplicable a los SKUs considerando las agrupaciones por característica de tipo de compra y almacenamiento. Por ellos el subconjunto de SKUs que se elijan debe contener SKUs de estas 3 agrupaciones identificadas. Ahora bien, para la selección de este subconjunto a analizar se estimó el valor potencial (monetario) de la falta de stock durante el año 2024, utilizando el porcentaje de días con Stock 0 y las ventas en dólares; como una medida que permite elegir para el análisis SKUs que has presentado mayor incidencia de días con stock 0 y que a su vez tienen relevancia en los ingresos por ventas del supermercado. En la tabla 4 se muestra el resultado de este análisis, con un listado de los 10 SKUs el valor potencial más elevado y que registran ventas históricas en años anteriores para la caracterización de la demanda.

Tabla 4 Subconjunto de SKUs seleccionados para el desarrollo de las políticas de abastecimiento

SKU	Grupo	Venta anual (\$)	Porcentaje de días con stock 0	Valor potencial anual (\$)	Categoría	Tipo de compra	Tipo de almacenamiento
7862102120184	Quesos	\$4,742	30.4%	\$1,444	A	Local	Refrigerado
7861001240177	Repostería	\$5,103	18.2%	\$929	A	Importación	Seco
27367	Quesos	\$2,310	33.1%	\$766	A	Local	Refrigerado
7861012500338	Quesos	\$4,881	13.4%	\$656	A	Importación	Refrigerado
117118601	Yogurt	\$15,844	3.6%	\$568	A	Local	Refrigerado
27366	Quesos	\$1,243	41.2%	\$512	A	Local	Refrigerado
2745215896	Quesos	\$2,871	17.3%	\$497	A	Local	Refrigerado
7868000558906	Quesos	\$1,180	39.7%	\$468	A	Importación	Refrigerado
2101020188	Yogurt	\$6,771	6.6%	\$445	A	Local	Refrigerado
7861182300059	Quesos	\$1,521	25.4%	\$386	A	Importación	Refrigerado

Fuente: Autor

Se puede observar en la tabla 4 que se han seleccionado 6 SKUs locales (que sólo son refrigerados), 3 SKU importados y refrigerados, 1 SKU importado y de almacenamiento seco.

2.4. Análisis de la demanda y sus patrones

Para el análisis de demanda de los SKUs seleccionados se ha utilizado las ventas históricas desde enero 2022 hasta diciembre 2024, información recolectada de la base de datos de la empresa.

Se agregó la venta diaria de SKU por mes para detectar patrones en la demanda. En los datos se observaron meses donde la venta de ciertos SKU fue 0 y para un análisis más acertado respecto a la situación real se hizo uso de series de tiempo, donde se asignó el valor de cero a los meses donde no se tuvo registro de ventas. Ahora bien, cuando se analizan series de tiempo los componentes a considerar según (Silver, Pyke, & Thomas, 2017) son: nivel, tendencia, estacionalidad, ciclo y un componente irregular aleatorio. Los 4 primeros componentes son sistemáticos y se pueden predecir al detectar los patrones que siguen. Sin embargo, es importante señalar que la detección de un patrón de ciclo no estará dentro del alcance de este proyecto dado que sólo se cuenta con los datos de los 3 últimos años y según (Hyndman & Athanasopoulos, 2021) este componente suele ser detectado con información de 4 años en adelante.

La figura 2.3 muestra la serie de tiempo para el SKU 117118601 en donde se observa que su nivel de venta no baja de 50 unidades por mes y una tendencia positiva de ventas marcada por la línea negra de guiones. En la figura 2.3 no se observa algún patrón de estacionalidad.



Figura 2.3 Serie de tiempo de la venta en unidades del SKU 117118601

Fuente: Autor

Para analizar si las series de tiempo de cada SKU tienen un componente de estacionalidad como señalan (Hyndman & Athanasopoulos, 2021) en su libro se usan gráficos estacionales y para este proyecto se realizaron con dos variables distintas en el eje X: los meses y los trimestres del año. Para el análisis del SKU 117118601 se tiene la figura 2.4, donde se muestra la gráfica ubicada a la izquierda con la venta en unidades por mes

superpuesta por año, graficando cada línea con diferente color por año, donde no se logra observar un patrón de estacionalidad en los meses del año.

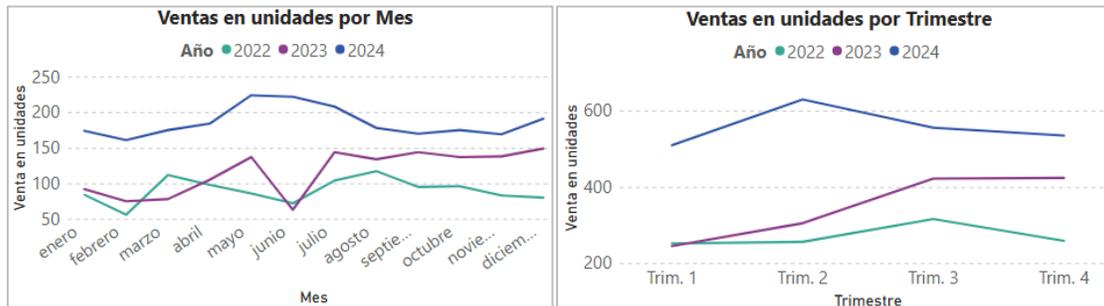


Figura 2.4 Tipos de Gráficos de estacionalidad de la venta en unidades para el SKU 117118601

Fuente: Autor

De igual manera, no se logra observar un patrón de estacionalidad al analizar el gráfico ubicado a la derecha en la figura 2.4 donde se muestra la venta en unidades por trimestre, con los datos de cada año superpuestos. Sin embargo, para este SKU se logra confirmar gráficamente que los valores de venta han incrementado de manera consistente.

Dicho esto, se ha ampliado este análisis a todos los SKUs del subconjunto seleccionado y se muestra en la tabla 5 el resumen de la detección de patrones de tendencia y estacionalidad, como parte de los componentes necesarios para la elaboración de un pronóstico de la demanda; de donde se observa que los SKUs analizados no presentan un patrón de estacionalidad y menos de la mitad muestra un patrón de tendencia. Por otra parte, el componente de nivel y el componente irregular aleatorio fueron revisados en la selección de la técnica para pronosticar la demanda, documentada en la siguiente sección del proyecto.

Tabla 5 Resumen de la detección de patrones de tendencia y estacionalidad de las series de tiempo de ventas en unidades

SKU	Grupo	Patrón de tendencia	Patrón de estacionalidad
7862102120184	Quesos	Negativa	Sin estacionalidad
7861001240177	Repostería	Sin tendencia	Sin estacionalidad
27367	Quesos	Sin tendencia	Sin estacionalidad
7861012500338	Quesos	Sin tendencia	Sin estacionalidad
117118601	Yogurt	Positiva	Sin estacionalidad
27366	Quesos	Sin tendencia	Sin estacionalidad
2745215896	Quesos	Negativa	Sin estacionalidad
7868000558906	Quesos	Sin tendencia	Sin estacionalidad
2101020188	Yogurt	Negativa	Sin estacionalidad
7861182300059	Quesos	Sin tendencia	Sin estacionalidad

Fuente: Autor

2.5. Modelo de pronóstico de la demanda

El pronóstico de la demanda según (Coyle, Langley, Novack, & Gibson, 2018) conforma la base de toda la planeación de una red de abastecimiento. Este autor señala que los supermercados generalmente implican procesos de empuje en la cadena de suministro y requieren antelación a la demanda de los clientes. Si bien es cierto los pronósticos siempre están errados, cuando una organización cuenta con pronósticos puede planificar sus recursos de mejor manera y responder a las necesidades de los clientes. (Chopra & Meindl, 2008) indican que los diversos métodos para pronosticar se clasifican en 4 grupos: cualitativos, series de tiempo, causales y simulación.

Cada clase de método para pronosticar cuenta con varias técnicas y no está dentro del alcance de este proyecto la elección del mejor método de pronóstico; sin embargo, considerando la información que se ha recolectado y analizado sobre las ventas de los SKUs lácteos se planteó el uso de métodos de pronóstico de series de tiempo y se esquematizó en la tabla 6 aquellos métodos aplicables según (Chopra & Meindl, 2008) para los patrones de tendencia y estacionalidad hallados en la tabla 5.

Tabla 6 Métodos de pronósticos aplicable por SKUs según sus características

SKUs del subconjunto analizado	Característica de tendencia y estacionalidad	Método de pronóstico
7861001240177 27367		
7861012500338 27366	Sin tendencia o estacionalidad	Promedio móvil Suavización exponencial simple
7868000558906 7861182300059		
7862102120184 117118601 2745215896 2101020188	Con tendencia sin estacionalidad	Suavización exponencial doble (modelo de Holt)
No aplica	Con tendencia y estacionalidad	Suavización exponencial triple (modelo de Winter)

Fuente: Autor

El proceso de abastecimiento de la empresa para los SKUs importados emplea un criterio de promedio móvil, aunque no de manera formal, de periodos de 3 a 6 meses, donde se observa la venta en unidades y estima la cantidad esperada para el mes al que se busca abastecer. Por ello se ha planteado, comparar los resultados de los errores de pronóstico de un método de promedio móvil en contraste con un método de suavización exponencial simple o doble, haciendo uso del software libre RStudio con código de programación detallado en el anexo B.

Siendo así, para seleccionar para cada SKU del subconjunto de análisis un método de pronóstico que minimice su error se eligió minimizar la métrica RMSE (raíz de error cuadrático medio) a través de un procedimiento de validación cruzada para series temporales. (Hyndman & Athanasopoulos, 2021) señalan que este procedimiento de validación cruzada permite aplicar el concepto de separar la base de datos en

entrenamiento y prueba, generando una mejor estimación del error de cada modelo de pronóstico y elegir así el modelo que tiene la menor métrica de error.

Como resultado de este procedimiento se obtuvo para 8 SKUs métricas de errores de pronóstico con valores menores con los métodos de suavización que con el método de promedio móvil. En la figura 2.5 se muestra el pronóstico de ventas en unidades y la venta que se registró por mes en el año 2024.

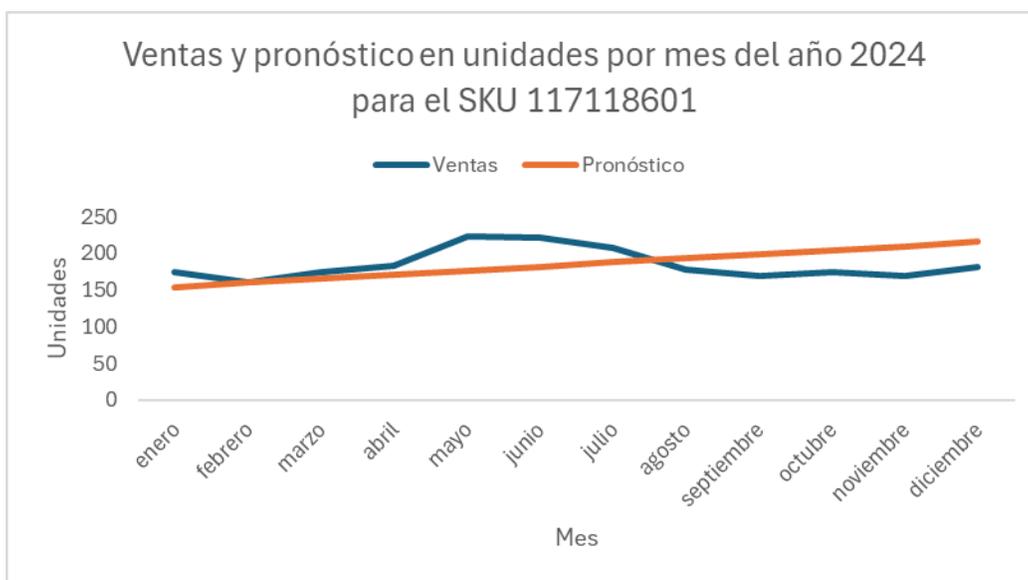


Figura 2.5 Ventas y pronóstico en unidades por mes del año 2024 para el SKU 117118601

Fuente: Autor

En la tabla 7 se muestra el resumen del método de pronóstico seleccionado por cada SKU analizado, con el valor de la métrica RMSE como medida del error. Se puede observar el valor p de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk de los residuales del modelo, de lo que contrastado con un nivel de significancia del 0.05 se sugiere que los residuos siguen una distribución normal. De esta manera en la tabla 7 se presenta el pronóstico mensual para los seis últimos meses de 2024 con su intervalo de predicción al 80% de nivel de confianza, con el supuesto de normalidad probado.

Estos valores de pronóstico mensual y la estimación de la desviación estándar se usaron para el diseño de la política de inventarios. Cabe señalar que, tanto para el promedio móvil como para la suavización exponencial simple, el valor del pronóstico es el mismo para los h periodos que se desee predecir; sin embargo, el pronóstico de un método de suavización exponencial doble varía en función de los h periodos de la predicción y por ello, para este método se usó el valor promedio del pronóstico de los 6 los seis últimos meses de 2024 como un valor que representa este periodo de tiempo.

Tabla 7 Modelo de pronóstico seleccionado

SKU	Grupo	Método de pronóstico seleccionado	RMSE	Prueba de normalidad (Valor p)	Pronóstico mensual (unidades)	Intervalo de Predicción (Nivel de Confianza del 80%)		
						Desviación Estándar	Valor inferior	Valor superior
7862102120184	Quesos	Suavización Exponencial Simple	15.9	0.2269	21	13.7	4	39
7861001240177	Repostería	Promedio móvil de 6 meses	13.9	0.1498	37	13.1	20	54
27367	Quesos	Promedio móvil de 6 meses	7.1	0.1536	23	7.4	13	32
7861012500338	Quesos	Suavización Exponencial Simple	47.2	0.1602	115	42.9	60	169
117118601	Yogurt	Suavización Exponencial Doble (Holt)	30.3	0.9518	198	24.3	167	229
27366	Quesos	Suavización Exponencial Simple	11.0	0.2625	18	9.9	5	30
2745215896	Quesos	Suavización Exponencial Simple	17.3	0.5944	31	16.4	10	52
7868000558906	Quesos	Suavización Exponencial Simple	9.3	0.3343	26	9.0	14	37
2101020188	Yogurt	Suavización Exponencial Simple	34.0	0.432	85	32.3	44	127
7861182300059	Quesos	Suavización Exponencial Simple	6.9	0.438	16	6.5	8	24

Fuente: Autor

2.6. Modelamiento de la gestión del inventario

2.6.1. Selección del modelo de administración de inventario

En toda cadena de suministro se toman decisiones respecto al reabastecimiento de los SKUs, una vez definida la estrategia de la cadena de suministro y su planificación. Estas decisiones de inventario implican definir cuándo es necesario solicitar un reabastecimiento y la cantidad de producto que se requiere solicitar; lo que sumado a la determinación de la forma de control de los inventarios se conoce como una política de abastecimiento de inventario (Chopra & Meindl, 2008).

Ahora bien, una política de abastecimiento es el resultado del enfoque con el que se ha definido administrar el inventario, de donde se pueden considerar los siguientes: enfoque de cantidad de pedido fijo, el enfoque de intervalo fijo de pedido, el enfoque justo a tiempo (JIT por sus siglas en inglés) y el concepto Vendor Management Inventory (VMI). Estos dos últimos enfoques han sido empleados en casos de éxito de mejora en el nivel de servicio y la reducción de costos; sin embargo, estos enfoques no se consideran dentro del desarrollo de este proyecto, considerando el contexto de la organización, dado que requieren de unos sistemas de información confiables y eficaces, servicios de transportación con alta calidad y de los aspectos más relevantes, cambios en la estrategia de la cadena de suministro, así

como en la cultura de trabajo dentro de sus eslabones, tanto para los fabricantes como para los minoristas (Coyle, Langley, Novack, & Gibson, 2018).

De esta manera, se realizó una revisión bibliográfica de los modelos de enfoque de cantidad fija y de intervalos fijos de pedido para ajustar consideraciones a tomar en cuenta en el desarrollo del modelo de inventario de este proyecto, con un énfasis en el hecho de que los SKUs lácteos de la empresa son productos perecibles (Coyle, Langley, Novack, & Gibson, 2018).

Respecto al enfoque de cantidad fija (Biswas, Karmaker, Islam, Hossain, & Ahmed, 2017) desarrollaron un caso de estudio en un minorista considerando una demanda constante y un tiempo de entrega variable, comparando la aplicación de esta política de abastecimiento con un esquema de trabajo empírico, permitiendo anticiparse en los pedidos para reducir los periodos sin inventario. Por su parte, (Asana, Radhitya, Widiartha, Santika, & Wiguna, 2020) implementaron un control de inventario de mínimos y máximos en un sistema de información de gestión minorista, mostrando durante 3 meses un incremento de ventas a la par que se reduce el inventario mantenido en almacenamiento. Estas políticas de abastecimiento requieren un seguimiento continuo del nivel de inventario para cuando este llegue a cierto nivel (definido) se solicite el la cantidad establecida para el reabastecimiento.

En cambio, con el enfoque de intervalos fijos de pedido, (Villacis Baquero, 2017) implementó una política de abastecimiento con un nivel de seguridad ante las fluctuaciones de la demanda y planteó el uso de la heurística Silver-Meal para la determinación de la tamaño del pedido, considerando un línea de SKU con venta estacional. Por su parte, (Hansen, Transchel, & Friedrich, 2023) desarrollaron en su investigación un modelo con un enfoque de intervalo fijo de pedido para productos perecibles en un entorno minorista considerado que la demanda y el tiempo de entrega son variables aleatorias; determinando con su modelo la cantidad óptima de reabastecimiento bajo restricciones de nivel de servicio por periodo.

De los modelos de enfoque de intervalos fijo de pedidos se tienen algunas otras variantes aplicadas para productos perecibles. Por ejemplo, (Zhou, y otros, 2021) investigaron las características del problema de control de inventario de sangre, aplicando una estrategia de estimación de retiro y envejecimiento (EWA por sus siglas en inglés) a un enfoque de intervalos fijos (eisión periódica del inventario) y considernado el impacto del nivel del inventario de seguridad y las fluctuaciones de la demanda en el control del inventario. (Chiadamrong & Lhamo, 2017) analizaron varias políticas de abastecimiento de inventario aplicadas a un producto perecible y compara su uso, proponiendo una guía para la selección de un política acorde a las condiciones de la organización. Las políticas de abastecimiento analizadas en estos casos definen una cantidad máxima del SKU, de tal manera que el pedido sea la diferencia entre esta cantidad máxima y el nivel de inventario al momento de la revisión.

Ahora bien, considerando que la empresa tiene un sistema ERP que no le permite programar un control continuo del nivel de inventario y que requiere la intervención del personal asignado en compras para la elaboración de los pedidos, se planteó modelar la administración del inventario con un enfoque en intervalos fijo de pedido, diferenciando el valor del tamaño del intervalo por el tipo de compra (local o de importación). Además, dado

que los SKUs lácteos son productos perecibles se estableció el uso de una cantidad máxima para el nivel de inventario como en los modelos citados de la revisión de la literatura.

2.6.2. Diseño de políticas de abastecimiento de inventario

Considerando el modelo de administración de inventario seleccionado se requirió la definición de cuál sería el tamaño del intervalo fijo de pedidos expresado en días. Para ello se utilizó las 3 segregaciones de los SKUs lácteos presentada en la sección 2.3, agregando al análisis el tiempo total de reabastecimiento y el tiempo de vida útil.

Para los SKUs lácteos importados se tiene una restricción de 2 a 3 viajes por mes, lo que significa que se podría realizar un pedido cada 10 o 15 días, sin embargo, dado que no se dispone siempre de un tercer viaje por situaciones ajenas a la empresa, se planteó revisar el inventario para estos SKUs en un intervalo fijo de 15 días.

Para los SKUs lácteos locales se tuvo la consideración de que el producto tiene sólo 8 días de vida útil (desde su fabricación) para ser vendido y que, a pesar de no tener una restricción en la cantidad de entregas de parte del proveedor, un intervalo de revisión de más de 2 días podría incrementar las devoluciones hacia el proveedor por el tema de la vida útil, lo que generaría oposición del proveedor e interferiría en la adopción del modelo de abastecimiento propuesto. Por ello se estableció un intervalo fijo de pedido de 2 días.

Ahora bien, dado que se considera una condición de incertidumbre en la demanda de los SKUs se calculó el nivel del inventario de seguridad (definido como ss) y con ello el nivel de inventario máximo (S) considerando la demanda durante el tiempo total de reabastecimiento (\bar{D}_{T+L}), es decir, sumando los días del intervalo de fijo de pedido (T) y del tiempo de entrega (L). Estos dos últimos valores se los muestra en la tabla 8 por cada segregación de SKU. (Chopra & Meindl, 2008).

Tabla 8 Intervalo fijo de pedido y el tiempo de entrega para las políticas de inventario por segregación de SKU

Segregación de SKU	Intervalo fijo de pedido (T)	Tiempo de entrega (L)
SKUs importados secos	15 días	18 días
SKUs importados refrigerados	15 días	4 días
SKUs locales refrigerados	2 días	1 día

Fuente: Autor

Además, se procedió a definir un nivel de servicio del ciclo (α) que es el porcentaje de ciclos de reabastecimiento en el que se logra satisfacer toda la demanda del cliente como lo explica (Chopra & Meindl, 2008). El nivel de servicio del ciclo (α) inicial se definió entre 80% y 95%, considerando que estos SKUs son de categoría A en ventas.

Se utilizaron el pronóstico mensual y la desviación estándar mostrada en la tabla 7 para calcular la demanda durante el tiempo total de reabastecimiento (\bar{D}_{T+L}) y su desviación (σ_{T+L}) durante este periodo de tiempo. Se emplearon los criterios empíricos que argumentan (Silver, Pyke, & Thomas, 2017) acerca de la distribución de la demanda durante el tiempo de reabastecimiento de lo que se obtuvo dos casos para el cálculo del nivel de inventario de seguridad. Se empleó la simulación para ajustar el factor de nivel de

servicio del ciclo en cada caso (normalidad y no normalidad) considerando que el inventario promedio se encuentre dentro de los límites de vida útil y se determinó que para el caso de normalidad se emplee un nivel de servicio α de 95% y para el caso de no normalidad un nivel de servicio de 80%.

Caso de normalidad en la demanda durante el tiempo total de reabastecimiento

El SKU 117118601 es de tipo local refrigerado y usando los valores expresados en tabla se calculó la demanda y su desviación estándar durante el tiempo total de reabastecimiento. Estos cálculos dieron como resultado un \bar{D}_{T+L} igual a 20 unidades y un σ_{T+L} igual a 7.7 unidades, que implica un coeficiente de variación $(\frac{\sigma_{T+L}}{\bar{D}_{T+L}})$ de 0.385.

De esta manera, dado que el valor promedio de la demanda es mayor a 10 (unidades) y la desviación estándar es menor a la mitad del tamaño de la demanda, el supuesto de normalidad es aplicable (Silver, Pyke, & Thomas, 2017).

Siendo así, la ecuación utilizada para el cálculo del inventario de seguridad (ss) es:

$$ss = k * \sigma_{T+L} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$ss = k * \sigma_D \sqrt{\frac{T+L}{30}}$$

$$ss = 1.64 * 24.3 \sqrt{\frac{2+1}{30}}$$

$$ss = 12.6 \text{ unidades} \approx 13 \text{ unidades}$$

Donde:

k = factor de seguridad para un nivel de servicio de 95% de una distribución normal

σ_{T+L} = desviación estandar de la demanda durante el ciclo de reabastecimiento

σ_D = desviación estandar de la demanda pronosticada mensual

Ahora bien, para el cálculo del nivel de inventario máximo se utilizó la ecuación:

$$S = \bar{D}_{T+L} + ss \quad (\text{Ec. 2})$$

$$S = \hat{D} \left(\frac{T+L}{30} \right) + ss$$

$$S = 198 \left(\frac{2+1}{30} \right) + 11$$

$$S = 32.8 \text{ unidades} \approx 33 \text{ unidades}$$

Donde:

$$\bar{D}_{T+L} = \text{Demanda promedio durante el ciclo de reabastecimiento}$$

$$\hat{D} = \text{Demanda pronosticada mensual}$$

Por lo tanto, para el SKU 117118601 la política de abastecimiento de inventario es: revisar el inventario cada T periodos de 2 días, y ordenar un lote de productos $Q = 33 - I$. Donde I es la posición de inventario al momento de la revisión.

Se aplicaron las ecuaciones 1 y 2 para los SKUs cuyo criterio empírico aplicaba el supuesto de normalidad de la demanda \bar{D}_{T+L} . En la tabla 9 se registraron los resultados se registraron para los 5 SKUs que cumplían el criterio mencionado.

Tabla 9 Políticas de inventario para SKUs del subconjunto de análisis con distribución normal en su demanda durante el periodo T+L

SKU	Grupo	Nivel de servicio	T (días)	Demanda pronosticada 2024 (unidades)	Desviación Estándar (Unidades)	Lead Time (días)	D T+L (unidades)	Desv Est. T+L	Factor k	SS (unidades)	S Máximo (unidades)
7861001240177	Repostería	95%	15	37	13.1	18	41	13.7	1.64	23	64
7861012500338	Quesos	95%	15	115	42.9	4	73	34.1	1.64	57	130
117118601	Yogurt	95%	2	198	24.3	1	20	7.7	1.64	13	33
7868000558906	Quesos	95%	15	26	9.0	4	16	7.2	1.64	12	29
7861182300059	Quesos	95%	15	16	6.5	4	10	5.2	1.64	9	20

Fuente: Autor

Caso de no normalidad en la demanda durante el tiempo total de reabastecimiento

Por su parte, el SKU 2101020188 es de tipo local refrigerado y usando los valores expresados en tabla se calculó la demanda y su desviación estándar durante el tiempo total de reabastecimiento. Estos cálculos dieron como resultado un \bar{D}_{T+L} igual a 9 unidades y un σ_{T+L} igual a 10.2 unidades, que implica un coeficiente de variación ($\frac{\sigma_{T+L}}{\bar{D}_{T+L}}$) de 1.13.

Así que dado que el valor promedio de la demanda es menor a 10 (unidades) y la desviación estándar es mayor a la mitad del tamaño de la demanda, el supuesto de normalidad no es aplicable y por ello se acogió la recomendación del uso de otras distribuciones estadísticas como es el caso de la distribución de Laplace (Silver, Pyke, & Thomas, 2017). Esta distribución tiene una función de distribución acumulativa y una respectiva función inversa que puede emplearse cálculos no complejos. La ecuación utilizada para el cálculo del inventario de seguridad (ss) es:

$$ss = F^{-1}(p) \quad (\text{Ec. 3})$$

$$ss = \bar{D}_{T+L} - \frac{\sigma_{T+L}}{\sqrt{2}} \cdot \text{sgn}(p - 0.5) \ln(1 - 2|p - 0.5|)$$

$$ss = 9 - \frac{10.2}{\sqrt{2}} \cdot \text{sgn}(0.8 - 0.5) \ln(1 - 2|0.8 - 0.5|)$$

$$ss = 15.6 \text{ unidades} \approx 16 \text{ unidades}$$

Donde:

$$p = \text{nivel de servicio de ciclo definido en } 80\%$$

$$\bar{D}_{T+L} = \text{Demanda promedio durante el ciclo de reabastecimiento}$$

$$\sigma_{T+L} = \text{desviación estandar de la demanda durante el ciclo de reabastecimiento}$$

Ahora bien, para el cálculo del nivel de inventario máximo se utilizó la ecuación 2:

$$S = \bar{D}_{T+L} + ss \quad (\text{Ec. 2})$$

$$S = \hat{D} \left(\frac{T+L}{30} \right) + ss$$

$$S = 85 \left(\frac{2+1}{30} \right) + 16$$

$$S = 24.5 \text{ unidades} \approx 25 \text{ unidades}$$

Por consiguiente, para el SKU 2101020188 la política de abastecimiento de inventario es: revisar el inventario cada T periodos de 2 días, y ordenar un lote de productos $Q = 25 - I$. Donde I es la posición de inventario al momento de la revisión.

Se aplicaron las ecuaciones 1 y 2 para los SKUs cuyo criterio empírico aplicaba el supuesto de normalidad de la demanda \bar{D}_{T+L} . En la tabla 10 se registraron los resultados se registraron para los 5 SKUs que cumplían el criterio mencionado.

Tabla 10 Políticas de inventario para SKUs del subconjunto de análisis con distribución de Laplace en su demanda durante el periodo T+L

SKU	Grupo	Nivel de servicio	T (días)	Demanda pronosticada 2024 (unidades)	Desviación Estándar (Unidades)	Lead Time (días)	D T+L (unidades)	Desv Est. T+L	SS (unidades)	S Máximo (unidades)
7862102120184	Quesos	80%	2	21	13.7	1	2	4.3	5	8
27367	Quesos	80%	2	23	7.4	1	2	2.3	4	7
27366	Quesos	80%	2	18	9.9	1	2	3.1	4	6
2745215896	Quesos	80%	2	31	16.4	1	3	5.2	7	11
2101020188	Yogurt	80%	2	85	32.3	1	9	10.2	16	25

Fuente: Autor

2.7. Diseño de Simulación de políticas de inventario

Para la validación de la propuesta del modelo se ha planteado realizar una simulación que es una herramienta de dinámica de sistemas, altamente utilizada en varios estudios como una metodología que brinda resultados que se acercan al comportamiento del sistema, lo que ayuda a las organizaciones en la toma de decisiones respecto a estrategias a corto, mediano y largo plazo (Paredes Rodríguez & Osorio Gómez, 2021).

La simulación de eventos discretos, como se describe en el libro de Jerry Banks et al. (2009), proporciona una metodología robusta para evaluar y optimizar políticas de inventario, permitiendo a las empresas mejorar su eficiencia operativa y su capacidad de respuesta a la demanda del mercado. Este autor propone una estructura a seguir para simular eventos discretos como los del control del inventario, donde cada día representa un punto de la experimentación con variables de estado y lógicas de decisión. Cabe señalar la importancia de configurar el horizonte de tiempo de la experimentación y de asegurar que el modelo de simulación represente de forma precisa el sistema real.

De esta manera, se configuró simulaciones en hojas de cálculo de Excel para analizar y ajustar la política de inventario, así como observar sus resultados. Se ha realizado la simulación para cada SKU del subconjunto de análisis, con 182 días y realizando 30 réplicas para obtener intervalos de confianza de los resultados. Por ello se ha considerado la demanda diaria como una variable aleatoria que tiene una distribución empírica levantada de la base datos de ventas de la empresa como se muestra en la tabla 11 para el SKU 117118601, donde se muestra el rango de dígitos aleatorios que corresponden a cada valor de su demanda diaria.

Tabla 11 Rango de dígitos aleatorios para la demanda diaria del SKU 117118601

Demanda	Probabilidad	Probabilidad acumulada	Rango de dígitos aleatorios
0	0.063	0.063	001-063
1	0.025	0.088	064-088
2	0.046	0.134	089-134
3	0.082	0.216	135-216
4	0.085	0.301	217-301
5	0.156	0.457	302-457
6	0.096	0.553	458-553
7	0.145	0.698	554-698
8	0.074	0.772	699-772
9	0.082	0.854	773-854
10	0.057	0.911	855-911
11	0.041	0.952	912-952
12	0.049	1.000	953-000

Fuente: Autor

Además, se estructuró en la simulación las siguientes variables de estado: inventario inicial, venta, inventario final, venta perdida, cantidad pedida a proveedor, cantidad recibida del proveedor e inventario en tránsito. En la figura 2.6 se muestra una imagen de la plantilla

configurada para la simulación con las variables indicadas, con los 21 primeros días de simulación.

Número aleatorio uniforme	Día	Inventario Inicial	Número aleatorio	Demanda	Venta	Inventario Final	Venta perdida	Pedido	Recepción	Inventario en tránsito
0.391	1	23	391	5	5	18	-	-	-	-
0.158	2	18	158	3	3	15	-	15	-	-
0.481	3	30	481	6	6	24	-	-	15	15
0.930	4	24	930	11	11	13	-	9	-	-
0.649	5	22	649	7	7	15	-	-	9	9
0.176	6	15	176	3	3	12	-	18	-	-
0.409	7	30	409	5	5	25	-	-	18	18
0.723	8	25	723	8	8	17	-	8	-	-
0.947	9	25	947	11	11	14	-	-	8	8
0.541	10	14	541	6	6	8	-	19	-	-
0.629	11	27	629	7	7	20	-	-	19	19
0.562	12	20	562	7	7	13	-	13	-	-
0.676	13	26	676	7	7	19	-	-	13	13
0.606	14	19	606	7	7	12	-	14	-	-
0.837	15	26	837	9	9	17	-	-	14	14
0.675	16	17	675	7	7	10	-	16	-	-
0.202	17	26	202	3	3	23	-	-	16	16
0.696	18	23	696	7	7	16	-	10	-	-
0.510	19	26	510	6	6	20	-	-	10	10
0.685	20	20	685	7	7	13	-	13	-	-
0.017	21	26	17	0	0	26	-	-	13	13

Figura 2.6 Plantilla de simulación de políticas de inventario

Fuente: Autor

Se mantuvo reuniones con el personal responsable de compras y personal administrativo para validar que el modelamiento del sistema de inventario represente al sistema real con los fines de evaluación de las políticas de inventario y que los resultados obtenidos son coherentes.

Además, se ha planteado hacer un análisis de sensibilidad usando como parámetro de variación la demanda, realizando una transformación de la demanda tal que el promedio de la venta diaria se incremente en un 10% y un 20%, con el fin de analizar qué tan robusto es el modelo propuesto ante los cambios en variables de entrada. Esta propuesta de incremento también guarda relación con el intervalo de predicción obtenido en los modelos de pronóstico. De igual manera, como sustento para probar estos incrementos en la demanda se consideró el objetivo de la empresa para el año 2025 que es de incrementar sus ventas, manteniendo una estrategia de variedad y disponibilidad .

2.8. Propuesta para la revisión de políticas de inventario

Para mantener las políticas de inventarios actualizadas se propone le ejecución de los siguientes pasos:

1. Revisar el modelo de pronóstico para minimizar métrica de error seleccionada. Se propone hacer esta revisión cada 6 meses.

2. Verificar y actualizar los parámetros de entrada del modelamiento del inventario como el tiempo de entrega y la disponibilidad de entregas por mes. Se propone realizar cada 6 meses.
3. Definir intervalo fijo de pedido en días. Se propone realizar cada 6 meses
4. Pronosticar la demanda actualizando los datos de ventas. Se propone realizar cada 3 o 6 meses.
5. Actualizar el inventario de seguridad y el nivel de inventario máximo con la información del pronóstico. Se propone realizar cada 3 o 6 meses.

Esta propuesta de pasos y tiempos se ha realizado considerando los resultados que se han obtenido de las simulaciones de las políticas de inventario.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Resultados de la simulación de las políticas de inventario

Las políticas de inventario se simularon para cada SKU del subconjunto de análisis para analizar el impacto del modelo propuesto en el porcentaje de días con stock 0 y en el nivel de servicio del ciclo. Sin embargo, también se consideró, por otro lado, el impacto del modelo propuesto en el costo de ordenar y en el costo de mantener inventario. En la tabla 12 se presentan los resultados de las métricas de evaluación del SKU 117118601, como un ejemplo del análisis realizado a cada SKU, con su respectivo contraste con los valores obtenidos con el modelo actual, considerando los datos del año 2024.

Tabla 12 Resultados de la simulación de la política de inventario para SKU 117118601

Resultados de simulación (Con intervalo de confianza del 95%)				Situación actual	
Métricas de evaluación	Promedio	Valor Inferior	Valor Superior	Valor	Variación
Unidades vendidas	1102	1087	1116	1109	-0.7%
Unidades recibidas del proveedor	1106	1092	1120	1129	-2.0%
N° de recepciones	90	89	90	60	50.5%
Inventario promedio (unidades)	24	24	24	23	5.2%
N° de Días con stock 0	0.2	0	0	6.6	-96.9%
Porcentaje de días con stock 0	0.1%	0	0	3.6%	-96.9%
N° de días con faltantes de inventario	0.1	0	0	4.6	-68.7%
Nivel de servicio del ciclo α	99.9%	1	1	97.3%	1.9%
Costo anual de ordenar	\$ 138.04	\$ 137.8	\$ 138.3	\$ 91.70	50.5%
Costo anual de mantener inventario	\$ 12.20	\$12.1	\$ 12.3	\$ 11.60	5.2%

Fuente: Autor

En la tabla 12 se puede observar que para este SKU el porcentaje de días con stock 0 se redujo, mientras que el nivel de servicio del ciclo incrementó. Por otra parte, se puede observar que los costos anuales de ordenar y mantener inventario incrementaron, siendo el costo de ordenar el que mostró la mayor variación absoluta y porcentual, resultado coherente con el hecho de el incremento de las recepciones de este SKU en comparación con la situación actual. Se debe señalar además que el valor de ventas no mejoró dado que se simuló la misma demanda de la situación actual.

En la tabla 13 se presenta el porcentaje de días con stock 0 de cada SKU analizado, tanto el valor obtenido de la simulación del modelo propuesto, como el valor actual. Se puede notar que todos los SKUs presentan una reducción en el porcentaje días con stock 0, donde todos los valores de la propuesta simulada son menores al 3.4%.

Tabla 13 Comparación del porcentaje de días con stock 0 de SKUs analizados

SKU	Grupo	Porcentaje de días con stock 0		
		Valor de la propuesta simulada	Valor Actual	Variación absoluta
7862102120184	Quesos	3.4%	13.5%	-10%
7861001240177	Repostería	0.2%	18.2%	-18%
27367	Quesos	1.3%	13.2%	-12%
7861012500338	Quesos	0.0%	12.3%	-12%
117118601	Yogurt	0.1%	3.6%	-3%
27366	Quesos	0.2%	27.2%	-27%
2745215896	Quesos	0.7%	11.9%	-11%
7868000558906	Quesos	0.0%	35.2%	-35%
2101020188	Yogurt	0.2%	6.0%	-6%
7861182300059	Quesos	0.1%	23.2%	-23%

Fuente: Autor

Del mismo modo, en la tabla 14 se muestra el nivel de servicio del ciclo para cada SKU dentro del análisis. Se observa en la tabla el valor obtenido de la simulación de la política de inventario propuesta en contraste con el valor actual, de lo que se puede afirmar que todos los SKUs presentan un incremento en el nivel de servicio del ciclo.

Tabla 14 Comparación del nivel de servicio del ciclo de SKUs analizados

SKU	Grupo	Nivel de servicio del ciclo α		
		Valor de la propuesta simulada	Valor Actual	Variación absoluta
7862102120184	Quesos	97.1%	85.9%	11%
7861001240177	Repostería	99.8%	77.5%	22%
27367	Quesos	98.9%	91.2%	8%
7861012500338	Quesos	100.0%	92.8%	7%
117118601	Yogurt	99.9%	97.3%	3%
27366	Quesos	99.7%	78.4%	21%
2745215896	Quesos	99.5%	89.1%	10%
7868000558906	Quesos	99.9%	70.1%	30%
2101020188	Yogurt	99.8%	95.0%	5%
7861182300059	Quesos	99.8%	76.3%	23%

Fuente: Autor

No obstante, para poder hacer conclusiones inferenciales sobre mejoras en los resultados del porcentaje de días con stock 0 y en el nivel de servicio del ciclo se llevó a cabo una prueba de hipótesis para estas métricas de evaluación. El tipo de prueba de hipótesis realizada es para la diferencia de medias de datos pareados, dado que la comparación es para los mismos SKUs y se desea probar el impacto del modelo propuesto de inventario en contraste con los resultados actuales. Se utilizó el software RStudio para llevar a cabo la prueba t, se detalló código en el anexo B.

Los detalles estadísticos de esta prueba para el porcentaje de días con stock 0 son:

- μ_2 media de valor simulado y μ_1 media de situación actual
- Hipótesis nula $H_0 = \mu_d = \mu_2 - \mu_1 = 0$
- Hipótesis alternativa $H_A = \mu_d < 0$
- Nivel de significancia de 0.05 y 9 grados de libertad (dado que g.l.= n-1, y para este caso n es igual a 10)
- Valor crítico $-t_{0.05,9} = -1.83$ (se usa cola izquierda de la distribución T de Student)
- Estadístico $T = -5.02$
- Conclusión: Se rechaza la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa

Por lo tanto, se puede inferir que el promedio del porcentaje de días con stock 0 es menor al aplicar la política de inventario propuesta en contraste que el resultado obtenido en la situación actual, con un nivel de significancia del 5%.

De manera similar, los detalles estadísticos de esta prueba para el nivel de servicio del ciclo son:

- μ_2 media de valor simulado y μ_1 media de situación actual
- Hipótesis nula $H_0 = \mu_d = \mu_2 - \mu_1 = 0$
- Hipótesis alternativa $H_A = \mu_d > 0$
- Nivel de significancia de 0.05 y 9 grados de libertad (dado que g.l.= n-1, y para este caso n es igual a 10)
- Valor crítico $t_{0.05,9} = 1.83$ (se usa cola derecha de la distribución T de Student)
- Estadístico $T = 4.78$
- Conclusión: Se rechaza la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa

Dicho esto, los datos proporcionan evidencia suficiente, con un nivel de significancia del 5% para concluir que el promedio de nivel de servicio del ciclo de los valores simulados es mayor que el obtenido en la situación actual.

Por otro lado, se presenta en la tabla 15 los costos anuales de la propuesta de política de inventario en comparación con los valores actuales, para los SKUs simulados y analizados. De los resultados mostrados en la tabla se puede analizar que los costos anuales son mayores para la política propuesta al compararlos con la situación actual.

Tabla 15 Resumen de costos anuales de las políticas de inventarios de SKUs analizados

Métricas de evaluación	Valor de la propuesta simulada	Valor Actual	Variación absoluta	%Variación
Costo anual por ordenar	\$ 836.19	\$ 426.73	\$ 409.46	96%
Costo anual por mantener inventario	\$ 119.88	\$ 75.92	\$ 43.96	58%
Costo anual de compra	\$ 18,735.74	\$ 18,370.18	\$ 365.55	2%
Costo anual total de inventario	\$ 19,691.80	\$ 18,872.83	\$ 818.98	4%

Fuente: Autor

3.2. Resultado del Análisis de sensibilidad de las políticas de inventario

Dentro del alcance de este proyecto se planteó evaluar escenarios a través de la simulación que permitan comprobar la robustez de la solución propuesta, observando el impacto en las métricas de porcentaje de días con stock 0 y nivel de servicio. Sin embargo, también es relevante el impacto financiero de estos escenarios para lo que se incluyó en la simulación las variables de estado de ventas y utilidad. Para los SKUs del subconjunto de análisis se realizó dos transformaciones en la variable de demanda de la simulación, con incremento del 10% y del 20% en la media de la demanda. Cabe señalar que en este análisis se utilizó las políticas de inventario simuladas en la sección anterior. En la tabla 16 se muestra cada una de las métricas de evaluación de los SKUs analizados en 4 situaciones: la situación actual y 3 escenarios simulados.

Tabla 16 Resultado del análisis de sensibilidad respecto a la demanda

Métricas de evaluación	Valor Actual	Escenario simulado (demanda original)	Escenario simulado (demanda aumentada 10%)	Escenario simulado (demanda aumentada 20%)
Costo anual por ordenar	\$ 426.73	\$ 836.19	\$ 864.44	\$ 889.88
Costo anual por mantener inventario	\$ 75.92	\$ 119.88	\$ 108.34	\$ 100.54
Costo anual de compra	\$18,370.18	\$ 18,735.74	\$ 19,935.24	\$ 21,729.94
Costo anual total de inventario	\$18,872.83	\$ 19,691.80	\$ 20,908.03	\$ 22,720.36
Venta anual	\$24,069.56	\$ 24,671.96	\$ 26,655.76	\$ 29,134.12
Utilidad anual	\$ 5,196.73	\$ 4,980.16	\$ 5,747.73	\$ 6,413.76
Porcentaje de días con stock 0	16.4%	0.6%	0.8%	1.2%
Nivel de servicio del ciclo α	87.5%	99.5%	98.1%	95.9%

Fuente: Autor

Se puede contemplar en la tabla que el costo anual total del inventario es mayor en todos los escenarios simulados en contraste con el escenario actual. Por su parte, la venta anual es mayor en cada escenario simulado al compararse con la venta de la situación actual. Sin embargo, al analizar los valores de utilidad se tiene diferencia en estas tendencias. La utilidad anual del escenario simulado con la demanda original de los SKUs es 4.2% menos que la utilidad del escenario actual. Ahora, bien se puede notar que la utilidad anual incrementa en los dos escenarios simulados con el aumento de demanda.

Se detecta una mejora en las métricas de porcentaje de días con stock 0 y nivel de servicio del ciclo al aplicar la política de inventario propuesta en comparación con los valores de la situación actual, aun al incrementar la demanda en la simulación. De esta manera, se evidencia que la política de inventario propuesta es robusta ante la variación de la demanda, con incrementos de hasta el 20%.

3.3. Políticas de inventario para SKUs lácteos y restricción de almacenamiento

Se ha aplicado la metodología descrita en este proyecto a los demás SKUs de la familia de lácteos. Utilizando el software RStudio, con un código detallado en el anexo B, se realizaron pronósticos mensuales para todos los SKUs aplicando modelos de suavización exponencial. Luego se definió la política de inventario con el cálculo del nivel de inventario de seguridad y el nivel de inventario máximo. El resultado de esta extensión de la metodología se muestra en el anexo C.

Ahora bien, para complementar el análisis de las políticas de inventario se consideró las restricciones de almacenamiento tanto para los SKUs refrigerados como secos y se planteó opciones que hagan un balance entre un buen nivel de servicio del ciclo y la utilización del espacio de almacenamiento, sin dejar de lado la cantidad SKUs que tienen más de 5 días con stock 0, implicando en el análisis todos los SKUs lácteos. Se empleó los datos del levantamiento del espacio disponible para el almacenamiento. Con esta información se analizaron 3 opciones para la definición de los niveles de servicio del ciclo por cada categoría de SKU y su impacto en la utilización del espacio de almacenamiento, sin desconsiderar el impacto en el porcentaje de días con stock 0.

Tabla 17 Políticas de inventario propuestas para SKUs refrigerados en función del almacenamiento

Métricas de evaluación	Políticas propuestas		
	Opción A	Opción B (mejor opción)	Opción C
Nivel de servicio del ciclo α para SKU tipo A	95%	90%	84%
Nivel de servicio del ciclo α para SKU tipo B	90%	80%	75%
Nivel de servicio del ciclo α para SKU tipo C	80%	70%	72%
Metros cúbicos ocupados	1.771	1.533	1.415
Utilización de espacio de almacenamiento	105%	91%	84%
Porcentaje de SKUs con más de 5 días con stock 0	18%	24%	28%

Fuente: Autor

En la tabla 17 se presentan las opciones planteadas para los SKUs lácteos que son refrigerados. La opción A para estos SKUs representa la política simulada con los mejores niveles de servicio del ciclo como se analizó en secciones anteriores, pero no es factible en términos de necesidad de almacenamiento, excediendo la capacidad en un 5%. La opción C por su parte plantea el uso de nivel de servicio del ciclo muy bajos en contraste con la opción A. Siendo así, que para los SKUs refrigerados se planteó la opción B como mejor opción factible, con una utilización de almacenamiento de 91%. Se puede además señalar que la empresa requiere analizar el de costo y beneficio de incrementar su capacidad de almacenamiento refrigerado considerando una mejora en el nivel de servicio.

Tabla 18 Políticas de inventario propuestas para SKUs secos en función del almacenamiento

Métricas de evaluación	Políticas propuestas		
	Opción A (mejor opción)	Opción B	Opción C
Nivel de servicio del ciclo α para SKU tipo A	95%	90%	95%
Nivel de servicio del ciclo α para SKU tipo B	90%	80%	85%
Nivel de servicio del ciclo α para SKU tipo C	80%	70%	75%
Metros cúbicos ocupados	8.580	7.347	7.817
Utilización de espacio de almacenamiento	89%	76%	81%
Porcentaje de SKUs con más de 5 días con stock 0	14%	29%	24%

Fuente: Autor

En la tabla 18, por su parte, se muestra las 3 opciones planteadas para los SKUs lácteos que se almacenan en seco, considerando el nivel de servicio del ciclo y su impacto en la utilización del almacenamiento. La opción A para estos SKUs representa la política simulada con los mejores niveles de servicio del ciclo como se analizó en secciones anteriores, con una utilización de espacio de almacenamiento de 89%. No obstante, se descartaron las opciones B y C dado que su nivel de servicio de ciclo es muy bajo y representa un mayor porcentaje de SKUs con más de 5 días con stock 0.

Por consiguiente, se recomienda el uso del modelo de abastecimiento propuesto en este proyecto, definiendo los niveles de servicio de ciclo para los SKUs lácteos refrigerados y secos según la opción B y A, respectivamente. El análisis de las políticas de inventario con los niveles de servicio del ciclo de las opciones recomendadas mostró una reducción del porcentaje de SKUs lácteos con más de 5 días con stock 0. El valor promedio ponderado inicial del porcentaje de SKUs lácteos con más de 5 días con stock 0 era de 39.8% y el valor obtenido de la propuesta es de 20.7%. lo que muestra una diferencia absoluta de 19.1%.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El proyecto tuvo como objetivo general diseñar políticas de abastecimiento de los SKUs lácteos de un retail, para reducir el porcentaje de SKUs lácteos con más de 5 días con stock 0 en un 10%, considerando la definición de niveles de servicio deseado y límites de almacenamiento. Para ello, los objetivos específicos fueron: diagnosticar la gestión del inventario actual, levantando el porcentaje de días con stock 0 por SKU y su potencial impacto en los resultados de la empresa; categorizar los SKUs de la familia de lácteos con base a un análisis ABC de ventas en dólares, para la aplicación diferenciada de medidas de control de inventario; evaluar diferentes políticas de abastecimiento a través de la revisión bibliográfica y la comparación, considerando las características de los SKUs y los recursos de la empresa, y analizar escenarios de la política de abastecimiento seleccionada a través de la simulación, considerando el porcentaje de días con stock 0, el nivel de servicio y las restricciones de almacenamiento.

Como cumplimiento del primer objetivo específico se obtuvo que los SKUs lácteos analizados en la simulación registran en la situación actual un porcentaje de días con stock 0 de 16.4 % y un nivel de servicio del ciclo de 87.5%. Estos resultados muestran el diagnóstico de la gestión del inventario actual, a través del levantamiento de datos del porcentaje de días con stock 0 por SKU, representando una brecha importante en la familia de SKUs lácteos con respecto a la estrategia de la empresa de ofrecer variedad y disponibilidad de SKUs.

Para cumplir con el segundo objetivo específico se implementó una categorización de los SKUs de la familia de lácteos con base a un análisis ABC de ventas en dólares, lo que permitió identificar aquellos SKUs que tienen mayor impacto en las ventas y en la rentabilidad de la empresa. Se encontró que un 22% de los SKUs lácteos contribuyen al 70% del ingreso por ventas. Esto facilitó la creación de políticas específicas de abastecimiento para cada tipo de producto (local, importado, refrigerado, seco), lo que contribuyó a una mejor gestión del inventario, reduciendo las rupturas de stock.

El tercer objetivo específico se alcanzó al diseñar una política de inventario (T, S) luego de evaluar diferentes políticas de abastecimiento a través de la revisión bibliográfica. Se verificaron los supuestos del modelo de inventario y se diferenció la distribución de la demanda durante el tiempo de reabastecimiento, que dio como resultado el uso de la distribución normal y de Laplace. Se empleó un modelo de pronóstico de demanda basado en series de tiempo y análisis de patrones estacionales que mejoró la precisión en las estimaciones de necesidades de inventario. Esta herramienta representa una base para la anticipación a las fluctuaciones de la demanda, y facilita la toma de decisiones informadas sobre el nivel de stock y las cantidades a pedir a los proveedores.

En cumplimiento del cuarto objetivo se analizaron escenarios de la política de abastecimiento seleccionada a través de la simulación, considerando el porcentaje de días con stock 0, el nivel de servicio y las restricciones de almacenamiento. De estos escenarios se determinó que el modelo propuesto es robusto ante la variación de la demanda y genera incrementos en la utilidad del 23% en comparación la situación actual.

De esta manera, de los resultados de la simulación se pudo concluir que con el modelo de abastecimiento propuesto se logró una reducción absoluta en el porcentaje de SKUs lácteos con más de 5 días con stock 0. El resultado fue pasar del 39.8% al 20.7%, considerando el nivel de servicio del ciclo y los límites de almacenamiento.

4.2. Recomendaciones

Se plantean las siguientes recomendaciones para mejorar el aporte del abastecimiento en los resultados del negocio, así como para reducir los riesgos implicados en el proceso logístico. De esta manera, dada la dependencia del abastecimiento desde el continente, se recomienda diversificar la base de proveedores, tanto locales como continentales, para reducir riesgos asociados a posibles interrupciones en las cadenas logísticas (por ejemplo, desabastecimientos de parte del proveedor o fluctuaciones en los costos de importación). Esto contribuirá a una mayor estabilidad en la disponibilidad de los SKUs y reducirá los costos de transporte.

Es fundamental monitorear de manera continua el desempeño del modelo de abastecimiento, sobre todo en un entorno minorista que siempre está en constante cambio. Se recomienda establecer indicadores clave de rendimiento (KPIs) relacionados con la disponibilidad de productos, niveles de stock, rotación y tiempos de entrega, lo que permitirá hacer ajustes periódicos en función de las fluctuaciones en la demanda y los resultados obtenidos.

Respecto a los aspectos de control de inventario se recomienda realizar una revisión periódica del uso de la infraestructura de almacenamiento, considerando la optimización del espacio. Además, se sugiere evaluar las tecnologías emergentes en gestión de inventarios, como sensores IoT para monitoreo en tiempo real, lo que permitirá mejorar la rotación de inventario y reducir desperdicios.

Considerando la importancia de la tecnología en la gestión de la cadena de suministro, se recomienda explorar el uso de soluciones tecnológicas avanzadas, como sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) integrados, software de gestión de inventarios en la nube, y plataformas de análisis de datos que permitan una toma de decisiones más precisa y basada en información en tiempo real.

Ahora bien, para robustecer el modelo de abastecimiento es necesario mejorar el modelo de pronóstico de la demanda que se utiliza. Por ello, se recomienda a la empresa analizar otros modelos de pronóstico que consideren causalidad en los datos, por ejemplo, el impacto de la cantidad de visitantes que tiene la isla en el consumo del supermercado para mejorar la precisión del pronóstico y a su vez ajustar las políticas de inventario.

Finalmente, en cuanto a la implementación del modelo de abastecimiento propuesto se recomienda iniciar de manera gradual, comenzando con los productos que presentaron

mayores incidencias de stock 0. Este enfoque permitirá realizar ajustes y correcciones en tiempo real, adaptando el modelo a las características logísticas de la empresa y el comportamiento de la demanda.

BIBLIOGRAFÍA

- Asana, I. M., Radhitya, M. L., Widiartha, K. K., Santika, P. P., & Wiguna, I. K. (2020). Inventory control using ABC and min-max analysis on retail management information system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-10.
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2009). *Discrete-Event System Simulation*. New Jersey: Pearson Education.
- Biswas, S. K., Karmaker, C., Islam, A., Hossain, N., & Ahmed, S. (3 de Julio de 2017). Analysis of Different Inventory Control Techniques: A Case Study in a Retail Shop. *Journal of Supply Chain Management System*, 6, 35-45.
- Chiadamrong, N., & Lhamo, R. (2017). Inventory management of perishable products in a retail business: a comparison with and without in-store replenishment policies under different purchasing batch sizes. *Int. J. Logistics Systems and Management*, 26, 224-252.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la Cadena de Suministro. Estrategia, planeación y operación*. México: Pearson Educación.
- Coyle, J. J., Langley, C. J., Novack, R. A., & Gibson, B. J. (2018). *Administración de la cadena de suministro: una perspectiva logística*. Mexico: Cengage Learning Editores S.A.
- Gonzalez, A. (2020). Un modelo de gestión de inventarios basado en estrategia competitiva. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 133-142.
- Gorria, C., Lezaun, M., & López, F. J. (2022). Performance measures of nonstationary inventory models for perishable products under the EWA policy. *European Journal of Operational Research*, 1137-1150.
- Hansen, O., Transchel, S., & Friedrich, H. (2023). Replenishment strategies for lost sales inventory systems of perishables under demand and lead time uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 661-675.
- Heese, H. S., & Swaminathan, J. M. (2010). Inventory and sales effort management under unobservable lost sales. *European Journal of Operational Research*, 207, 1263-1268. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221710004224>
- Hyndman, R., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: principles and practice*. Melbourne: OText.
- Kotzab, H., & Fischer, J. (2024). Retail Supply Chain Management/Logistics. *Reference Module in Social Sciences*, 1-13. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780443137013003741>

- Paredes Rodríguez, A. M., & Osorio Gómez, J. C. (Diciembre de 2021). *Simulación dinámica de una política de inventario R, S en una cadena de suministro de artículos ferreteros*. (2. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Ed.) Obtenido de Simulación dinámica de una política de inventario R, S en una cadena de suministro de artículos ferreteros: <https://doi.org/10.22395/rium.v20n39a11>
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2017). *The Handbook of Logistics and Distribution Management*. London: Kogan Page Limited.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2017). *Inventory and production management in supply chains*. Boca Ratón: Taylor & Francis.
- Urroz-Osés, A. (Septiembre de 2018). *Diseño y desarrollo: la innovación responsable mediante el Design Thinking*. ((. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, Ed.) Obtenido de Diseño y desarrollo: la innovación responsable mediante el Design Thinking: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-35232018000400015&lng=es&tlng=es
- Villacis Baquero, P. B. (2017). Implementación de una política de inventario y desarrollo de la heurística de silver meal para solucionar el problema de abastecimiento de una línea con venta estacional. *ESPOL*, 83. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/38798>
- Zhou, Y., Zou, T., Liu, C., Yu, H., Chen, L., & Su, J. (2021). Blood supply chain operation considering lifetime and transshipment under uncertain environment. *Applied Soft Computing*, 1-16.

ANEXOS

ANEXO A

Recolección de datos

Tabla 19 Listado de SKUs lácteos

SKU	Grupo	Tipo de compra	Tipo de almacenamiento
20240408	Quesos	Local	Refrigerado
7861033610320	Quesos	Importación	Refrigerado
7862102120184	Quesos	Local	Refrigerado
7861001241631	Repostería	Importación	Seco
20240410	Quesos	Local	Refrigerado
7861001240177	Repostería	Importación	Seco
2458796321	Yogurt	Local	Refrigerado
7861029404780	Leche	Importación	Seco
7868001331744	Quesos	Importación	Refrigerado
128594213	Yogurt	Local	Refrigerado
2024634	Quesos	Local	Refrigerado
27367	Quesos	Local	Refrigerado
7861006505585	Quesos	Importación	Refrigerado
7861000173209	Quesos	Local	Refrigerado
7861012500338	Quesos	Importación	Refrigerado
117118601	Yogurt	Local	Refrigerado
7861029400034	Mantequillas-Margarinas	Importación	Refrigerado
7802950066906	Repostería	Importación	Seco
7861092155121	Quesos	Importación	Refrigerado
27366	Quesos	Local	Refrigerado

Fuente: Autor

ANEXO B

Códigos en RStudio elaborados para Proyecto

```

1 library(readxl)
2 library(fpp2)
3 library(seasonal)
4 ruta_excel <- "C:\\Users\\rguerrero\\Documents\\Archivos R\\Datos\\Datos ventas.xlsx"
5 datos <- read_excel(ruta_excel,
6                     sheet= 'Yogurt Chueco 728')
7
8 ventas <- ts(datos$Venta, frequency = 12, start = 2022)
9 autoplot(ventas)
10 ggseasonplot(ventas, year.labels=TRUE, year.labels.left=TRUE) +
11   ylab("Unidades") +
12   ggtitle("Gráfica estacional: Venta en unidades de SKU lacteo")
13
14 fc2 <- ses(ventas, h=1)
15 fc3 <- holt(ventas, h=1)
16 fc4 <- meanf(ventas, h=1)
17
18 e2 <- tsCV(ventas, ffc2, h=1)
19 e3 <- tsCV(ventas, ffc3, h=1)
20 e4 <- tsCV(ventas, ffc4, h=1, window = 6)
21
22 # Compare RMSE:
23 sqrt(mean(e1^2, na.rm=TRUE))
24 sqrt(mean(e2^2, na.rm=TRUE))
25 sqrt(mean(e3^2, na.rm=TRUE))
26 sqrt(mean(e4^2, na.rm=TRUE))
27
28
29 checkresiduals(fc3)
30 summary(fc3)
31 shapiro.test(fc3)

```

Figura 4.1 Código en RStudio para análisis de ventas y modelo de pronóstico con validación cruzada

Fuente: Autor

```

1 library(readxl)
2 library(ExtDist)
3 library(nortest)
4
5 ruta_nor <- "C:\\Users\\rguerrero\\Documents\\Archivos R\\Datos\\Prueba de normalidad.xlsx"
6 excel_sheets(ruta_nor)
7
8 |
9 nval <- read_excel(ruta_nor,
10                  sheet= 'Dif')
11 shapiro.test(nval$Simulacion)
12 shapiro.test(nval$Acual)
13 t.test(
14   x           = nval$Simulacion,
15   y           = nval$Acual,
16   alternative = "two.sided",
17   mu         = 0,
18   paired     = TRUE,
19   conf.level = 0.95
20 )
21

```

Figura 4.2 Código en RStudio para prueba t de diferencias de medias para datos pareados

Fuente: Autor

```

1 library(openxlsx)
2 library(feasts)
3 library(ggplot2)
4 library(fpp2)
5 library(fable)
6 library(readxl)
7 library(dplyr)
8 library(tsibble)
9
10 ruta_dat <- "C:\\Users\\rguerrero\\Documents\\Archivos R\\Datos\\Datos ventas lacteos.xlsx"
11 excel_sheets(ruta_dat)
12
13 dat <- read.xlsx(ruta_dat,
14                 sheet= 'Data',
15                 detectDates= T )
16
17 dat2 <- dat %>%
18   dplyr::mutate(Fecha=tsibble::yearmonth(Fecha))
19
20 dat3 <- as_tibble(dat2, index = "Fecha")
21 dat4 <- reshape2::melt(dat3, "Fecha")
22 dat4$value[is.na(dat4$value)]=0
23 dat5 <- as_tibble(dat4, index="Fecha")
24 mdat <- as_tsibble(dat5, key = "variable")
25
26 modelo1 <- mdat %>%
27   model(auto_ets = ETS(value))
28 pronostico <- modelo1 %>%
29   forecast(h="6 months")
30
31 report(modelo1)
32
33 fitted(modelo1)
34
35 write.csv(report(modelo1), file = "Modelos de Pronosticos multiples.csv", row.names=F)
36 write.csv(accuracy(modelo1), file = "Accuracy multiples.csv", row.names=F)
37 write.csv(fitted(modelo1), file = "Ajustes de pronosticos multiples.csv", row.names=F)
38 write.csv(pronostico, file = "Pronosticos multiples de 6 meses.csv", row.names=F)

```

Figura 4.3 Código en RStudio para el modelamiento de pronóstico de múltiples SKUs

Fuente: Autor

ANEXO C

Extensión de la metodología a los demás SKUs lácteos

Tabla 20 Modelo de pronóstico para los demás SKUs lácteos

SKU	Grupo	RMSE	Pronóstico mensual (unidades)	Desviación Estándar	Intervalo de Predicción (Nivel de Confianza del 80%)	
					Valor inferior	Valor superior
20240408	Quesos	12.0	40	12.4	24	56
7861001241631	Reposteria	76.6	141	70	51	230
20240410	Quesos	7.7	30	7.9	20	41
2458796321	Yogurt	15.9	26	16.3	5	47
7861029404780	Leche	153.0	432	162.3	224	640
7868001331744	Quesos	2.3	11	2.4	8	14
128594213	Yogurt	13.6	71	14	53	89
2024634	Quesos	20.7	134	21.3	106	161
7861000173209	Quesos	29.6	60	30.5	21	99
24587965	Quesos	29.8	43	10	30	56
7861012507399	Quesos	15.0	25	15.4	6	45
7861033611099	Quesos	10.5	17	10.8	3	30
7861033610061	Quesos	5.7	14	4	9	19
7861029404803	Leche	99.3	211	105.4	76	346
7868000959017	Quesos	8.6	19	8.8	8	31
2101020171	Yogurt	34.7	73	30	35	111

Fuente: Autor

Tabla 21 Políticas de inventario para los demás SKUs lácteos

SKU	Grupo	Nivel de servicio	T (días)	Demanda pronosticada 2024 (unidades)	Desv Est.	Lead Time (días)	D T+L (unidades)	Desv Est. T+L	K	SS (unidades)	S Máximo (unidades)
20240408	Quesos	90%	2	40	12.4	1	4	3.9		9	13
7861001241631	Repostería	95%	15	141	70	18	155	73.4	1.64	121	276
20240410	Quesos	90%	2	30	7.9	1	3	2.5		6	10
2458796321	Yogurt	90%	2	26	16.3	1	3	5.2		9	12
7861029404780	Leche	95%	15	432	162.3	18	476	170.2	1.64	280	756
128594213	Yogurt	90%	2	71	14	1	7	4.4	1.28	6	14
2024634	Quesos	90%	2	134	21.3	1	13	6.7	1.28	9	23
7861000173209	Quesos	90%	2	60	30.5	1	6	9.6		17	24
24587965	Quesos	90%	2	43	10	1	4	3.2		8	13
7861012507399	Quesos	80%	15	25	15.4	4	16	12.3		25	42
7861029404803	Leche	95%	15	211	105.4	18	232	110.5	1.64	182	415
7751271018579	Repostería	90%	15	30	23.5	18	32	24.6	1.28	32	65
2101020171	Yogurt	90%	2	73	13	1	7	4.1	1.28	6	14
7868000743012	Quesos	90%	2	93.9	47.4	1	9.39	15.0		27	37
7861001293746	Leche	95%	15	57.3	22.1	18	63	23.2	1.64	39	103
7862102120894	Quesos	90%	2	33	14.2	1	3.30	4.5		9	13
7861002011073	Leche	95%	15	76.9	168.9	18	85	177.1	1.64	292	377
27365	Quesos	90%	2	21.6	8	1	2.16	2.5		6	9
7861182317538	Quesos	80%	15	21.8	4	4	14	3.2	0.84	3	17

Fuente: Autor