



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS
MAESTRÍA EN COMERCIO INTERNACIONAL

**PROYECTO TERMINAL DE CARÁCTER PROFESIONAL QUE PARA
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO(A) EN COMERCIO INTERNACIONAL**

**“ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE OPERACIONES Y LOGISTICA DE
UNA PYME DEL ESTADO DE HIDALGO”**

P R E S E N T A

Luis Eduardo Hernández Castañeda

Director

Dr. Héctor Rivera Gómez

Comité tutorial

Dr. Isidro Jesús González Hernández

Dr. Enrique Guardado Ibarra

Dra. Francisca Santana Robles

Dra. Yolanda Sánchez Torres

San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México, Octubre del 2025



ICEA/MCI/012/2025

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar
Presente.

El Comité Tutorial del **PROYECTO TERMINAL** del programa educativo de posgrado titulado **"ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE OPERACIONES Y LOGISTICA DE UNA PYME DEL ESTADO DE HIDALGO"**, realizado por el sustentante **LUIS EDUARDO HERNÁNDEZ CASTAÑEDA** con **número de cuenta 393064** perteneciente al programa de **Maestría en Comercio Internacional**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que el sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente

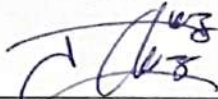
"Amor, Orden y Progreso"

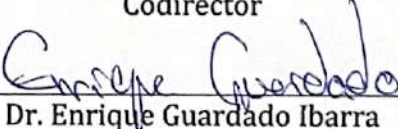
San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo a 24 de noviembre de 2025


El Comité Tutorial


Dr. Héctor Rivera Gómez
Director


Dra. Francisca Santana Robles
Tutora


Dr. Isidro Jesús González Hernández
Codirector


Dr. Enrique Guardado Ibarra
Tutor


Dra. Yolanda Sánchez Torres
Tutora

Índice

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMIENTOS	5
DEDICATORIA	5
INTRODUCCIÓN	6
ANTECEDENTES	7
PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE LA UNIDAD RECEPTORA.	8
OBJETIVO GENERAL.	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	9
JUSTIFICACIÓN.	10
METODOLOGÍA.	11
ESTRUCTURA CAPITULAR.	12
CAPÍTULO 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.	13
1.1 PROBLEMA DE LA UNIDAD DE ESTUDIO.	13
1.2 IMPACTO DEL PROBLEMA DE LA UNIDAD DE ESTUDIO EN EL CONTEXTO NACIONAL-INTERNACIONAL.	16
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	22
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LA MODELACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.	22
2.2 PRONÓSTICOS.	24
2.2.1 Introducción a los pronósticos.	24
2.2.2 Conceptos fundamentales.	25
2.2.3 Métodos de series de tiempo.	27
2.2.4 Estudios de investigación.	31
2.3 PLANEACIÓN AGREGADA.	32
2.3.1 Introducción a la planeación agregada.	32
2.3.2 Conceptos fundamentales.	33
2.3.3 Técnicas y características.	35
2.3.4 Importancia de la planeación agregada.	37
2.3.5 Estudios de investigación.	38
2.4 PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES.	41
2.4.1. Introducción a la planeación de requerimiento de materiales.	41
2.4.2 Características de MRP.	42

2.4.3 Costos de MRP.	47
2.4.4 Estudios de investigación de MRP.	48
2.5 PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES.	50
2.5.1 Introducción a la programación de actividades.	50
2.5.2 Programación de la producción y jerarquía de las decisiones de producción.	51
2.5.3 Estudios de investigación.	53
2.6. VENTAJA COMPETITIVA.	55
2.6.1. Teoría de la ventaja competitiva y su aplicación en el comercio internacional.	55
2.6.2. Estudios de investigación.	56
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE CASO	58
3.1. MATRIZ DE CONGRUENCIA DE VARIABLES.	58
3.2. MÉTODOS.	59
3.3. INSTRUMENTOS.	60
CAPITULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	62
4.1. RESULTADOS DE PRONÓSTICOS.	63
4.1.1 Apertura e introducción de datos en el WinQSB.	64
4.1.2 Promedio móvil (MA).	67
4.1.3 Regresión lineal con el tiempo.	69
4.1.4 Suavizado exponencial simple con tendencia (SEST).	73
4.1.4 Análisis y resultados.	76
4.2. RESULTADOS DE PLANEACIÓN AGREGADA.	78
4.2.1 Método de caza.	80
4.2.1 Método de fuerza de trabajo constante.	84
4.3. RESULTADOS DE MRP.	87
4.3.1 Calculo de la explosión.	87
4.3.2 Uso del software para el cálculo del MRP.	89
4.4. RESULTADOS DE LA PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES.	95
4.4.1 Uso del WinQSB para el balanceo de línea.	97
4.4.2 Sensibilidad del tiempo de ciclo.	99
CONCLUSIONES.	102
REFERENCIAS	109

Resumen

El presente trabajo se enfoca en el análisis y aplicación de herramientas cuantitativas para la mejora de la gestión de operaciones dentro de una empresa ubicada en el estado de Hidalgo, dedicada a la elaboración de destilados. Con el propósito de fortalecer su proceso productivo, se implementaron metodologías de pronóstico, planeación agregada, planeación de requerimientos de materiales (MRP por sus siglas en inglés) y programación de actividades. La investigación se desarrolló bajo un enfoque práctico, utilizando datos reales de la empresa y apoyándose en el software WinQSB para analizar distintos escenarios operativos.

El estudio permitió evaluar la precisión de diferentes métodos de pronóstico, comparando sus resultados mediante indicadores como el MAPE (error porcentual absoluto medio), MAD (desviación absoluta media) y la señal de seguimiento. Además, se analizaron dos estrategias de planeación agregada para determinar su impacto en los costos operativos. El diseño del sistema MRP facilitó la sincronización entre el plan maestro de producción y los requerimientos de materiales, mientras que la programación de actividades optimizó la asignación de recursos humanos en las estaciones de trabajo.

Los resultados reflejan mejoras sustanciales en la eficiencia operativa, reducción de inventarios y una mejor capacidad de respuesta ante la demanda. Esta tesis busca servir como una referencia para profesionales y estudiantes interesados en aplicar principios de ingeniería industrial a empresas que buscan fortalecer su estructura productiva, particularmente en sectores con potencial de crecimiento y diferenciación como el de bebidas artesanales.

Abstract

This research focuses on the implementation of quantitative techniques to improve production management in a small-sized enterprise located in Hidalgo, Mexico, dedicated to the production of tamarind-flavored vodka. The project aims to optimize operational efficiency through the application of demand forecasting, aggregate planning, material requirements planning (MRP), and activity scheduling methods. Real company data was used to simulate different production scenarios using the WinQSB software.

Several forecasting models were evaluated and compared using indicators such as MAPE (Mean Absolute Percentage Error), MAD (Mean Absolute Deviation), and tracking signal. Two aggregate planning strategies were analyzed to assess their effect on labor and inventory costs. The MRP system enabled better coordination between the master production schedule and material availability, while task scheduling helped balance workloads and improve productivity across workstations.

The findings reveal significant improvements in resource utilization, inventory reduction, and responsiveness to market demand. This thesis intends to provide a practical reference for professionals and students interested in applying industrial engineering techniques to strengthen the production capacity of small businesses, especially those in the artisanal beverage sector.

Agradecimientos

Gracias a todas aquellas personas que han contribuido a este proyecto de manera directa o indirecta. En primer lugar, quiero agradecer al doctor Héctor Rivera por su orientación y apoyo a lo largo del proceso de investigación y de ejecución. Gracias también a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, que nos apoyó desde el día uno a concluir este posgrado. A mi unidad receptora, por confiar en mi talento y proporcionarme todas las facilidades para lograr mi proyecto. A mi familia por su amor incondicional y su apoyo constante a lo largo de este camino.

Dedicatoria

A mis papás por su amor y apoyo en todo momento, por hacerme tomar este salto en mi formación académica, y siempre dar todo sin esperar nada a cambio, a mi abuela que siempre, toda mi vida ha estado ahí, a mi hermana que me ayudó a formar carácter y me enseñó que sí se puede. A mi director de proyecto por todo el apoyo y los recursos brindados.

Introducción

La industria de bebidas destiladas en México ha mostrado un crecimiento constante en los últimos años, esto ha sido impulsado tanto por consumo interno como por la expansión de las exportaciones de destilados a mercados internacionales. Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023), la producción nacional de bebidas espirituosas alcanzó un valor de 110 000 millones de pesos en 2022, reflejando un incremento anual promedio del 5 % en los últimos cinco años. Este crecimiento es una respuesta en parte a la diversificación de la oferta, hoy en día es común ver productos nuevos en el mercado, licores con sabores que nunca hemos visto como consumidores, así como productos innovadores, como el vodka de sabores, específicamente el sabor tamarindo, un destilado que fusiona la tradición mexicana, al ser el tamarindo y el sabor picante un clásico en la gastronomía mexicana, que por primera vez estamos viendo cómo se integra con tendencias de mixología contemporánea (Statista, 2024).

En este contexto, Drinks and Beverages International, una Pyme hidalguense especializada en la elaboración de destilados, ha catalogado a este producto como un “Top” dentro de su catálogo de productos para distribución nacional, pero no pierden la vista en los mercados extranjeros, especialmente Estados Unidos y Europa. No obstante, la complejidad de su cadena de suministro demanda un modelo de gestión de la producción robusto y adaptable. La adopción de técnicas de la producción se propone como la vía para alinear la capacidad productiva con las variaciones del mercado global, optimizar inventarios y mejorar la eficiencia operativa (Chase, Aquilano y Jacobs, 2006).

Con el propósito de dotar a la empresa de un marco operativo sólido, esta tesis integra herramientas de análisis como WinQSB, que facilitan la modelación de escenarios de producción y la evaluación de políticas de inventario. Al combinar métodos cuantitativos clásicos con enfoques modernos de digitalización en la gestión de operaciones, se busca no sólo garantizar la disponibilidad oportuna del producto, sino también proporcionar a la empresa la agilidad necesaria para responder a las exigencias del comercio internacional, consolidando una ventaja

competitiva que sea duradera y a largo plazo, en un sector que día a día se globaliza más.

Antecedentes

La gestión operativa en las pequeñas y medianas empresas (Pymes) mexicanas ha evolucionado progresivamente de enfoques intuitivos, basados en la experiencia directa de los empresarios, hacia metodologías más estructuradas y apoyadas en herramientas cuantitativas. Esta transformación responde a la creciente necesidad de adaptarse a un entorno competitivo global, caracterizado por la digitalización, la incertidumbre en las cadenas de suministro y la presión por mejorar los tiempos de respuesta al cliente (OCDE, 2023).

Dentro de este contexto, la gestión eficiente de operaciones en la cadena de suministro se vuelve clave para sostener la competitividad de las empresas, especialmente en sectores con alta variabilidad en la demanda y procesos productivos complejos. Una correcta planificación operativa permite optimizar el uso de recursos, mejorar la programación de actividades y reducir costos asociados al inventario y a los tiempos de producción (Christopher, 2016).

El uso de herramientas como WinQSB (Quantitative Systems Builder for Windows, en inglés), desarrollado por Chang (2000), ha sido especialmente relevante en este proceso de modernización. WinQSB ofrece soluciones prácticas para resolver problemas de pronóstico de demanda, planeación agregada, programación de operaciones y análisis de inventarios mediante modelos matemáticos. Investigaciones recientes han demostrado su aplicabilidad en el contexto de Pymes: Ríos y Martínez (2020) reportaron mejoras sustanciales en la planeación de producción, mientras que Ramírez y Torres (2020) destacaron su utilidad en la simulación de escenarios logísticos para la reducción de costos operativos.

En particular, en el sector de bebidas destiladas —uno de los más dinámicos dentro de la industria alimentaria mexicana— la necesidad de contar con herramientas de gestión eficientes se vuelve crítica. México es actualmente uno de los principales

exportadores de bebidas alcohólicas, con un valor superior a los 4,000 millones de dólares en 2023, destacando el vodka y otras bebidas saborizadas como segmentos de alto crecimiento (Statista, 2024). Además, según el INEGI (2023), este sector generó más de 200,000 empleos directos durante 2022, lo que refuerza su peso dentro de la economía nacional.

En este escenario, el caso de estudio de una Pyme productora de vodka de tamarindo permite explorar cómo la implementación de técnicas de pronóstico, planeación agregada y MRP puede fortalecer su capacidad operativa y prepararla para una eventual expansión hacia mercados internacionales. La naturaleza del producto —con una composición delicada de ingredientes como alcohol, saborizantes y agua purificada— exige un control preciso sobre los insumos y tiempos de producción, lo que justifica el uso de herramientas como WinQSB para simular escenarios productivos y planificar de forma estratégica el crecimiento de la empresa.

Planteamiento de la problemática de la unidad receptora.

La empresa receptora de este proyecto es una Pyme mexicana dedicada a la producción de vodka de tamarindo, que actualmente atraviesa un proceso de crecimiento en sus niveles de demanda. A pesar del aumento en la aceptación de su producto, la organización continúa operando con métodos tradicionales y empíricos de gestión, sin el respaldo de sistemas estructurados que le permitan anticipar comportamientos de mercado, optimizar sus niveles de inventario o planificar de forma precisa su producción.

Esta situación ha comenzado a generar complicaciones en sus procesos internos, tales como desajustes entre la producción y la demanda, tiempos ociosos, desperdicio de recursos y acumulación innecesaria de inventario. Dichas condiciones afectan la eficiencia operativa de la empresa y dificultan su capacidad para responder con flexibilidad a nuevas oportunidades comerciales, especialmente en el contexto de su potencial internacionalización.

Además, la falta de una estrategia formal de planificación —sustentada en herramientas cuantitativas— ha limitado la toma de decisiones con base en datos, dificultando la coordinación entre compras, producción y distribución. Lo anterior incrementa los costos operativos y reduce la competitividad de la empresa frente a otros actores del mercado que ya operan bajo esquemas más avanzados de gestión.

En este contexto, se vuelve necesario fortalecer los procesos operativos a través de técnicas como el pronóstico de demanda, la planeación agregada y la planificación de requerimientos de materiales. Estas herramientas permitirán a la empresa tomar decisiones más precisas y oportunas, reducir costos innecesarios y elevar su nivel de servicio. Al implementar estas metodologías de manera integrada y adaptada a su realidad operativa, la organización podrá consolidar su crecimiento y estar en condiciones de acceder a nuevos mercados, nacionales e internacionales, con una base operativa más sólida y competitiva.

Objetivo general.

Proponer un conjunto de soluciones tecnológicas acompañadas de lineamientos prácticos para su implementación, orientadas a mejorar la eficiencia operativa de una Pyme ubicada en el estado de Hidalgo. Esto se logrará mediante la integración de herramientas analíticas y técnicas avanzadas de gestión de operaciones, con el objetivo de eficientar los procesos productivos, disminuir los costos asociados y fortalecer las capacidades de la empresa para proyectarse hacia mercados internacionales.

Objetivos específicos.

- Seleccionar y aplicar métodos cuantitativos de pronóstico de demanda para estimar la demanda futura con un nivel de precisión adecuado.

- Diseñar estrategias de planeación agregada que consideren el balance entre la capacidad de producción, los niveles de inventario y la fuerza laboral, explorando enfoques como la estrategia de “caza” y la de fuerza de trabajo constante.
- Desarrollar un MRP específico para el vodka de tamarindo, que detalle explosiones de producto, tamaños de lote óptimos y calendarios de emisión de órdenes de compra y producción.
- Diseñar una programación estructurada de operaciones que permita organizar la secuencia de producción y distribuir los recursos disponibles de forma eficiente, con el fin de reducir tiempos improductivos y eliminar puntos críticos en el flujo de trabajo.
- Elaborar recomendaciones prácticas para la mejora continua, que sirvan de guía a la empresa en su estrategia de expansión hacia mercados internacionales.

Justificación.

El presente trabajo tiene como intención principal fortalecer la capacidad operativa de una empresa mexicana de tamaño mediano dedicada a la producción de destilados, mediante la implementación de herramientas cuantitativas enfocadas en la gestión eficiente de la producción. En este contexto, se plantea aplicar un conjunto de técnicas que permitan modelar, planificar y controlar los procesos productivos con base en datos reales, generando así una propuesta estructurada que responda a las necesidades específicas de la organización bajo estudio.

La investigación se enfoca en integrar métodos de pronóstico de la demanda, planeación agregada, planificación de requerimientos de materiales (MRP) y programación detallada de operaciones. Estas herramientas se seleccionaron por su capacidad de mejorar la toma de decisiones en ambientes donde los recursos son limitados y la incertidumbre en la demanda representa un reto constante. A través del uso del software WinQSB, se simulan distintos escenarios operativos que

permiten comparar estrategias, evaluar costos y analizar la factibilidad de implementación.

El propósito general de esta tesis es el de proponer una solución integral que combine varias herramientas, orientadas a mejorar la eficiencia, reducir costos innecesarios, y optimizar el uso de insumos y mano de obra. De esta manera, se busca dotar a la empresa de una estructura operativa más sólida, que le permita adaptarse con mayor facilidad a cambios en el entorno y aprovechar oportunidades de crecimiento en mercados locales nacionales e internacionales.

Metodología.

Este proyecto se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, sustentado en la utilización de modelos matemáticos y herramientas analíticas para resolver los desafíos operativos y logísticos de una Pyme dedicada a la producción de destilados. La investigación es de tipo explicativo y de diseño retrospectivo, ya que busca identificar relaciones causales entre variables operativas utilizando datos históricos, sin intervenir directamente en el entorno productivo.

Se modelan escenarios mediante herramientas como el pronóstico de demanda, planeación agregada, Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP) y programación de actividades, empleando el software especializado WinQSB. Esta estrategia permite analizar el desempeño operativo bajo distintos esquemas de gestión, con el objetivo de mejorar la eficiencia, reducir costos y facilitar el proceso de internacionalización de la empresa.

La elección del software WinQSB se fundamenta en su enfoque especializado en modelado cuantitativo para decisiones operativas, incluyendo módulos dedicados a pronósticos, planeación agregada, MRP y programación de actividades. A diferencia de otras herramientas como Minitab o SPSS, orientadas principalmente al análisis estadístico general o inferencial, WinQSB permite desarrollar de forma integrada modelos operacionales específicos, facilitando su aplicación directa en entornos productivos como el de la Pyme analizada.

Estructura capitular.

El desarrollo de este proyecto se encuentra organizado en cinco capítulos, los cuales conducen al lector desde la identificación de la problemática hasta la presentación de conclusiones y propuestas de mejora.

El Capítulo 1, titulado “Contexto general y planteamiento del problema”, introduce la situación actual de la empresa productora de vodka de tamarindo, especifica las dificultades operativas detectadas, y expone los objetivos, hipótesis, justificación, delimitación y alcances del estudio. En el Capítulo 2, “Fundamentos teóricos y técnicos”, se abordan los conceptos clave relacionados con pronósticos, planeación agregada, MRP y programación de actividades, respaldados por literatura especializada y casos de aplicación relevantes. El Capítulo 3, “Diseño metodológico”, detalla el enfoque utilizado, la estructura del estudio, así como los métodos e instrumentos aplicados para recopilar y analizar la información. El Capítulo 4, “Análisis de resultados”, muestra la aplicación práctica de las herramientas seleccionadas, acompañada de una evaluación comparativa y validaciones que respaldan la utilidad de las estrategias propuestas. Finalmente, el Capítulo 5, “Reflexiones finales y recomendaciones”, resume los principales aportes del trabajo, verifica el cumplimiento de los objetivos y plantea sugerencias para implementar las mejoras en la empresa, además de proponer líneas de investigación futuras.

Capítulo 1. Diagnóstico del problema.

1.1 Problema de la unidad de estudio.

La empresa objeto de estudio, una Pyme mexicana dedicada a la elaboración de destilados, que ya ha experimentado problemas en su gestión de operaciones. En primer lugar, los procesos de producción actuales presentan retrasos frecuentes y cuellos de botella en etapas críticas de la producción, lo que le impide cumplir de manera consistente con los tiempos de entrega establecidos con los clientes.

Asimismo, la variabilidad en la demanda del producto de estudio, el vodka de tamarindo genera dificultades para ajustar con precisión los volúmenes de producción. Esta imprecisión provoca tanto excesos de inventario —inmovilizando capital y aumentando costos de almacenamiento— como faltantes de producto en momentos de alta demanda, afectando la percepción de confiabilidad de la marca en nuevos mercados.

Otro desafío radica en la ausencia de una planificación de la cadena de suministro adecuada para la adquisición de materias primas clave, como el tamarindo concentrado y los alcoholes base. La falta de sincronización entre la demanda proyectada y los pedidos de insumos origina desabastecimientos temporales y obliga a recurrir a compras de emergencia a precios elevados, lo que incrementa los costos de producción y reduce los márgenes de ganancia (Chase, Aquilano, y Jacobs, 2006).

Finalmente, al aspirar a expandirse hacia mercados internacionales, particularmente Estados Unidos y la Unión Europea, donde las exportaciones de destilados mexicanos alcanzaron 2 355 millones de dólares en 2023, lideradas por el tequila, la empresa carece de un marco estratégico que apoye la toma de decisiones basadas en datos reales y análisis de escenarios, indispensables para anticipar los requerimientos logísticos, aduaneros y de normatividad de cada destino (INEGI, 2023; Statista, 2024).

Este proyecto enfoca la aplicación de herramientas de gestión de operaciones en el análisis y optimización del proceso productivo de vodka de tamarindo dentro de una Pyme localizada en México. La intervención se centra específicamente en los siguientes componentes operativos:

1. **Horizonte temporal de los datos:** Se emplearán series históricas de ventas por mes desde marzo de 2022 hasta febrero de 2025, con lo cual se dispondrá de 36 meses de información para pronósticos y validación de modelos.
2. **Métodos de pronóstico considerados:** Solo se analizarán y compararán las tres técnicas de pronóstico que se consideran son las adecuadas para el tipo de empresa: Promedio móvil (MA), regresión lineal con el tiempo y suavizamiento exponencial simple con tendencias (SEST).
3. **Planeación agregada:** Se diseñarán estrategias de producción agregada que consideren únicamente dos alternativas: estrategia de fuerza de trabajo constante y estrategia de nivelación de producción, evaluando sus costos de ajuste y de inventario para determinar la más conveniente en el contexto de la empresa.
4. **MRP:** La explosión de la lista de materiales (BOM) del vodka de tamarindo, se realizará únicamente para el producto final, sin considerar subproductos ni empaques secundarios.
5. **Programación de actividades:** Se concentrará en la secuenciación y el dimensionamiento de lotes de producción por turno, sin modelar la asignación de máquinas ni el balanceo de línea completo, limitándose al cálculo de tiempos ciclo y a la validación de su sensibilidad con respecto a variaciones de demanda.
6. **Uso de WinQSB como herramienta de simulación:** Todas los análisis y cálculos se realizan en WinQSB versión 10.1, para garantizar homogeneidad y comparabilidad de los resultados.

7. **Alcance geográfico y de mercado:** El estudio se aplicará al mercado nacional mexicano, con especial atención al canal de distribución de la empresa local. No se incorporarán datos de exportaciones reales, aunque se discutirán a modo de escenario las implicaciones para un futuro ingreso a mercados internacionales, en especial Estados Unidos y la Unión Europea.
8. **Validación y métricas de desempeño:** La validación de los modelos emplea los últimos seis meses de datos (septiembre 2024–febrero 2025) como conjunto de prueba. Las métricas consideradas serán MAPE, MSE, MAD y La señal de seguimiento para pronósticos, así como costo total anual para los modelos de planeación agregada y MRP.

Al plantear de esta forma los alcances, se busca asegurar que los resultados sean aplicables y verificables por la Pyme en condiciones reales de operación, sin extender el estudio a variables o sistemas que escapen del control práctico de la empresa.

En el desarrollo e implementación de las técnicas propuestas para optimizar la gestión de operaciones de vodka de tamarindo, se identifican cuatro limitaciones principales que requieren ser abordadas proactivamente:

1. Calidad y disponibilidad de datos históricos: La fiabilidad de los métodos de pronóstico y planificación depende directamente de la integridad de la información previa de ventas, inventarios y tiempos de producción. Datos incompletos, desactualizados o con errores en la captura pueden sesgar los modelos y dar lugar a decisiones erróneas. Para mitigar este riesgo, es fundamental auditar y complementar los registros actuales, así como establecer protocolos rigurosos de recolección y validación continua de datos.

2. Características del proceso de producción: La elaboración del vodka de tamarindo implica diversas fases operativas, cada una con requerimientos específicos de tiempo, recursos y control. Esta multiplicidad de etapas introduce un nivel considerable de complejidad que dificulta la representación precisa de los

flujos de trabajo. Si no se gestionan adecuadamente, pueden surgir cuellos de botella que afecten la eficiencia general del sistema. Por ello, resulta fundamental realizar un análisis detallado de cada fase del proceso, así como definir con claridad los parámetros de capacidad productiva, para así adaptar de forma efectiva las estrategias de planificación y secuenciación.

3. Comportamiento irregular de la demanda: La demanda de vodka de tamarindo presenta variaciones que responden a factores estacionales, festividades regionales, y eventos comerciales que impulsan el consumo de bebidas alcohólicas, como puede ocurrir durante el regreso a clases universitario o en campañas promocionales puntuales. Estas oscilaciones pueden provocar incrementos súbitos en los pedidos. Aunque los modelos de pronóstico permiten detectar patrones generales y tendencias, no todas las fluctuaciones pueden anticiparse con precisión. Por esta razón, es recomendable complementar las estimaciones cuantitativas con un sistema de monitoreo ágil basado en indicadores del mercado, como las ventas diarias, menciones en redes sociales o cambios en el comportamiento del consumidor, que facilite ajustes operativos en tiempo real.

4. Restricciones tecnológicas y de recursos: La implementación efectiva de WinQSB u otras herramientas de análisis exige contar con infraestructura informática adecuada y personal capacitado. Limitaciones en el software, compatibilidad con sistemas ERP existentes o falta de habilidades técnicas pueden retrasar o encarecer la adopción de los modelos propuestos. Para superarlas, se recomienda evaluar previamente los requerimientos de hardware y licencias, así como planear un programa de formación continua para el equipo encargado de operar y mantener las herramientas.

1.2 Impacto del problema de la unidad de estudio en el contexto nacional-internacional.

La presente investigación adquiere relevancia en la medida en que ofrece a las Pymes de destilados en México, un marco sistemático para optimizar sus procesos

productivos y fortalecer su competitividad en el mercado nacional, y poder escalar esta competitividad al mercado internacional. Estudios recientes han mostrado que las empresas que aplican técnicas cuantitativas avanzadas reducen sus costos en inventarios hasta en un 15 % y mejoran su nivel de servicio al cliente en más de un 20 % (Christopher, 2016).

Asimismo, la digitalización de los procesos operativos, apoyada en herramientas digitales, permite simular distintos escenarios de mercado y anticipar posibles cuellos de botella en la cadena de suministro, lo que reduce el riesgo de rupturas de stock y retrasos en la entrega (Kumar et al., 2021). Esto resulta particularmente crítico para el vodka de tamarindo, cuyo mercado incluye regiones con altos requerimientos normativos y logísticos, como Estados Unidos y la Unión Europea.

La investigación también aporta valor académico al demostrar la aplicabilidad de estas técnicas en una industria de destilados, un sector tradicionalmente poco estudiado en el ámbito de la ingeniería de operaciones y logística, y abre la puerta a futuras extensiones del modelo en otros productos y regiones. De hecho, la experiencia de empresas similares en Chile y Argentina muestra que la implementación de MRP combinado con pronósticos de demanda puede aumentar la rotación de inventario hasta en un 30 % (CEPAL, 2023).

Por último, al enfocarse en una Pyme real y en un producto con alto potencial de exportación, este estudio genera un conocimiento práctico que puede replicarse en otras firmas del sector. De este modo, no solo se incrementa la eficiencia operativa, sino que se potencia la capacidad de las Pymes para insertarse de manera sostenible en cadenas de valor globales, contribuyendo al desarrollo económico regional y nacional.

El presente estudio ofrece una propuesta integral que aborda de manera directa los desafíos operativos de una Pyme productora de vodka de destilados, integrando modelos cuantitativos de pronóstico, planeación agregada, MRP y programación de actividades. Al combinar estas técnicas con herramientas de análisis de gestión de

operaciones como WinQSB, se facilita la generación de escenarios realistas que permiten anticipar fluctuaciones de demanda y optimizar la asignación de recursos, lo cual es esencial para una empresa de tamaño mediano cuyas capacidades financieras y tecnológicas son limitadas.

Este proyecto cobra especial relevancia en contextos vinculados al comercio exterior, ya que plantea una estructura operativa flexible que puede alinearse con los requisitos que exigen los procesos de exportación de bebidas alcohólicas. Desde la planificación de la producción en función de normativas internacionales, hasta el control de inventarios durante su traslado, el enfoque adoptado facilita una gestión más eficiente. Diversos estudios respaldan que la combinación de técnicas MRP con modelos de pronóstico basados en series temporales puede generar reducciones de entre un 10 % y 20 % en los costos de almacenamiento, así como incrementos superiores al 15 % en el cumplimiento puntual de pedidos (Christopher, 2016).

Asimismo, al diseñar un sistema de control que abarque desde el pronóstico de la demanda hasta la programación detallada de actividades, se promueve una cultura de mejora continua. Esto permite a la empresa no sólo reaccionar con agilidad a picos estacionales (por ejemplo, fiestas locales o cambios de temporada), sino también reducir mermas y excesos de inventario, factor crítico en productos perecederos o de alta rotación como las bebidas fermentadas (CEPAL, 2023).

Finalmente, la conveniencia del estudio radica en su replicabilidad: el modelo propuesto puede escalarse o adaptarse a otras categorías de licores o mercados emergentes, brindando a las Pymes una metodología probada para incrementar su competitividad y viabilidad en la economía globalizada, donde la eficiencia logística y la precisión en la planificación marcan la diferencia entre expandirse o estancarse (Ramírez y Torres, 2020).

En el ámbito social, la implementación de técnicas avanzadas de gestión operativa en Pymes genera impactos positivos que trascienden la esfera empresarial. En

primer lugar, al mejorar la eficiencia productiva y la estabilidad de la operación, estas metodologías contribuyen a la creación y la preservación de empleos formales, lo cual es fundamental en México, donde las Pymes aportan aproximadamente el 80 % del empleo total (INEGI, 2023). Asimismo, al optimizar los niveles de inventario y reducir pérdidas, se favorece la economía local al evitar cierres temporales y mantener la continuidad de la cadena de suministro (CEPAL, 2023).

Además, contar con una gestión operativa eficiente promueve el desarrollo de competencias técnicas y analíticas en el personal, ya que la implementación de herramientas cuantitativas y plataformas digitales de planificación requiere procesos continuos de capacitación y actualización. Esta inversión en capital humano resulta esencial para fortalecer la competitividad laboral del país frente a los retos del entorno internacional (OECD, 2023). Por otro lado, al mejorar el control sobre los costos operativos y elevar los estándares de calidad, se generan condiciones más favorables para ofrecer productos accesibles y confiables, lo que incide positivamente en el bienestar de los consumidores y en la inclusión económica mediante precios más justos (Christopher, 2016).

Otro aspecto relevante es la sostenibilidad: al disminuir inventarios obsoletos y optimizar flujos de material, se reduce el desperdicio y el consumo excesivo de recursos, alineándose con prácticas de producción más responsables y con estándares internacionales de sostenibilidad (Gereffi, 2018). Esta gestión más consciente repercute en una menor huella ambiental y en el cumplimiento de normativas cada vez más estrictas en mercados de exportación, ayudando a las Pymes a acceder a nuevos nichos internacionales.

Finalmente, al dotar a las Pymes de herramientas analíticas que permiten anticipar fluctuaciones de la demanda y responder con agilidad, se fortalece la resiliencia de las comunidades ante crisis económicas o sanitarias. Esta capacidad de adaptación no solo asegura la viabilidad de la empresa, sino que también protege el sustento de las familias que dependen directa o indirectamente de ella, reforzando el tejido social y contribuyendo al desarrollo equitativo de la región.

Desde el punto de vista práctico, este proyecto tiene como objetivo principal proporcionar a la Pyme un conjunto de herramientas metodológicas que le permitan convertir el análisis cuantitativo en mejoras tangibles dentro de sus procesos operativos y logísticos. Una de las primeras acciones clave es la incorporación de modelos de pronóstico de demanda junto con esquemas de planeación agregada, los cuales permiten establecer cronogramas de producción más alineados con las fluctuaciones reales del mercado. Esto contribuye a disminuir tanto los excedentes de inventario como los faltantes, lo que a su vez reduce los costos asociados al almacenamiento, al capital inmovilizado y a las pérdidas por oportunidades no aprovechadas (Chase, Aquilano y Jacobs, 2006).

Asimismo, la incorporación de un sistema MRP modernizado, soportado por software de análisis, impulsa la transparencia y trazabilidad del flujo de materiales desde la adquisición hasta la fabricación final. Esto no solo optimiza los tiempos de ciclo, sino que también mejora la coordinación entre áreas clave —producción, compras y almacén—, reduciendo retrasos y errores en la reposición de insumos (Christopher, 2016).

La aplicación de técnicas de programación de actividades contribuye, por su parte, a estabilizar la carga de trabajo y a maximizar la utilización de la capacidad instalada. Mediante la sincronización de tareas y la minimización de tiempos muertos, la empresa puede incrementar su rendimiento sin necesidad de inversiones de capital adicionales, elevando así la productividad por hora trabajada (Gereffi, 2018).

Además, al integrar análisis de sensibilidad, los responsables de la empresa contarán con un mecanismo de alerta temprana para detectar variaciones abruptas en la demanda o en la disponibilidad de insumos. Este enfoque proactivo fortalece la resiliencia operativa, permitiendo a la organización ajustar rápidamente sus planes ante eventos inesperados y manteniendo niveles de servicio consistentes en mercados internacionales cada vez más volátiles (Kumar et al., 2021).

Para finalizar, la incorporación de estas metodologías representa un impulso directo a la capacidad de la empresa para competir en mercados internacionales. Al

incrementar la precisión en la planificación productiva y asegurar tanto la calidad como la disponibilidad constante del producto, se fortalece la capacidad de la organización para cumplir con los tiempos de entrega y las especificaciones que exigen los clientes del exterior. Esta mejora en el desempeño operativo abre la puerta a nuevas oportunidades comerciales y consolida las bases para un crecimiento sostenido de la Pyme a largo plazo (OECD, 2023).

Capítulo 2. Fundamentos teóricos.

Este capítulo presenta el sustento teórico que da forma a la propuesta de mejora operativa aplicada a la elaboración de vodka de tamarindo. En las siguientes secciones se abordarán los modelos y herramientas más relevantes dentro del campo de la gestión de operaciones. Se iniciará con los principios fundamentales de la modelación de sistemas productivos, seguidos por los enfoques más comunes para el pronóstico de la demanda. Posteriormente, se analizarán las estrategias utilizadas en la planeación agregada, la lógica del sistema de planeación de requerimientos de materiales (MRP), y, por último, las técnicas orientadas a la programación eficiente de las actividades. Cada uno de estos apartados incluirá conceptos clave, referencias teóricas y ejemplos de aplicación, con el propósito de demostrar cómo estas metodologías contribuyen a optimizar los procesos, reducir desperdicios y fortalecer la capacidad de respuesta de la empresa frente a las exigencias del entorno comercial global.

2.1 Conceptos básicos sobre la modelación de sistemas de producción.

Dentro del ámbito de la gestión de operaciones, un sistema de producción puede definirse como el conjunto integrado de elementos esenciales que intervienen en la transformación de insumos en bienes o servicios. Este sistema incluye recursos humanos, materiales, equipos tecnológicos y canales de información que, de forma coordinada, permiten satisfacer los requerimientos del mercado. La modelación de dichos sistemas consiste en representar sus componentes y dinámicas a través de esquemas abstractos —matemáticos, lógicos o mediante simulación— con el objetivo de entender su comportamiento, anticipar resultados y evaluar distintas decisiones operativas sin afectar directamente la operación real de la planta (Chapman, 2006).

Un modelo efectivo integra la definición de la estructura del sistema (recursos y rutas de proceso), los parámetros operativos (tiempos de ciclo, tasas de falla,

rendimientos y costos), las variables de decisión (niveles de inventario, tamaños de lote y asignación de personal) y las métricas de desempeño (tiempo de ciclo, nivel de servicio, utilización de recursos y costos totales) (Sangregorio, 2009). Esta combinación permite anticipar cuellos de botella y cuantificar los beneficios de políticas como la reducción de inventarios o el ajuste de turnos de trabajo (Banks, 2005).

En particular, para el análisis de la producción del vodka de tamarindo se debe considerar la complejidad propia de un proceso que incluye maceración, destilación y embotellado con ingredientes sensibles al tiempo y la temperatura. Al representar estas etapas, es posible evaluar distintos escenarios de producción y optimizar la asignación de insumos, así como probar estrategias de lotificación y secuencias de producción que minimicen pérdidas y costos de almacenamiento.

Existen dos enfoques principales: los modelos determinísticos, que asumen parámetros fijos para resolver problemas de asignación óptima mediante programación matemática o la simulación determinista; y los modelos estocásticos, que incorporan variabilidad inherente, es decir, ese tipo de fallas que no podemos evitar porque son parte del día a día y tienen que ver con el humano y el desgaste natural de las máquinas, y que mediante la simulación de eventos discretos podemos evaluar la robustez de las decisiones en condiciones reales de incertidumbre. La elección de qué enfoque sirve más va a depender de la complejidad del sistema, la disponibilidad de datos y el nivel de detalle que se requiera para la toma de decisiones.

Para apoyar el proceso de modelación, existen diversas herramientas informáticas especializadas. WinQSB, Arena y ProModel se han consolidado como opciones accesibles para las Pymes ya que no cuentan con licencias costosas y cuentan con una interfaz muy amigable para el usuario, sin sacrificar su potencia de simulación. En estudios recientes, la implementación de simulaciones simplificadas en Pymes ha mostrado reducciones del 10% al 20% en inventarios y mejoras de hasta 15% en nivel de servicio, evidenciando su utilidad para empresas con recursos limitados (Ramírez y Torres, 2020).

En suma, la modelación de sistemas de producción es clave para la mejora continua en entornos operativos cada vez más exigentes, y sobre todo si el deseo de las empresas es expandir su mercado. Al ofrecer la posibilidad de experimentar virtualmente con diferentes configuraciones, sin detener o siquiera interrumpir la operación real, nos facilita la estandarización de procesos, la toma de decisiones fundamentadas en datos históricos y el desarrollo de estrategias adaptativas, especialmente valiosas para empresas que buscan competir en mercados internacionales con productos diferenciados como el vodka de tamarindo.

2.2 Pronósticos.

2.2.1 Introducción a los pronósticos.

Los pronósticos de demanda constituyen un componente fundamental en la planificación y el control de las operaciones dentro de cualquier organización, ya que brindan una base cuantitativa para estimar el volumen de productos que se requerirá en periodos futuros. Esta anticipación permite realizar ajustes oportunos en los niveles de producción, inventario y personal (Nahmias, 2007). Aunque es común que las pequeñas y medianas empresas se apoyen en la intuición o en la experiencia de sus responsables para prever ventas, este enfoque resulta limitado ante las exigencias de mercados globales dinámicos y altamente competitivos, donde una planificación inexacta puede traducirse en pérdidas económicas por sobreproducción o desabasto.

La literatura distingue dos grandes familias de métodos de pronóstico: los subjetivos —que incorporan opiniones de expertos y juicios cualitativos— y los objetivos, que se basan en datos históricos y modelos matemáticos (Makridakis, Wheelwright y Hyndman, 1998). Dentro de estos últimos, los métodos de series de tiempo se centran exclusivamente en el patrón histórico de la variable de interés, mientras que los métodos causales o econométricos relacionan la demanda con variables externas —como precios, promoción o indicadores macroeconómicos— para lograr predicciones más ajustadas (Mentzer y Moon, 2004).

Un pronóstico bien elaborado no solo reduce la incertidumbre en la cadena de suministro, sino que también sirve de base para ejercicios posteriores de planeación agregada, dimensionamiento de lotes y requerimientos de materiales, integrando todas las áreas de la empresa en un modelo único y coordinado (Stevenson, 2021). Asimismo, al incorporar un indicador de precisión, por ejemplo, el MAPE o la señal de seguimiento, el gestor de operaciones puede evaluar la confiabilidad de cada modelo y tomar decisiones informadas sobre si mantener, ajustar o cambiar de método de pronóstico (Fildes et al., 2009).

2.2.2 Conceptos fundamentales.

Para garantizar la precisión y la confiabilidad de los modelos de pronóstico en la gestión operativa, es fundamental comprender y aplicar ciertos indicadores y conceptos estadísticos. Estos conceptos permiten evaluar el rendimiento de los modelos y ajustar los procesos de planificación de la producción.

- **Error de pronóstico (et):** Definido como la diferencia entre la demanda observada (D_t) y el pronóstico realizado (F_t) para el mismo periodo de tiempo.

$$e_t = D_t - F_t$$

Esta medida básica permite cuantificar desvíos puntuales y sirve de base para otras métricas.

- **Error Cuadrático Medio (MSE, por sus siglas en inglés):** El MSE se define como el promedio de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores pronosticados.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t^2$$

Un valor bajo de MSE indica que el modelo tiene un ajuste preciso a los datos históricos, lo que es esencial para minimizar los errores en la planificación de

la producción. Al penalizar más los errores grandes, el MSE resulta útil para métodos que buscan minimizar la varianza.

- **Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE):** El MAPE mide la precisión de los pronósticos en términos porcentuales, calculando el promedio del valor absoluto de los errores relativos entre los datos observados y los predichos.

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{e_t}{D_t} \right|$$

Esta métrica resulta especialmente útil para comparar la eficacia de distintos modelos y para ajustar las estrategias de producción según las variaciones del mercado.

- **Desviación Absoluta Media (MAD):** El MAD es el promedio de las desviaciones absolutas de cada observación con respecto a la media.

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |e_t|$$

Un MAD reducido implica una menor dispersión de los datos, lo que se traduce en pronósticos más consistentes y confiables, fundamentales para la estabilidad operativa en entornos internacionales.

- **Señal de Seguimiento:** La señal de seguimiento es un indicador que permite monitorizar en tiempo real el desempeño del modelo de pronóstico.

$$Señal\ de\ seguimiento = \frac{\sum_{t=1}^N |e_t|}{MAD}$$

Este indicador es crucial para detectar desviaciones significativas que puedan requerir ajustes en la metodología, asegurando que el modelo se mantenga alineado con las condiciones cambiantes del mercado.

2.2.3 Métodos de series de tiempo.

Los métodos de series de tiempo son técnicas cuantitativas que analizan datos históricos para identificar patrones y proyectar comportamientos futuros. Estos métodos se fundamentan en el supuesto de que la información del pasado puede ser utilizada para predecir el futuro, siempre que se detecten componentes sistemáticos en la serie, tales como tendencia, estacionalidad y ciclos. Dependiendo del patrón detectado, se pueden aplicar diversos métodos.

A continuación, en la Figura 1 podemos ver un ejemplo de dos datos que interactúan entre sí, la labor de los pronósticos es detectar patrones predecibles y repetibles a partir de datos históricos.

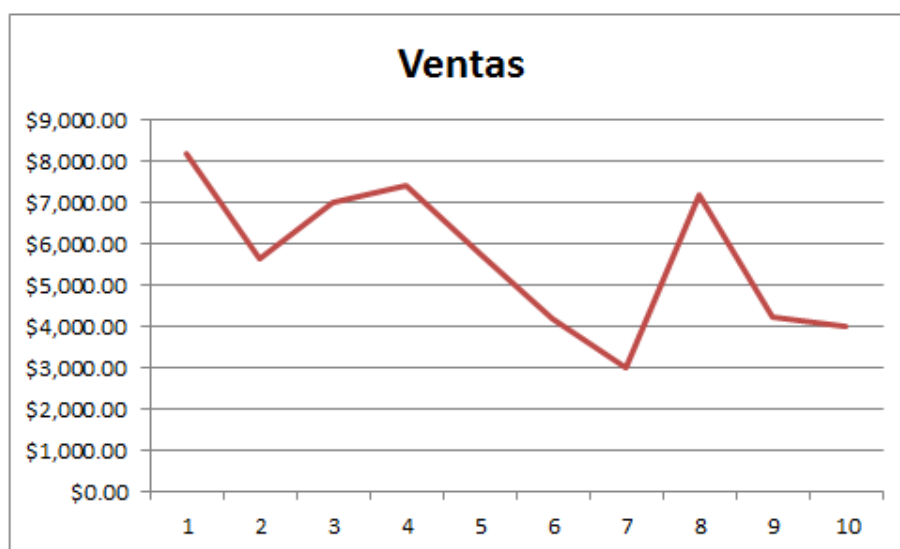


Figura 1. Gráfica de datos ilustrativa

Hay diversos componentes dentro de una serie de tiempo, por ejemplo:

- **Tendencia:** Se refiere al movimiento general de la serie a lo largo del tiempo, indicando si los valores tienden a aumentar, disminuir o mantenerse estables. La tendencia puede ser lineal o no lineal, y es fundamental para entender el comportamiento a largo plazo de la demanda.
- **Estacionalidad:** Representa los patrones recurrentes que se repiten en intervalos específicos (mensuales, trimestrales, anuales). La estacionalidad

permite identificar periodos de alta y baja demanda, lo que es esencial para ajustar la producción de manera oportuna. Tenemos varios ejemplos de productos estacionales, por ejemplo, las ventas de ropa de invierno o verano, las ventas de helado, consumo eléctrico, etc. (Nahmias, 2007).

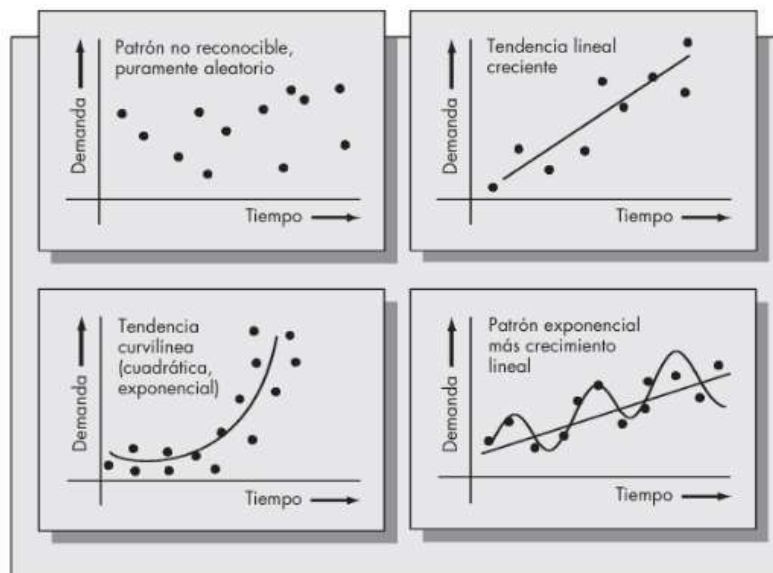


Figura 2. Patrones en la demanda (Nahmias, 2007)

- **Ciclos:** Son fluctuaciones irregulares que ocurren en periodos más largos que la estacionalidad y que pueden estar influenciados por factores económicos o de mercado.
- **Ruido:** Es la variación aleatoria que no puede ser explicada por los otros componentes y que se asume como error en el pronóstico.

Existen diferentes métodos de evaluación, para los pronósticos, con series de tiempo, los más usados son:

Métodos para pronosticar series de tiempo estacionario.

Cuando una serie temporal muestra un comportamiento relativamente estable a lo largo del tiempo, es decir, sin una tendencia evidente ni estacionalidad marcada,

existen dos métodos ampliamente utilizados para generar pronósticos: los promedios móviles y el suavizamiento exponencial simple. El primero consiste en calcular la media aritmética de las últimas N observaciones disponibles, de modo que cada nuevo pronóstico se obtiene a partir del promedio más reciente de la demanda. Por su parte, el suavizamiento exponencial asigna mayor peso a los datos más recientes, combinando el valor actual de la demanda con el pronóstico anterior mediante una constante de suavizamiento α , tal que $0 < \alpha < 1$. Esta constante define el grado de sensibilidad del modelo a los cambios recientes. Mientras mayor sea α , mayor será la reacción ante nuevas observaciones.

Ambas técnicas son utilizadas con frecuencia en entornos operativos, aunque el suavizamiento exponencial simple suele usarse de manera más común en sistemas como el control de inventarios, especialmente en aquellos de gran escala, ya que requiere almacenar menos información histórica que los promedios móviles (Nahmias, 2007).

Métodos para pronosticar series de tiempo con tendencia.

Cuando una serie temporal refleja una tendencia clara, ya sea al alza o a la baja, es recomendable utilizar métodos de pronóstico capaces de capturar esta dinámica. Entre las técnicas más eficaces en estos casos se encuentran la regresión lineal y el suavizamiento exponencial doble, conocido también como método de Holt. La regresión lineal genera una representación matemática ajustando una recta a los datos históricos mediante el método de mínimos cuadrados, estableciendo así una relación directa entre el tiempo y la variable a predecir. En contraste, el modelo de Holt amplía el suavizamiento exponencial simple al considerar de forma separada el nivel actual de la serie y su tendencia, lo que lo hace especialmente útil para anticipar patrones de crecimiento o decrecimiento sostenido en el tiempo (Box et al., 2015).

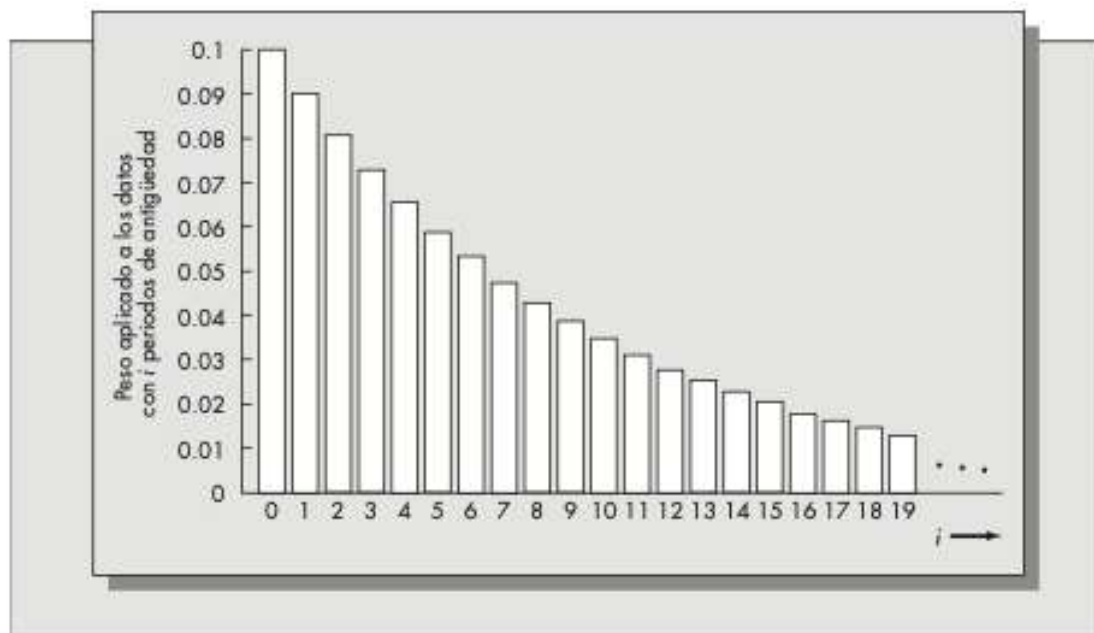


Figura 3 Ponderación en el suavizamiento exponencial (Nahmias, 2007)

Métodos para pronosticar series estacionales.

En el caso de series temporales que presentan estacionalidad, es decir, patrones que se repiten en intervalos regulares como meses o trimestres, el pronóstico debe considerar estos comportamientos cíclicos. Una de las formas más sencillas de incorporar este patrón es mediante el uso de factores estacionales multiplicativos, que reflejan cuánto se desvía la demanda de un periodo respecto a la media anual. Por ejemplo, si un mes tiene un factor de 1.25, significa que la demanda esperada para ese mes es 25% superior al promedio mensual.

Para series más complejas, donde se presentan nivel, tendencia y estacionalidad simultáneamente, el método más completo es el modelo de Winters (o suavizamiento exponencial triple). Este enfoque utiliza tres ecuaciones de suavizamiento para estimar de manera conjunta la intersección, la pendiente y los efectos estacionales en cada periodo, permitiendo así pronósticos robustos en entornos con variaciones múltiples (Nahmias, 2007).

2.2.4 Estudios de investigación.

La aplicación de métodos de pronóstico en la gestión de operaciones ha sido objeto de numerosos estudios, los cuales han demostrado que una estimación precisa de la demanda es fundamental para optimizar la planificación y la asignación de recursos en las empresas. A lo largo de las últimas décadas, se han desarrollado diversas metodologías que van desde enfoques clásicos basados en series de tiempo hasta modelos híbridos que integran técnicas estadísticas y algoritmos de inteligencia artificial.

Diversos trabajos destacan la integración de mecanismos de atención y optimización de incertidumbre para mejorar la precisión en eventos extremos. Farhangi et al. (2023) proponen el marco AA-forecast, que utiliza atención dinámica y optimización de incertidumbre para incorporar anomalías automáticamente, logrando predicciones más robustas bajo condiciones de alta variabilidad en la demanda. En línea con este enfoque, Singh et al. (2024) presentan un modelo distribuido de redes neuronales profundas con optimización de hiper parámetros en paralelo, mostrando mejoras significativas en la precisión de pronósticos multivariantes al reducir el error de predicción en comparación con métodos tradicionales.

Para la demanda intermitente, Zhang et al. (2023) introducen un Transformer adaptado a patrones esporádicos, superando a las redes neuronales convencionales y a los modelos de suavizamiento exponencial en escenarios con alta irregularidad de demanda. A su vez, Ivanyuk (2023) desarrolla el método de promedio de bootstrap basado en residuos (RBBA), que ajusta automáticamente los pesos de los residuos en combinaciones de pronósticos, demostrando mayor capacidad de generalización en series temporales financieras.

En cuanto a enfoques jerárquicos, Zambon et al. (2023) diseñan un esquema de reconciliación probabilística eficiente para series temporales jerárquicas, garantizando coherencia entre predicciones globales y locales mediante muestreo de importancia ascendente. Paralelamente, Ziel (2021) presenta “SMOOTHED BOA”, un método de agregación en línea que combina múltiples modelos de series

temporales (incluyendo GAMs y lasso) con ajustes de feriados, alcanzando desempeño líder en el concurso IEEE sobre pronóstico eléctrico post-COVID.

Finalmente, Baykasoglu, Öztürk y Yüksel (2023) aplican “TOPSIS” extendido para resolver problemas de planeación agregada de producción, demostrando cómo la integración de criterios cuantitativos y cualitativos mejora la asignación de capacidad y recursos en sistemas de múltiples líneas de fabricación. Estos estudios ilustran la transición hacia métodos cada vez más automatizados, adaptativos y orientados al aprendizaje profundo, marcando la pauta para futuros desarrollos en pronóstico de demanda en entornos dinámicos y globalizados.

2.3 Planeación agregada.

2.3.1 Introducción a la planeación agregada.

La planeación agregada es un componente esencial dentro de la gestión de operaciones, cuyo propósito consiste en definir los niveles apropiados de producción, empleo e inventario necesarios para atender la demanda estimada en un periodo intermedio, generalmente de entre 6 y 18 meses (Stevenson, 2015). A través de este proceso, las organizaciones buscan equilibrar su capacidad productiva con las variaciones del mercado, seleccionando estrategias que pueden incluir ajustes en la fuerza laboral, manejo de inventarios, subcontratación o el uso de horas extra (Heizer y Render, 2014). Bajo este enfoque, los productos se agrupan en familias o categorías similares, lo que facilita la planificación y reduce la complejidad de la gestión.

La planeación agregada cumple una función estratégica al sincronizar los recursos internos con las oscilaciones de la demanda, procurando minimizar los costos totales asociados a la producción, almacenamiento y utilización de la fuerza laboral. Al decidir sobre un nivel agregado, las empresas logran adaptarse de manera más flexible a los cambios del entorno sin poner en riesgo la estabilidad de su capacidad operativa (APICS, 2016). Además, actúa como un puente entre los objetivos estratégicos de largo plazo y la operación diaria, asegurando que las acciones

productivas se mantengan alineadas con las metas de rentabilidad y eficiencia de la organización (Christopher, 2016).

En términos metodológicos, este proceso se desarrolla en tres fases principales: primero, la elaboración de pronósticos de demanda agregada; segundo, el diseño de posibles estrategias de planeación —como las de persecución de la demanda o nivelación de la producción—; y finalmente, la evaluación económica de cada alternativa para seleccionar la más adecuada (Monczka et al., 2015). Este enfoque integral facilita la toma de decisiones fundamentadas, al ofrecer una visión general de las necesidades de capacidad y recursos, además de promover la coordinación entre áreas clave como manufactura, finanzas, mercadotecnia y logística (Slack et al., 2010).

2.3.2 Conceptos fundamentales.

La planeación agregada se erige como un proceso estratégico que permite equilibrar la capacidad productiva de una empresa con la demanda prevista, mediante la coordinación de recursos y la toma de decisiones a mediano plazo. Para comprender en profundidad este enfoque, es esencial desglosar y definir sus conceptos fundamentales:

1. **Demanda prevista:** Se refiere a la estimación de la cantidad de productos o servicios que se espera que el mercado consuma en un periodo determinado. Esta estimación se basa en datos históricos y proyecciones estadísticas, y constituye el eje central para determinar los niveles de producción y los requerimientos de recursos. Una demanda precisa es crucial para evitar tanto la sobreproducción como la escasez de inventario.
2. **Capacidad instalada:** Se refiere al volumen máximo de bienes o servicios que una organización está en condiciones de producir durante un periodo determinado, tomando en cuenta sus recursos actuales, tales como equipos, personal y sistemas tecnológicos. Esta capacidad debe evaluarse

constantemente y ajustarse según las proyecciones de demanda, con el fin de optimizar la eficiencia operativa y controlar los costos relacionados.

3. **Gestión de inventarios:** Los inventarios comprenden las existencias de productos terminados, materias primas y componentes necesarios para atender los requerimientos del mercado. Administrarlos correctamente es esencial para lograr un equilibrio entre los costos de almacenamiento, el riesgo de obsolescencia y la necesidad de asegurar la disponibilidad oportuna de los productos.
4. **Mano de obra y flexibilidad operativa:** Dentro de la planeación agregada, es fundamental definir la cantidad de personal requerido para cumplir con los niveles de producción planificados. Esto puede incluir ajustes en la jornada laboral, contratación temporal o la externalización de procesos específicos. La capacidad de adaptar la estructura laboral permite responder con mayor agilidad ante las variaciones en la demanda y los cambios en el entorno productivo.
5. **Costos de producción y almacenamiento:** La planificación agregada debe considerar diversos costos, entre ellos:
 - **Costos de producción:** Incluyen los gastos asociados a la manufactura del producto, como materia prima, energía y mano de obra.
 - **Costos de mantenimiento de inventario:** Se refieren a los gastos de almacenamiento, deterioro y obsolescencia de productos.
 - **Costos de ajuste de la capacidad:** Comprenden los costos asociados a cambios en la fuerza laboral o en el nivel de producción, tales como contrataciones, capacitaciones o despidos.
6. **Lead time (tiempo de entrega):** Es el intervalo de tiempo que transcurre desde que se realiza un pedido de insumos hasta que estos se encuentran disponibles para la producción. Un lead time bien gestionado es crucial para

la sincronización de la cadena de suministro y para minimizar retrasos en la producción.

7. **Estrategias de subcontratación:** En escenarios donde la capacidad interna es insuficiente o se requiere diversificar la gama de servicios, la subcontratación se presenta como una alternativa para delegar ciertas tareas a proveedores externos. Esta estrategia ayuda a mantener los costos bajo control y a mitigar riesgos operativos, siempre que se garantice la calidad del servicio prestado.
8. **Nivel de servicio:** Este indicador mide el porcentaje de demanda que la empresa logra satisfacer en un periodo determinado. Un alto nivel de servicio es indicativo de una eficiente coordinación entre la producción y la demanda, y es crucial para asegurar la satisfacción del cliente y la competitividad en mercados internacionales.

En conjunto, estos conceptos permiten desarrollar un marco integral que apoya la toma de decisiones estratégicas en la planeación agregada. La correcta aplicación de estos principios no solo optimiza la utilización de recursos y reduce los costos operativos, sino que también fortalece la capacidad de la empresa para competir en un entorno globalizado, donde la agilidad y la precisión en la respuesta a las fluctuaciones del mercado son fundamentales.

2.3.3 Técnicas y características.

La planeación agregada ofrece varias estrategias para gestionar la capacidad y adaptarse a la variabilidad de la demanda. Entre las técnicas más habituales se encuentran:

1. **Estrategia de nivel constante:** Consiste en mantener una tasa de producción y un tamaño de plantilla fijos, absorbiendo las fluctuaciones de demanda mediante variaciones en el inventario.

2. Estrategia de persecución (chase): Ajusta la producción y la dotación de personal de manera directa a la demanda pronosticada, minimizando inventarios, pero incurriendo en costos de contratación y despido.
3. Política de subcontratación: Se externalizan picos de demanda a terceros, reduciendo inversiones en capacidad propia a cambio de costos de outsourcing.
4. Uso de horas extra: Permite ampliar temporalmente la capacidad interna sin modificar el nivel de plantilla, si bien encarece el costo de la mano de obra.
5. Combinación de enfoques: Modelos mixtos que integran, por ejemplo, producción constante con horas extra y subcontratación en picos,

Las características clave de la planeación agregada incluyen:

- Horizonte de planificación: Determinar adecuadamente la longitud del horizonte (T) es crucial: un T corto impide prepararse ante cambios futuros; un T excesivo degrada la fiabilidad de los pronósticos (Nahmias y Olsen, 2015).
- Costos de suavizamiento: Incluyen gastos por contratar y despedir personal, así como por horas extra. Su cuantificación exige estimaciones realistas de indemnizaciones y productividad.
- Costos de inventario: Se consideran costos de mantenimiento de inventario (capital inmovilizado u obsoleto) y costos de faltantes o producción acelerada al no contar con existencias.
- Cuellos de botella: Deben identificarse los recursos limitantes (máquinas, mano de obra especializada) para evitar planes inviables y garantizar la factibilidad operativa.
- Flexibilidad: La capacidad de ajustar la producción con métodos como subcontratación o redefinición de mix de productos permite responder a la volatilidad de la demanda internacional (Zanella y Vaz, 2023).

En síntesis, la planeación agregada combina ajustes de capacidad y modelos cuantitativos para diseñar planes de producción que equilibran costos y niveles de servicio en entornos dinámicos e internacionales.

2.3.4 Importancia de la planeación agregada.

La planeación agregada constituye una pieza clave en la alineación de la capacidad productiva con la demanda proyectada en el mediano plazo. Este proceso estratégico permite a las empresas determinar los niveles óptimos de producción, inventario y fuerza laboral, reduciendo la volatilidad en los costos operativos y mejorando la eficiencia en la utilización de recursos (Box, Jenkins y Reinsel, 2015). Al establecer un plan consolidado de producción, las organizaciones pueden anticipar fluctuaciones de la demanda, lo cual minimiza el riesgo de sobreproducción, que conduce a exceso de stock y mayores costos de almacenamiento, y de subproducción, que puede provocar quiebres de inventario y pérdida de ventas (Chase, Aquilano y Jacobs, 2006).

La planeación agregada también proporciona una base sólida para evaluar distintas alternativas de ajuste en la capacidad operativa, tales como la contratación de personal, la asignación de horas extra o la subcontratación de ciertas actividades. Estas decisiones se toman considerando tanto los costos involucrados como su efecto en el rendimiento del personal y en el flujo productivo (Aydin y Tirkolaei, 2022). A través de este enfoque, se busca encontrar un equilibrio entre los gastos derivados de modificar la fuerza laboral y los costos asociados al mantenimiento de inventarios de respaldo. Esta posibilidad de distribuir la carga de producción a lo largo del horizonte de planificación permite que las organizaciones se preparen anticipadamente ante estacionalidades o aumentos puntuales en la demanda, evitando respuestas improvisadas que puedan comprometer la operación. Tal como se observa en la Figura 4, el proceso inicia con un pronóstico de demanda a lo largo de un periodo determinado, a partir del cual se deriva el plan de producción general, el programa maestro y, finalmente, los requerimientos materiales específicos.



Figura 4. Jerarquía de las decisiones de la planeación agregada (Nahmias, 2007)

En un entorno globalizado, la planeación agregada adquiere además una dimensión estratégica al vincular la gestión interna de operaciones con la integración en cadenas de suministro internacionales. Un plan agregado sólido facilita la coordinación con proveedores y distribuidores en distintos mercados, asegurando tiempos de entrega y niveles de servicio consistentes, elemento crucial para competir en mercados de exportación. La planeación agregada, por tanto, no solo optimiza costos y capacidad interna, sino que es fundamental para garantizar la agilidad y la resiliencia ante alteraciones en el entorno externo, como variaciones en políticas arancelarias o cambios en la demanda global (Gereffi, 2018).

2.3.5 Estudios de investigación.

La planeación agregada ha sido objeto de numerosos estudios que han evaluado su impacto en la optimización de la producción y la asignación de recursos en entornos operativos. Estos estudios demuestran que una planificación adecuada permite a las empresas equilibrar la capacidad productiva con la demanda prevista,

reduciendo costos y mejorando la eficiencia operativa tanto a nivel local como en el comercio internacional.

Diversos estudios han destacado el papel estratégico que cumple la planeación agregada en la sincronización entre la capacidad operativa de una empresa y las necesidades del mercado. Según Chase, Aquilano y Jacobs (2006), el uso de enfoques cuantitativos en este tipo de planificación contribuye a optimizar el uso de los recursos y a disminuir los costos relacionados con el manejo de inventarios. Por su parte, Christopher (2016) afirma que la planeación agregada constituye una herramienta clave para lograr una coordinación eficaz dentro de la cadena de suministro, especialmente en entornos internacionales donde los cambios en la demanda pueden presentarse de forma repentina y significativa.

Box, Jenkins y Reinsel (2015) plantearon que la sistematización de las decisiones operativas mediante modelos como la programación lineal permite anticipar variaciones en la demanda y ajustar los niveles de producción con mayor flexibilidad. De manera similar, Deming (1986) enfatizó la necesidad de un enfoque integral que combine calidad y eficiencia, argumentando que, sin un plan agregado sólido, las empresas enfrentan mayores riesgos de desequilibrio entre producción e inventario.

En el ámbito de las metodologías contemporáneas, Aydın y Tirkolaei (2022) llevaron a cabo una revisión sistemática centrada en la planeación agregada desde un enfoque sostenible, considerando simultáneamente criterios económicos, sociales y medioambientales bajo el marco conceptual de la economía circular. Sus hallazgos evidencian que la incorporación de variables de sostenibilidad puede generar mejoras sustanciales en el rendimiento operativo, además de contribuir a la reducción de residuos en los procesos productivos. Por otro lado, Liu y Yang (2021) desarrollaron un modelo de optimización multiobjetivo en el que se prioriza tanto la estabilidad de la fuerza laboral como la minimización de costos. Mediante la aplicación de un algoritmo genético híbrido, lograron obtener soluciones eficientes que redujeron los costos totales en un 12% frente a los métodos tradicionales.

De forma más reciente, Naji Nasrabadi Yazd et al. (2023) introdujeron un modelo bio-objetivo basado en el análisis envolvente de datos (DEA-AR), con el propósito de asignar la producción a líneas con mayor eficiencia mientras se minimizan los costos operativos. En plantas de manufactura con múltiples líneas, este enfoque permitió mejorar la eficiencia energética en un 15% y reducir significativamente los costos asociados. Asimismo, Rosero Mantilla et al. (2024) aplicaron un esquema de planeación agregada en la industria del caucho en Ecuador, combinando técnicas de programación entera mixta con heurísticas de secuenciación dinámica. El modelo resultante produjo un ahorro del 18% en costos de producción y una disminución del 20% en los tiempos de entrega.

En cuanto a técnicas de solución, Baykasoglu, Öztürk y Yüksel (2023) aplicaron un enfoque TOPSIS extendido para problemas de planeación agregada, demostrando su eficacia al identificar planes de producción que maximizan el servicio al cliente y minimizan costos de cambio de nivel de fuerza laboral en escenarios estocásticos. Krajčovič et al. (2021) desplegaron un sistema paramétrico para evaluar la utilización del personal de producción como base para la planeación agregada, lo que permitió un ajuste fino de la capacidad y redujo los excesos de mano de obra en un 8%.

Prashar (2023) aportó un marco analítico mediante análisis morfológico para la planificación y control de la producción en entornos de la Industria 4.0, identificando cinco dimensiones clave (entradas, procesos, salidas, tecnología y factibilidad) que deben considerarse en la planeación agregada para garantizar su adaptabilidad a sistemas digitalizado.

En síntesis, la literatura evidencia que la planeación agregada no solo mantiene su vigencia como práctica esencial en la gestión de operaciones, sino que también evoluciona incorporando criterios de sostenibilidad, técnicas multicriterio y herramientas de optimización avanzadas, adaptándose a los retos de la globalización y la Industria 4.0.

2.4 Planeación de requerimiento de materiales.

2.4.1. Introducción a la planeación de requerimiento de materiales.

La planificación de requerimientos de materiales, es un sistema automatizado que permite gestionar de forma eficaz los inventarios y las necesidades de aprovisionamiento en entornos productivos. Su propósito es garantizar que los materiales y componentes estén disponibles justo cuando se requieran, alineados con el calendario de producción, evitando tanto la acumulación innecesaria de inventario como los retrasos en las entregas. Este sistema opera a partir de tres elementos clave: la lista estructurada de materiales (BOM), que detalla los insumos necesarios para fabricar un producto; los registros actualizados de inventario; y el programa maestro de producción (MPS, por sus siglas en inglés), el cual especifica las cantidades y fechas de producción de los artículos finales.

El funcionamiento de un sistema MRP puede resumirse en tres etapas clave: primero, realiza un cálculo detallado de las necesidades netas de materiales, considerando la demanda planificada y las existencias actuales; en segundo lugar, programa las órdenes de compra o fabricación para satisfacer esas necesidades; y, finalmente, ajusta continuamente los planes en respuesta a variaciones en la demanda o en la disponibilidad de insumos. Este enfoque sistemático permite a las empresas mejorar significativamente la precisión de sus pronósticos de materiales y reducir los tiempos de inactividad por faltas.

Los beneficios de implementar un MRP incluyen la optimización del uso de recursos, la reducción del capital inmovilizado en inventarios y la mejora en los niveles de servicio al cliente. Al automatizar los cálculos de requerimientos y programar las órdenes de manera proactiva, el MRP contribuye a una mayor visibilidad de la cadena de suministro, facilitando la toma de decisiones basadas en datos y promoviendo una respuesta más ágil ante cambios en el mercado.

2.4.2 Características de MRP.

El MRP ofrece una estructura clara para desglosar las necesidades de insumos en el proceso de producción, sin embargo, incorpora varias suposiciones que pueden afectar su eficiencia. En primer lugar, asume que los pronósticos de demanda son precisos y estables, lo cual no contempla la incertidumbre que existe en los mercados volátiles o temporadas de exportación (Smith y Jones, 2018). Esta carencia de manejo de incertidumbre puede llevar a decisiones basadas en datos inexactos, generando exceso de inventario o desabasto de materias primas cruciales, lo cual podría afectar a toda la cadena de producción.

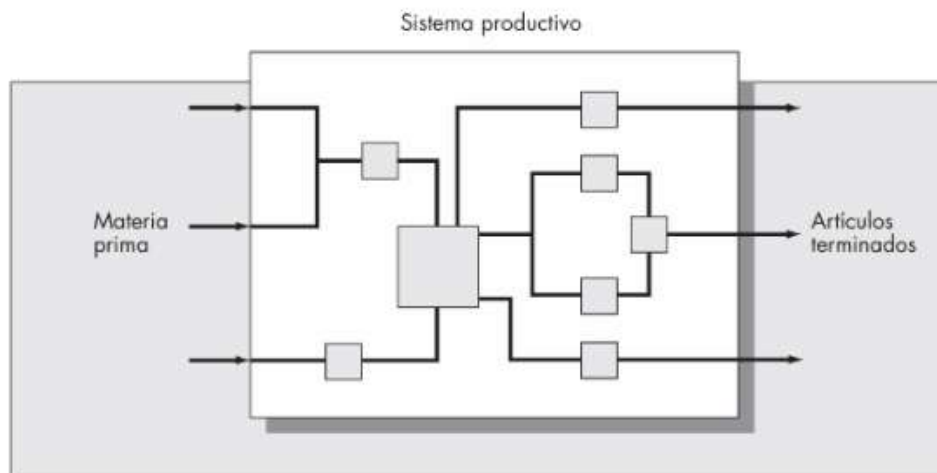
Asimismo, el sistema ignora las restricciones reales de capacidad: se basa en tiempos de entrega y tamaños de lote fijos, sin considerar variaciones por cambios en la planta, fallas inesperadas de equipos o incrementos temporales de la demanda en ciertos mercados. Esta simplificación impide ajustar dinámicamente los programas de producción, lo que puede significar en la práctica cuellos de botella y retrasos en los envíos.

Otra limitación crítica es la ausencia de consideración de pérdidas por defectos o paradas inesperadas en la maquinaria. El MRP no integra mecanismos para estimar scrap o tiempos muertos. Sin este ajuste, los planes de producción pueden quedar cortos y afectar el cumplimiento de los volúmenes proyectados.

La integridad y precisión de los datos constituyen una debilidad, una base de datos errónea—por ejemplo, un BOM equivocado o niveles de inventario erróneos—impacta directamente en el cálculo de necesidades y en la programación de órdenes, provocando desviaciones significativas entre lo planificado y lo real. Estudios han demostrado que una exactitud mínima del 98% en el BOM es esencial para el correcto funcionamiento del MRP (Correll, 2016). En conjunto, estas limitaciones muestran que, pese a ser una metodología consolidada, el MRP requiere complementarse con sistemas de alerta temprana, análisis de escenarios y validaciones periódicas de datos para fortalecer su eficacia.

El MRP constituye la base para transformar un MPS en un detalle exhaustivo de qué y cuánto debe producirse. A partir de los pronósticos de demanda de los bienes terminados, el MRP desglosa de manera precisa las cantidades de componentes y materias primas necesarias, estableciendo sus respectivos horarios de producción y lotes óptimos. Este mecanismo permite, por una parte, optimizar el uso de recursos y minimizar el desperdicio y, por otra, asegurar que los productos finales se fabriquen en el momento y volumen adecuados, alineándose con las expectativas del mercado y los clientes a través de una política “Just in Time” de los productos.

El plan global de producción se organiza en tres subsistemas principales: el MPS, que fija las cantidades y fechas de los artículos terminados; el módulo de cálculo del MRP, encargado de traducir el MPS en necesidades detalladas de insumos; y el Programa de Trabajo del piso de producción, que ordena el arranque de las operaciones y asigna los recursos necesarios en la planta.



**Figura 5. Boceto de flujo de un sistema productivo
(Nahmias, 2007)**

La Figura 5 presenta un diagrama que representa el sistema productivo. En el centro de esta estructura se encuentran los elementos clave: materias primas, componentes y productos terminados. Esta representación permite visualizar cada

área de la operación como un subsistema independiente, cuyas salidas pueden convertirse en entradas para otros procesos dentro de la misma cadena productiva.

Para construir el programa maestro de producción (MPS), se integran múltiples fuentes de información, entre ellas: órdenes confirmadas por los clientes, proyecciones de demanda por producto, niveles requeridos de inventario de seguridad, patrones estacionales y solicitudes internas generadas por otras áreas de la empresa. El MRP transforma esta información en requerimientos detallados de materiales, permitiendo una planificación más dinámica y adaptable frente a fluctuaciones en la demanda o cambios en las condiciones operativas, asegurando al mismo tiempo la trazabilidad y consistencia del flujo de trabajo.

El funcionamiento eficaz del MRP está directamente ligado a la calidad y actualización oportuna de los datos que lo alimentan. Por esta razón, su implementación requiere una fuerte coordinación entre las áreas de producción, mercadotecnia y finanzas. La operación del sistema puede dividirse en tres etapas fundamentales: la consolidación de datos para elaborar el MPS; la emisión de órdenes planeadas a través del MRP; y la elaboración del cronograma detallado de actividades en planta y asignación de recursos. La Figura 6 muestra gráficamente esta secuencia operativa.

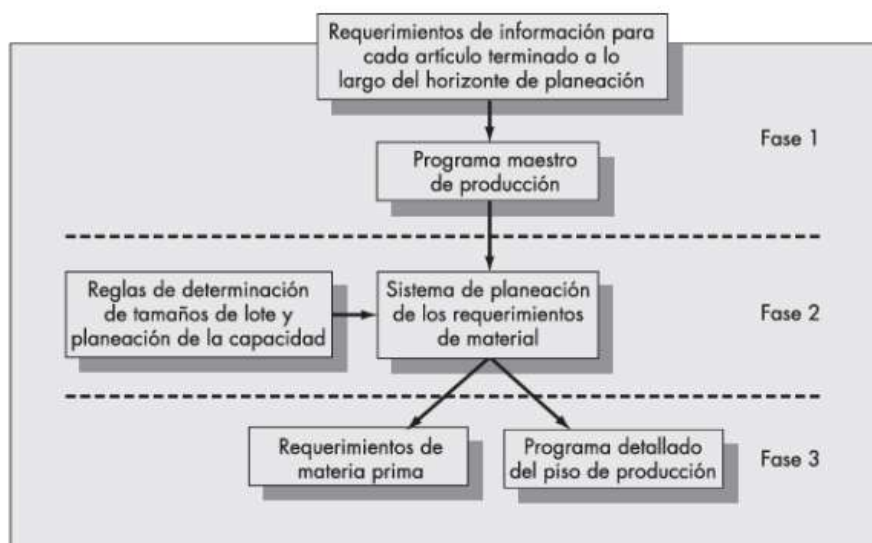


Figura 6. Fases del sistema productivo (Nahmias, 2007)

En términos generales, el sistema MRP permite asegurar la disponibilidad puntual de los materiales requeridos en cada etapa del proceso productivo, evitando interrupciones en la fabricación y mejorando el control sobre los inventarios. Gracias a su enfoque estructurado, este sistema brinda una mayor flexibilidad y visibilidad a lo largo del flujo operativo.

Una de las principales ventajas del MRP se encuentra en sus funcionalidades clave, que lo convierten en una herramienta fundamental para la planificación eficiente de la producción:

- **Cálculo preciso de materiales:** A partir de la lista de materiales (BOM) y el programa maestro de producción (MPS), el MRP determina con exactitud las cantidades necesarias de cada componente, lo que permite ajustar el suministro a las necesidades reales. Este control evita tanto la escasez de insumos como la acumulación innecesaria de existencias.
- **Coordinación del calendario de producción:** El sistema permite armonizar los tiempos de fabricación con los compromisos de entrega y la capacidad operativa disponible. Esto contribuye a sincronizar el uso de recursos como maquinaria, materiales y personal, ajustando la producción a las condiciones reales de operación.
- **Gestión eficiente del inventario:** Mediante la generación automática de órdenes de compra y producción basadas en la demanda proyectada, el MRP facilita el mantenimiento de niveles adecuados de inventario. Esto es especialmente relevante en procesos con múltiples componentes, como la elaboración de vodka de tamarindo, donde se manejan insumos sensibles, envases, etiquetas y empaques secundarios que deben coordinarse con precisión.
- **Monitoreo y trazabilidad de pedidos:** Al consolidar la información operativa en tiempo real, el MRP permite dar seguimiento al avance de cada orden, anticipar posibles demoras y detectar cuellos de botella en el sistema. Esta

capacidad mejora la toma de decisiones en tiempo oportuno y refuerza la capacidad de respuesta ante contingencias.

Para lograr que el MRP funcione correctamente, es esencial contar con datos confiables y actualizados. La precisión en las estimaciones de demanda, los plazos de entrega de los proveedores y los registros de inventario son factores críticos para garantizar la efectividad del sistema. Cualquier error o desactualización puede generar desajustes en el plan de producción y afectar el cumplimiento de los plazos comprometidos con los clientes.

De manera complementaria, es importante analizar cómo se interrelacionan el sistema MRP y la planeación agregada, ya que esta última actúa como la base sobre la cual se construye la planificación específica de los materiales. La planeación agregada parte de una unidad de producción promedio o representativa, lo que permite definir los volúmenes totales que deben producirse y calcular los recursos necesarios para cubrir dicha demanda. Cuando se formula de manera adecuada, esta planificación facilita anticipar el número de trabajadores requeridos por periodo, las cantidades a fabricar y los posibles ajustes necesarios ante variaciones en el comportamiento del mercado.

El objetivo central de la planeación agregada es encontrar un punto de equilibrio entre la capacidad de respuesta frente a la demanda y el control de los costos generados por fluctuaciones en la producción o en la fuerza laboral. En este proceso, cobran relevancia conceptos como la nivelación del ritmo productivo, la detección de limitaciones en la capacidad instalada y la definición de un horizonte de planificación apropiado. Un periodo de planificación demasiado corto puede no captar con precisión la demanda futura, mientras que uno excesivamente extenso puede estar basado en proyecciones poco fiables. Ambos extremos representan riesgos para la efectividad del plan y la coordinación con el sistema MRP.

Tanto el MRP como la planeación agregada actúan de forma complementaria para garantizar una gestión eficiente de la producción, permitiendo a las empresas anticiparse a las necesidades del mercado, optimizar sus recursos y mantener su competitividad.

2.4.3 Costos de MRP.

En el contexto del sistema MRP, el análisis de costos desempeña un papel fundamental para valorar la factibilidad de las decisiones tomadas durante la planificación y su repercusión en la salud financiera de la organización. Si bien este enfoque opera bajo el supuesto de que la demanda es conocida y constante, lo que permite simplificar el cálculo de requerimientos, también genera ciertos costos asociados que deben ser considerados cuidadosamente. La correcta identificación y cuantificación de estos costos es clave para asegurar que el sistema funcione con eficacia y aporte valor real a la operación.

En primer lugar, al no considerar la incertidumbre inherente a cualquier pronóstico de demanda, el MRP puede generar planes que, bajo condiciones reales de variabilidad, conduzcan a desviaciones significativas entre lo planificado y lo realmente requerido, comprometiendo la exactitud de la programación y aumentando potencialmente los costos asociados con ajustes de última hora. Por otro lado, la suposición de certidumbre actúa como fortaleza cuando los pronósticos son altamente confiables, pues permite una planificación más estructurada y un control riguroso de los recursos.

Más allá de estas consideraciones generales, los costos específicos que impactan directamente en un sistema MRP se clasifican de la siguiente manera:

- **Costos de suavizamiento:** relacionados con los ajustes en los niveles de producción de un periodo a otro. El componente más significativo es el costo de modificar el tamaño de la fuerza laboral (contrataciones y despidos), aunque también pueden considerarse impactos en la moral del personal y en la disponibilidad futura de mano de obra.
- **Costos de mantenimiento de inventario:** asociados al capital inmovilizado en inventarios. Reducir el stock disponible puede liberar recursos financieros que podrían invertirse en otras áreas de la empresa, mejorando el rendimiento global.

- **Costos por faltantes:** se generan cuando la demanda real supera la capacidad de producción planificada o los niveles de inventario disponibles, ocasionando rupturas de stock que pueden derivar en penalizaciones, pérdida de ventas y deterioro de la satisfacción del cliente.
- **Costos de producción en tiempo regular y extra:** incluyen el costo por unidad fabricada durante el horario normal de operaciones, así como los recargos asociados al tiempo extra y a la posible subcontratación para cubrir demandas urgentes, ambos importantes para evaluar el trade-off entre rapidez de respuesta y coste unitario.

La correcta identificación, cuantificación y monitoreo de estos costos es fundamental para ajustar los parámetros del MRP y optimizar el equilibrio entre disponibilidad de material y eficiencia financiera. Solo así el MRP podrá contribuir de manera sostenida a mejorar los indicadores operativos y económicos de la organización (Nahmias, 2007).

2.4.4 Estudios de investigación de MRP.

Durante los últimos años, la planificación de requerimientos de materiales (MRP) se ha consolidado como un componente esencial en la coordinación entre las actividades de producción y el abastecimiento de insumos. Diversas investigaciones han contribuido al entendimiento y evolución de este sistema:

Werth y Karder (2023) destacaron que el desempeño de los sistemas modernos de manufactura depende ampliamente del uso de estrategias automatizadas de planificación, como el MRP. Señalan que la simulación avanzada por computadora representa una herramienta poderosa para analizar procesos productivos, ya que permite evaluar indicadores clave sin afectar las operaciones en curso.

Por su parte, Lahrichi et al. (2023) analizaron diferentes enfoques para programar órdenes de producción que buscan cumplir con la demanda del cliente. Su estudio enfatiza el uso de algoritmos de optimización que, basados en pronósticos previos,

ajustan los parámetros del sistema a las condiciones particulares de cada entorno industrial.

Damand et al. (2022) abordaron el modelo DDMRP (Demand Driven MRP), el cual introduce una fórmula de flujo neto (NFE) para decidir cantidades y tiempos de reposición. Su investigación aplicó técnicas de optimización multiobjetivo que buscan equilibrar la reducción de inventario con el cumplimiento eficiente de las entregas.

Shadeghian et al. (2011) propusieron una variante denominada CMRP (Continuous MRP), como una alternativa al enfoque clásico discreto. Este modelo elimina el uso de inventarios de seguridad y emplea lotificación L4L (lote a lote), ofreciendo mayor flexibilidad para responder a demandas que ocurren en intervalos irregulares.

En otro contexto, Andwiyan et al. (2017) evaluaron la efectividad del MRP en la gestión de inventarios de productos terminados dentro de una empresa en expansión. Utilizando herramientas como el análisis ABC y el cálculo de cantidades económicas de pedido (EOQ), lograron identificar niveles óptimos de inventario para mejorar la eficiencia operativa.

Barrios et al. (2020), en un enfoque más estocástico, desarrollaron un modelo que toma en cuenta la variabilidad de la demanda para minimizar el costo total asociado a inventarios y faltantes. A través de simulaciones y heurísticas, demostraron que una correcta definición de inventarios de seguridad puede generar ahorros significativos.

Dogadina et al. (2019) presentaron un modelo de planificación avanzada para pequeñas industrias manufactureras, basado en principios de optimización sincrónica. Este modelo se enfoca en permitir reprogramaciones ágiles frente a imprevistos, como fallos de maquinaria o mantenimientos extensos.

Finalmente, Kretschmer y Wings (2023) resaltaron el papel de la automatización y digitalización en ambientes logísticos complejos, donde la diversidad de operaciones exige una gestión eficiente de los flujos de materiales e información. Subrayan que los sistemas de tecnologías de la información aplicados a la logística

son cruciales para garantizar entregas confiables y flexibles, especialmente en entornos altamente personalizados.

2.5 Programación de actividades.

2.5.1 Introducción a la programación de actividades.

La programación de actividades constituye un elemento fundamental dentro del control operativo, tanto en el ámbito manufacturero como en el sector servicios. Conforme aumentan las exigencias del mercado en relación con los tiempos de entrega, la capacidad de respuesta y la satisfacción del cliente, se vuelve imprescindible contar con sistemas de programación más precisos, flexibles y orientados a la eficiencia. En este sentido, la gestión adecuada del calendario de producción se consolida como una función clave para mantener la competitividad organizacional.

Diversas herramientas analizadas previamente —como la planeación agregada— forman parte del marco general de la programación, ya que establecen las bases para definir el volumen y la estructura de producción en un nivel estratégico. Mientras la planeación agregada determina políticas globales de capacidad y utilización del personal, la programación de actividades convierte dichas directrices en decisiones operativas específicas que deben ejecutarse día a día en el piso de producción (Box et al., 2015; Heizer y Render, 2022).

La programación eficiente de actividades juega un papel fundamental al equilibrar las demandas del cliente con las capacidades de producción, un desafío que se ha intensificado debido a la creciente competencia y la globalización (Russell y Taylor, 2020). En particular, los avances en la tecnología y el uso de software de planificación avanzada han permitido una mayor precisión en la programación, lo que lleva a una mejora en la productividad y en la utilización de recursos (Pérez et al., 2018).

2.5.2 Programación de la producción y jerarquía de las decisiones de producción.

Una planificación detallada de las distintas dimensiones de la función productiva resulta fundamental para administrar eficientemente las operaciones dentro de una organización. Este proceso puede entenderse como una estructura jerárquica, como se ilustra en la Figura 7. El primer paso consiste en proyectar la demanda agregada para un determinado horizonte temporal, lo cual permite establecer objetivos de producción generales y estimar los recursos humanos requeridos para cubrir dicha demanda. A partir de esta estimación, se desarrolla el plan de producción agregada, el cual se traduce posteriormente en el programa maestro de producción (MPS), que especifica con mayor precisión las cantidades y los tiempos para cada producto en particular (Nahmias, 2007; Stevenson, 2020).



Figura 7. Orden de actividades (Nahmias, 2007)

El Programa Maestro de Producción (MPS) define metas específicas de producción para cada artículo y período, sirviendo como vínculo entre la planeación agregada y la ejecución operativa. A partir de este programa, el sistema de Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP) calcula las necesidades de inventario para cumplir con las cantidades programadas de productos terminados. El MRP realiza un desglose retrospectivo del plan establecido en el MPS, determinando qué subensambles y componentes deben producirse o adquirirse, y en qué momentos, para abastecer cada etapa del proceso productivo (Nahmias, 2007; Heizer y Render, 2022).

Este análisis genera órdenes detalladas de liberación para los productos finales, así como para los distintos niveles de componentes que forman parte del producto. Dichas órdenes deben transformarse en instrucciones específicas de trabajo, lo que da origen a la programación del piso de producción. Esta etapa final de planificación involucra la asignación de tareas al personal y a los recursos técnicos disponibles, con el fin de garantizar el cumplimiento de los tiempos establecidos, minimizar ineficiencias y evitar interrupciones operativas. Cabe destacar que, debido a la dinámica del entorno y a los ajustes recomendados por el propio sistema MRP, los programas en planta suelen modificarse con frecuencia. La Figura 8 representa este flujo de transformación, desde el plan maestro hasta la ejecución en el taller (Stevenson, 2020; Russell y Taylor, 2020).

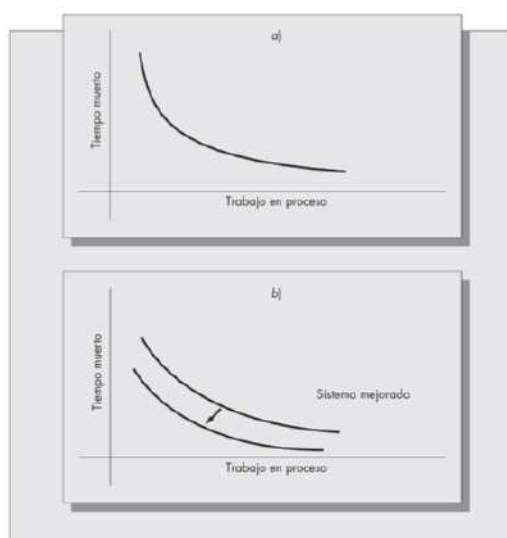


Figura 8. Sistema mejorado (Nahmias, 2007)

2.5.3 Estudios de investigación.

En años recientes, se han desarrollado diversos enfoques innovadores para mejorar la programación de actividades en entornos productivos, abordando desde la eficiencia operativa hasta aspectos de sostenibilidad y digitalización.

Gao et al. (2023) destacaron la importancia de implementar etapas de producción piloto en sistemas de manufactura, como medida para calibrar líneas antes de pasar a la producción masiva. Su investigación abordó familias de tareas con tiempos de configuración en máquinas paralelas idénticas, proponiendo una estrategia de programación multitarea orientada a minimizar el tiempo total ponderado de finalización. Para resolver este problema, se introdujo un algoritmo de ramificación y precio (Gupta y Soni, 2023).

Por su parte, Qasim et al. (2023) abordaron la creciente necesidad de incorporar criterios de sostenibilidad ambiental en la planificación de la producción. En su análisis, subrayaron que enfoques que excluyen parámetros ecológicos pueden derivar en impactos negativos, resaltando la tendencia hacia modelos enfocados en eficiencia energética y reducción de emisiones (Zhang et al., 2021).

Jazi et al. (2022) desarrollaron un modelo matemático que incorpora tanto políticas de mantenimiento a largo plazo como condiciones operativas de corto plazo. Su propuesta busca minimizar una combinación de costos de mantenimiento (preventivo y correctivo), configuración, demoras y penalizaciones por inventarios de seguridad. La validación se realizó mediante simulaciones numéricas (Wang et al., 2021).

Ding et al. (2023) exploraron el problema clásico de programación de talleres (job shop scheduling) y diseñaron un sistema adaptativo utilizando un modelo de cadena de Markov para estimar la confiabilidad operativa en entornos automatizados. Su propuesta mostró resultados prometedores en escenarios reales (Chaudhuri y Ray, 2022).

Artelt (2023) propuso un enfoque de programación dinámica fundamentado en el uso del Gemelo Digital, incorporando arquitecturas orientadas a servicios que

permiten automatizar la asignación de recursos y sincronizar el sistema de producción con calendarios personalizados para cada producto (Bauer et al., 2021).

En el ámbito de la fabricación aditiva, Baumung y Fomin (2019) implementaron modelos de aprendizaje automático (Machine Learning, ML) para mejorar la predicción de los tiempos de procesamiento, logrando con ello un incremento significativo en la eficiencia de entornos de manufactura avanzada (Wang y Zhang, 2020).

Por su parte, Bdair et al. (2023) realizaron una comparación entre dos técnicas de optimización —la programación lineal (LP) y la optimización por enjambre de partículas (PSO)— concluyendo que esta última permitió reducir de forma notable la duración total del proyecto respecto a la LP (Zhang et al., 2022).

Asimismo, Basari et al. (2011) exploraron la aplicación de modelos de Markov para cuantificar los costos asociados a los tiempos de inactividad. En un estudio de caso enfocado en la producción de una bebida de tamarindo, se demostró que la reducción de fallas en maquinaria conlleva una disminución directa de los costos por paros (Zhao et al., 2019).

En el contexto de la gestión de programas complejos, Malone (2023) analizó la implementación de Programas Maestros Integrados (Integrated Master Schedules, IMS), los cuales facilitan la estructuración visual y el seguimiento del alcance total de un proyecto. En entornos como los del Departamento de Defensa de Estados Unidos, se destacó la importancia de incorporar el análisis de riesgos dentro de la planificación como una práctica esencial para asegurar la ejecución efectiva (Yang y Li, 2022).

Alam (2019) propuso un sistema de gestión de proyectos basado en la web, desarrollado sobre plataformas de código abierto, que combina herramientas clásicas como CPM y PERT con sistemas de información geográfica (GIS) para mejorar la supervisión y trazabilidad visual de proyectos (Miller y Murphy, 2021).

Xia et al. (2021) desarrollaron el algoritmo TEDF (Time Merging Earliest Deadline First), el cual fusiona múltiples ventanas de tiempo para mejorar la puntualidad en

sistemas de programación en tiempo real, mostrando mejoras sustanciales en la eficiencia de entornos complejos (Kim et al., 2020).

Por último, Tenjo-García y Figueroa-García (2019) aplicaron simulación difusa a problemas PERT con tiempos de actividad inciertos. Su enfoque permitió explorar diferentes configuraciones de rutas críticas bajo condiciones de incertidumbre temporal, mejorando la toma de decisiones en proyectos de alta variabilidad (Díaz y Pérez, 2022).

2.6. Ventaja competitiva.

2.6.1. Teoría de la ventaja competitiva y su aplicación en el comercio internacional.

La **teoría de la ventaja competitiva**, desarrollada por Michael Porter (1987), constituye un marco de referencia fundamental para comprender cómo las empresas pueden alcanzar un desempeño superior de manera sostenida. Esta teoría plantea que las organizaciones capaces de identificar, desarrollar y mantener ventajas competitivas —ya sea a través del liderazgo en costos, la diferenciación o el enfoque estratégico— se encuentran en una posición más favorable para consolidarse y expandirse hacia mercados internacionales. Porter destaca que dichas ventajas no surgen únicamente del posicionamiento en el mercado, sino también de la optimización interna de los procesos, la eficiencia en costos, la innovación tecnológica y la gestión de la calidad.

Uno de los elementos centrales de este planteamiento es la **cadena de valor**, herramienta que descompone a la empresa en sus actividades estratégicamente relevantes con el fin de identificar los puntos donde puede generarse ventaja competitiva (Porter, 1987). Este modelo permite analizar de forma detallada cada eslabón del proceso productivo —desde la adquisición de materias primas hasta la entrega final al cliente— para detectar oportunidades de mejora, ahorro y diferenciación que fortalezcan el posicionamiento de la organización en su sector.

Otro concepto clave es el **análisis de costos**, el cual permite determinar en qué actividades la empresa incurre en mayores costos y cómo estos pueden ser reducidos o gestionados eficientemente sin sacrificar la calidad del producto. En este sentido, la relación entre eficiencia operativa y capacidad exportadora se vuelve directa: la reducción sistemática de costos internos amplía el margen de rentabilidad al ingresar a nuevos mercados y aumenta la competitividad frente a actores globales.

En el contexto de pequeñas y medianas empresas, estos conceptos adquieren especial relevancia. Aunque las Pymes suelen tener recursos limitados, también gozan de mayor flexibilidad organizativa, lo cual facilita la adopción de modelos como la cadena de valor. Según Kharub et al. (2019), la implementación efectiva de herramientas operativas y la gestión eficiente de recursos son componentes fundamentales para que las Pymes construyan una ventaja competitiva sostenible que les permita internacionalizarse.

En el caso particular de la empresa objeto de este proyecto —una Pyme mexicana dedicada a la elaboración de vodka de tamarindo—, se propone la aplicación de herramientas como pronósticos de demanda, planeación agregada y MRP para optimizar los procesos productivos, reducir desperdicios y mejorar los tiempos de respuesta. Estos ajustes permitirán disminuir los costos operativos e incrementar la eficiencia en planta, generando una ventaja competitiva basada en costos. Esta estrategia se alinea directamente con la visión de Porter, quien destaca que la eficiencia operativa es una de las fuentes más poderosas para lograr un posicionamiento favorable en mercados internacionales (Porter, 1987; Porter y Kramer, 2011).

2.6.2. Estudios de investigación.

Diversos estudios han demostrado cómo la implementación de la teoría de la ventaja competitiva, especialmente bajo el enfoque de eficiencia operativa y análisis de costos, permite a las empresas acceder y competir exitosamente en mercados internacionales.

Por ejemplo, Rúa et al. (2018) realizaron un estudio con 238 Pymes exportadoras en Portugal y encontraron que aquellas que adoptaron estrategias de diferenciación y liderazgo en costos mejoraron significativamente su rendimiento exportador. Otro caso es el de Nyuu et al. (2020), quienes analizaron a más de 300 Pymes africanas y concluyeron que la ventaja competitiva —en particular la basada en recursos y reducción de costos— tiene un efecto directo sobre el desempeño en mercados exteriores.

En Asia, Khan et al. (2021) analizaron a Pymes manufactureras de Pakistán y hallaron que la aplicación de prácticas de gestión basadas en la cadena de valor tuvo un impacto positivo en la internacionalización, especialmente cuando se adoptan estrategias de reducción de costos operativos.

En el contexto latinoamericano, Heredia Pérez, Geldes, Kunc y Flores (2023) llevaron a cabo un análisis sobre empresas exportadoras en Perú, México, Chile y Brasil. El estudio mostró que la implementación de estrategias competitivas, incluyendo liderazgo en costos y orientación al mercado, incide significativamente en el desempeño exportador de las Pymes, mediado por factores institucionales y el enfoque de mercado de la empresa (Heredia Pérez et al., 2023).

En África emergente, un estudio de Süreş et al. (2024) reveló que las Pymes que aplican estrategia de liderazgo en costos —a través de gestión innovadora y enfoque en costos bajos— mejoran notablemente su rendimiento exportador y capacidad de competir internacionalmente, sobre todo cuando combinan estas prácticas con capacidad de innovación (Süreş et al., 2024).

Capítulo 3. Metodología del estudio de caso

3.1. Matriz de congruencia de variables.

En este apartado se presenta la relación entre los objetivos del proyecto, las variables clave de estudio, los métodos aplicados y los instrumentos utilizados. La matriz permite visualizar la coherencia interna del diseño metodológico.

<i>Elemento</i>	<i>Descripción</i>
<i>Planteamiento del Problema</i>	La empresa Drinks and Beverages International, dedicada a la producción de vodka de tamarindo, enfrenta dificultades para gestionar sus operaciones productivas y logísticas de forma eficiente, lo que compromete su competitividad frente a mercados internacionales. La falta de precisión en pronósticos de demanda, ineficiencias en la planeación de producción y gestión de inventarios impiden consolidar su presencia en el exterior.
<i>Pregunta de Investigación</i>	¿Cómo puede una Pyme productora de bebidas destiladas optimizar sus operaciones mediante técnicas cuantitativas para reducir costos y mejorar su competitividad internacional?
<i>Objetivo General</i>	Optimizar la gestión de operaciones de una Pyme del sector de bebidas destiladas mediante la aplicación de modelos cuantitativos de pronóstico, planeación agregada, MRP y programación, con el fin de reducir costos y facilitar su inserción en mercados internacionales.
<i>Marco Teórico</i>	Teoría de la Ventaja Competitiva (Porter, 1987), Cadena de Valor (Porter, 1985), Gestión de la Cadena de Suministro (Christopher, 2016), Planeación de Requerimientos de Materiales (MRP), Pronósticos, Planeación Agregada y Programación de Operaciones.
<i>Hipótesis</i>	La aplicación integrada de herramientas cuantitativas de gestión operativa reduce los costos totales de operación, mejora los indicadores de productividad y eleva la competitividad internacional de una Pyme del sector de bebidas destiladas.

<i>Variable</i>	<i>Dimensión</i>	<i>Indicadores</i>
<i>Gestión operativa</i>	Precisión del pronóstico	MAPE, MAD, tracking signal
<i>Gestión operativa</i>	Planeación agregada	Costos totales, número de empleados contratados/despuestos, niveles de inventario
<i>Gestión operativa</i>	Eficiencia del MRP	Tiempos de entrega, requerimientos netos, cumplimiento de fechas
<i>Gestión operativa</i>	Programación de actividades	Utilización de maquinaria, eficiencia del tiempo en planta
<i>Reducción de costos</i>	Costos de operación	Costos por unidad, costos de inventario, costos laborales, costos de producción
<i>Competitividad internacional</i>	Preparación logística-exportadora	Capacidad instalada, gestión de inventarios, coordinación operativa para demanda internacional
<i>Competitividad internacional</i>	Ventaja competitiva	Reducción de costos sostenida, eficiencia operativa, diferenciación mediante cumplimiento logístico

3.2. Métodos.

Se utilizaron cuatro métodos cuantitativos para abordar distintos aspectos del proceso productivo:

1. **Pronóstico de demanda:** Aplicación de tres técnicas —promedio móvil, suavizamiento exponencial y regresión lineal— para estimar la demanda de vodka de tamarindo en un horizonte de seis meses.
2. **Planeación agregada:** Modelado de dos estrategias (fuerza de trabajo constante y método de persecución) para planificar la producción, el personal y los inventarios, evaluando los costos asociados.
3. **Planificación de Requerimientos de Materiales:** Cálculo de requerimientos netos de componentes del producto mediante estructura de producto, tiempos de entrega y reglas de dimensionamiento de lotes.
4. **Programación de actividades:** Balanceo de línea por método de peso posicional clasificado para optimizar la secuencia y asignación de tareas en la planta.

3.3. Instrumentos.

El principal instrumento de análisis fue el software WinQSB, utilizado en sus diferentes módulos:

- Forecasting and Linear Regression: para calcular pronósticos con base en datos históricos.
- Aggregate Planning: para modelar la producción y evaluar distintos esquemas de trabajo.
- Material Requirements Planning (MRP): para coordinar el suministro de insumos clave y calcular órdenes planeadas.
- Line Balancing: para mejorar la distribución de tareas en el proceso de producción y envasado.

Los datos de entrada fueron obtenidos de registros históricos de ventas, tiempos de proceso e inventarios proporcionados por la empresa productora del vodka de tamarindo. La integración de estas herramientas permitió evaluar distintas alternativas sin necesidad de interrumpir la operación actual.

Capítulo 4. Análisis de resultados.

El interés por el producto (vodka de tamarindo) surge debido a su gran popularidad a nivel nacional, lo que impulsa al máximo a aprovechar los recursos destinados a producir este producto. El vodka de tamarindo no solo destaca por su popularidad si no por su constante y alta demanda en el sector. En la Figura 9 podemos ver el envase del producto en cuestión, tiene una única presentación de 750 ml, destinado para venta a revendedores (Bodegas Alianza, Bodega Aurrera, etc.)



Figura 9. Vadok

4.1. Resultados de pronósticos.

En este capítulo se verán los resultados de las técnicas de pronósticos con datos reales de la empresa, a continuación, en la Tabla 1, se observan los más recientes datos de ventas del vodka de tamarindo, estos datos datan de septiembre de 2022 hasta febrero de 2025, estos son 30 meses de datos. Esta información fue obtenida de los registros de la empresa.

Demanda de vodka de tamarindo		
Período	Mes	Litros vendidos
1	sep-22	1089.75
2	oct-22	847.50
3	nov-22	905.25
4	dic-22	1221.75
5	ene-23	840.00
6	feb-23	1005.00
7	mar-23	1037.25
8	abr-23	1159.50
9	may-23	997.50
10	jun-23	1014.00
11	jul-23	1079.25
12	ago-23	1287.00
13	sep-23	1331.25
14	oct-23	1086.75
15	nov-23	1174.50
16	dic-23	1578.75
17	ene-24	1033.50
18	feb-24	1267.50
19	mar-24	1308.75
20	abr-24	1463.25
21	may-24	1294.50
22	jun-24	1339.50
23	jul-24	1378.50
24	ago-24	1598.25
25	sep-24	1785.00
26	oct-24	1389.75
27	nov-24	1440.75
28	dic-24	1949.25
29	ene-25	1360.50
30	feb-25	1608.00

Tabla 1. Demanda (en litros) del vodka de tamarindo.

4.1.1 Apertura e introducción de datos en el WinQSB.

Para llevar a cabo el análisis de pronóstico, se emplearán tres técnicas estadísticas fundamentales:

1. Promedio móvil (MA)

$$\hat{Y}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{t-i}$$

Donde:

\hat{Y}_t es la demanda pronosticada para el periodo t , y n es el número de periodos considerados.

2. Suavizamiento exponencial simple con tendencia (SEST)

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

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

$$\hat{Y}_{t+h} = L_t + hT_t$$

Donde L_t es el nivel estimado, T_t es la tendencia estimada, y α , β son parámetros de suavizamiento.

3. Regresión lineal utilizando el tiempo como variable independiente

$$Y = a + bX$$

Donde Y es la demanda estimada, X representa el tiempo, a es la ordenada al origen, y b es la pendiente.

El procedimiento para aplicar estos métodos en el software WinQSB es el siguiente:

- Iniciar el programa WinQSB desde el entorno operativo correspondiente.
- Seleccionar el módulo "Forecasting and Linear Regression" en el menú principal.

- Una vez dentro del módulo, se desplegará una interfaz similar a la ilustrada en la Figura 10, donde será posible comenzar el ingreso de datos históricos de demanda para aplicar las técnicas mencionadas.

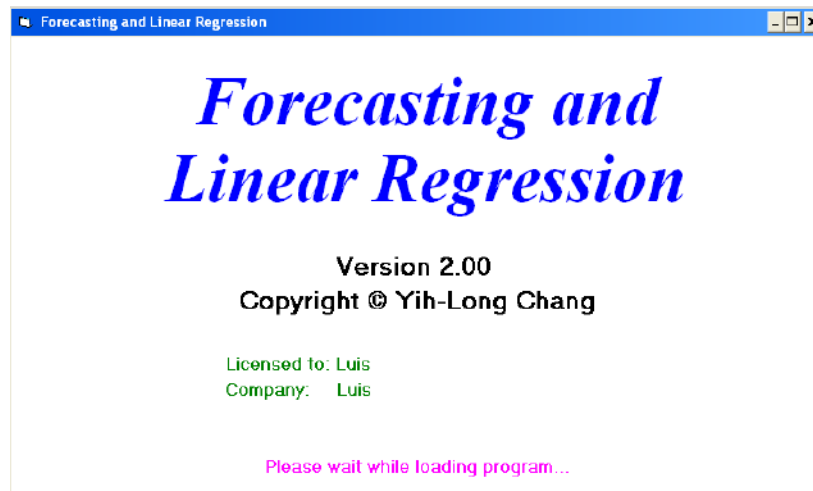


Figura 10. Pantalla de inicio de Forecasting and Linear Regression

- Ingresar el nombre del artículo o materia prima a analizar, definir la unidad temporal del análisis (en este caso, meses) y establecer la cantidad de períodos de los cuales contamos con los datos y dejar definido que queremos hacer "Time series forecasting" qué son las series. Una vez completada esta información, hacer clic en el botón "OK", como se muestra en la Figura 11, para proceder al ingreso de los datos históricos.

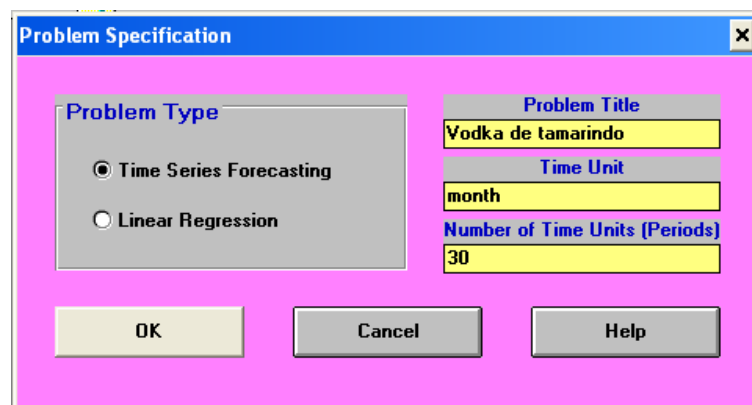


Figura 11. Configuración inicial

- El programa nos presentará una tabla, como el de la Tabla 2 con el número de periodos que le hemos indicado y se tendrá que llenar de manera manual todos los datos

Month	Historical Data
1	1089.75
2	847.5
3	905.25
4	1221.75
5	840
6	1005
7	1037.25
8	1159.5
9	997.5
10	1014
11	1079.25
12	1287
13	1331.25
14	1086.75
15	1174.5
16	1578.75
17	1033.5
18	1267.5
19	1308.75
20	1463.25

**Tabla 2. Introducción de los datos de
demanda**

4.1.2 Promedio móvil (MA).

Se planean pronosticar **seis periodos** posteriores a nuestros datos. Para esto hay que hacer clic en el botón “Run” que tiene la forma de un muñequito corriendo y que de manera inmediata abre la ventana que vemos a continuación en la Figura 12, donde seleccionaremos el método, número de periodos y asignaremos un valor **N=6**, con el fin de reflejar el comportamiento medio reciente en el último semestre. También se puede elegir N=3 más reactivo, pero más sensible al ruido (útil si hay cambios rápidos en la demanda), o N=12 suaviza mucho más, útil si hay estacionalidades anuales claras (como diciembre o septiembre), pero puede ignorar cambios recientes.

The image shows a 'Forecasting Setup' dialog box with the following configuration:

- Forecasting Method:**
 - ☐ Simple average (SA)
 - ☒ Moving average (MA)
 - ☐ Weighted moving average (WMA)
 - ☐ Moving average with linear trend (MAT)
 - ☐ Single exponential smoothing (SES)
 - ☐ Single exponential smoothing with trend (SEST)
 - ☐ Double exponential smoothing (DES)
 - ☐ Double exponential smoothing with trend (DEST)
 - ☐ Adaptive exponential smoothing (AES)
 - ☐ Linear regression with time (LR)
 - ☐ Holt-Winters Additive Algorithm (HWA)
 - ☐ Holt-Winters Multiplicative Algorithm (HWM)
- Method Parameters:**
 - ☒ Assign values
 - ☐ Search the best
- Search Criterion:**
 - ☒ MAD
 - ☐ CFE
 - ☐ MSE
 - ☐ MAPE
- Number of periods to forecast:** 6
- Number of periods in average:** 6
- (Not used)** (5 instances)
- Specify Initial Seasonal Indices** (button)
- Enter Search Domain** (button)
- ☒ Retain other method's result
- OK** (button)
- Cancel** (button)
- Help** (button)

Figura 12. Promedio móvil

La Tabla 3 muestra una matriz con los resultados junto con su MAD, MAPE, Señal de seguimiento, etc.

05-20-2025 Month	Actual Data	Forecast by 6-MA	Forecast Error	CFE	MAD	MSE	MAPE (%)	Tracking Signal	R-square
1	1089.75								
2	847.5								
3	905.25								
4	1221.75								
5	840								
6	1005								
7	1037.25	984.875	52.375	52.375	52.375	2743.141	5.049409	1	
8	1159.5	976.125	183.375	235.75	117.875	18184.77	10.43221	2	
9	997.5	1028.125	-30.625	205.125	88.79166	12435.81	7.978197	2.310183	
10	1014	1043.5	-29.5	175.625	73.96875	9544.418	6.710965	2.374314	0.6750032
11	1079.25	1008.875	70.375	246	73.25	8626.063	6.672919	3.358362	0.9129996
12	1287	1048.75	238.25	484.25	100.75	16648.9	8.646106	4.806452	0.7196633
13	1331.25	1095.75	235.5	719.75	120	22193.38	9.938111	5.997917	0.7778385
14	1086.75	1144.75	-58	661.75	112.25	19839.7	9.362974	5.895323	0.7023941
15	1174.5	1132.625	41.875	703.625	104.4306	17830.13	8.718793	6.737731	0.7567284
16	1578.75	1162.125	416.625	1120.25	135.65	33404.75	10.48587	8.258386	0.5664857
17	1033.5	1256.25	-222.75	897.5	143.5682	34878.64	11.49197	6.251385	0.4753338
18	1267.5	1248.625	18.875	916.375	133.1771	32001.78	10.6584	6.880876	0.5309193
19	1308.75	1245.375	63.375	979.75	127.8077	29849.06	10.21102	7.665814	0.5768597
20	1463.25	1241.625	221.625	1201.375	134.5089	31225.38	10.56352	8.931563	0.5859612
21	1294.5	1304.375	-9.875	1191.5	126.2	29150.19	9.910143	9.441363	0.6336267
22	1339.5	1324.375	15.125	1206.625	119.2578	27342.61	9.361331	10.11779	0.6841457
23	1378.5	1284.5	94	1300.625	117.7721	26253.98	9.211782	11.04358	0.7079455
24	1598.25	1342	256.25	1556.875	125.4653	28443.43	9.590748	12.40881	0.6699315
25	1785	1397.125	387.875	1944.75	139.2763	34864.67	10.22964	13.96325	0.5934497
26	1389.75	1476.5	-86.75	1858	136.65	33497.71	10.03026	13.59678	0.6547855
27	1440.75	1464.25	-23.5	1834.5	131.2619	31928.88	9.630302	13.97588	0.7040128
28	1949.25	1488.625	460.625	2295.125	146.233	40121.91	10.26669	15.69499	0.6016344
29	1360.5	1590.25	-229.75	2065.375	149.8641	40672.48	10.55454	13.78165	0.6625002
30	1608	1587.25	20.75	2086.125	144.4844	38995.73	10.16854	14.43841	0.7090709
31		1588.875							
32		1588.875							
33		1588.875							
34		1588.875							
35		1588.875							
36		1588.875							
CFE		2086.125							
MAD		144.4844							
MSE		38995.73							
MAPE		10.16854							
Trk.Signal		14.43841							
R-square		0.7090709							
		m=6							

Tabla 3. Resultados de MA

En la Figura 13 podemos observar los resultados obtenidos de la técnica de pronósticos de suavizamiento exponencial. El cual reporta un MAPE de 10.16%, lo cual indica un nivel bajo de error en los pronósticos y sugiere una buena capacidad predictiva. Pero, también observamos que el valor de la señal de seguimiento es de 14.43, el cual supera el umbral de 4, lo que implica que existen sesgos acumulados en los errores de pronóstico, haciendo que este modelo no sea considerado aceptable en su estado actual.

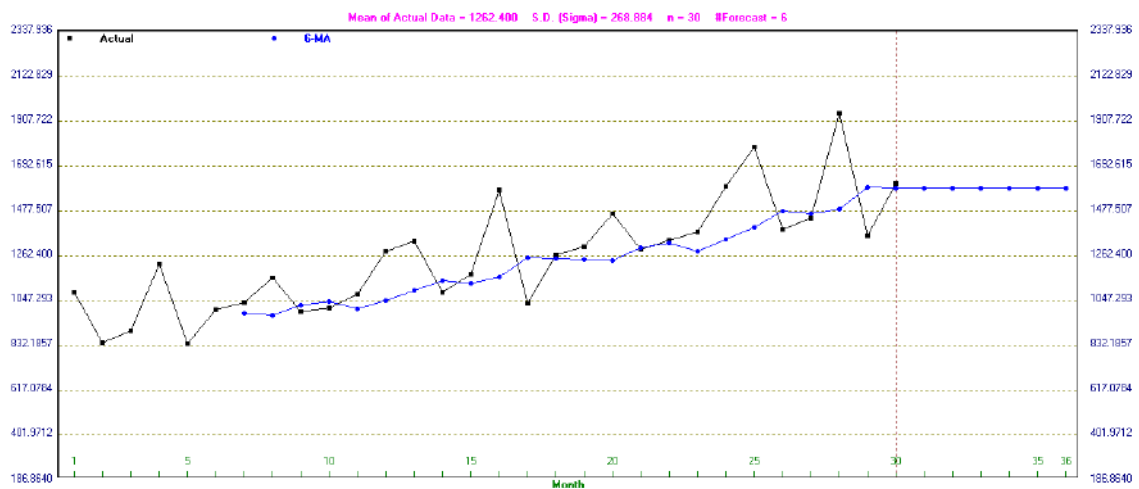


Figura 13. Gráfica con resultados

4.1.3 Regresión lineal con el tiempo.

Mediante la herramienta de gráficos de Excel nos es posible graficar y visualizar la línea de tendencia, como la que se puede apreciar en la Figura 14, además de que nos proporciona la ecuación de dicha línea de tendencia.

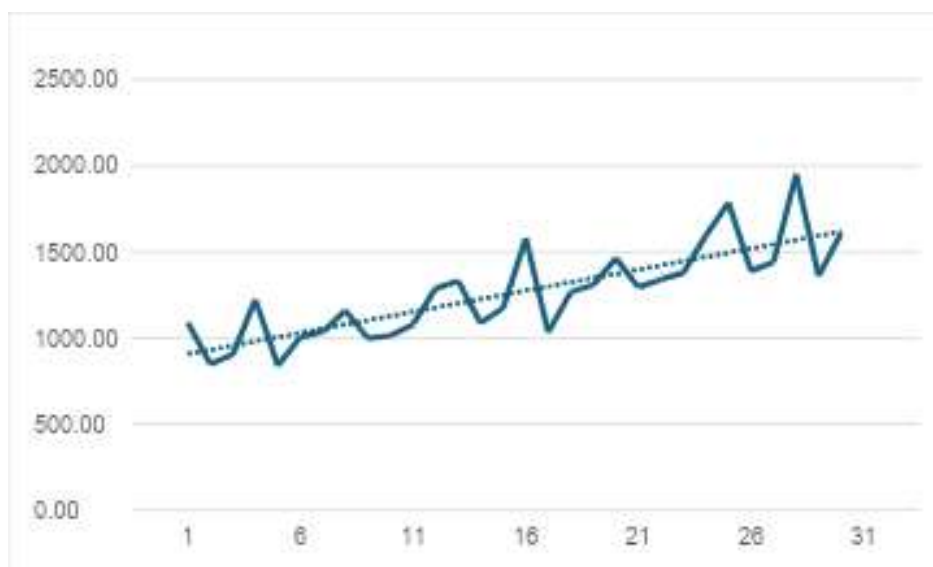


Figura 14. Línea de tendencia

La ecuación representa el nivel de tendencia de los datos, y se representa con la ecuación de la recta.

$$y = mx + b$$

Donde:

- “y” representa el valor en litros vendidos.
- “m” es la pendiente, también conocida como “slope” y es la tasa de cambio en función del tiempo.
- “x” es el periodo de tiempo.
- “b” es el corte de la gráfica con el eje de las y

Y que en nuestro pronóstico toma los siguientes valores

$$y = 24.53x + 882.16$$

Esta fórmula resulta esencial para proyectar valores futuros, ya que será utilizada por el software para generar estimaciones correspondientes a los próximos seis meses. En la ecuación obtenida, únicamente se debe reemplazar la variable **x** por el número del periodo deseado, mientras que **y** representará la cantidad estimada de litros de vodka de tamarindo que se prevé vender en ese mes.

La **pendiente** de la recta adquiere un papel crucial dentro del modelo, ya que indica la dirección y el ritmo de cambio. Una pendiente positiva sugiere un crecimiento sostenido en las ventas a lo largo del tiempo, mientras que una negativa señala una tendencia decreciente.

Para aplicar este modelo, se siguen los mismos pasos realizados con el método anterior. En la tabla donde se ingresaron los datos históricos, se selecciona nuevamente el botón “**Run**”, y luego se cambia al método de **regresión lineal**, como se muestra en la Figura 15.

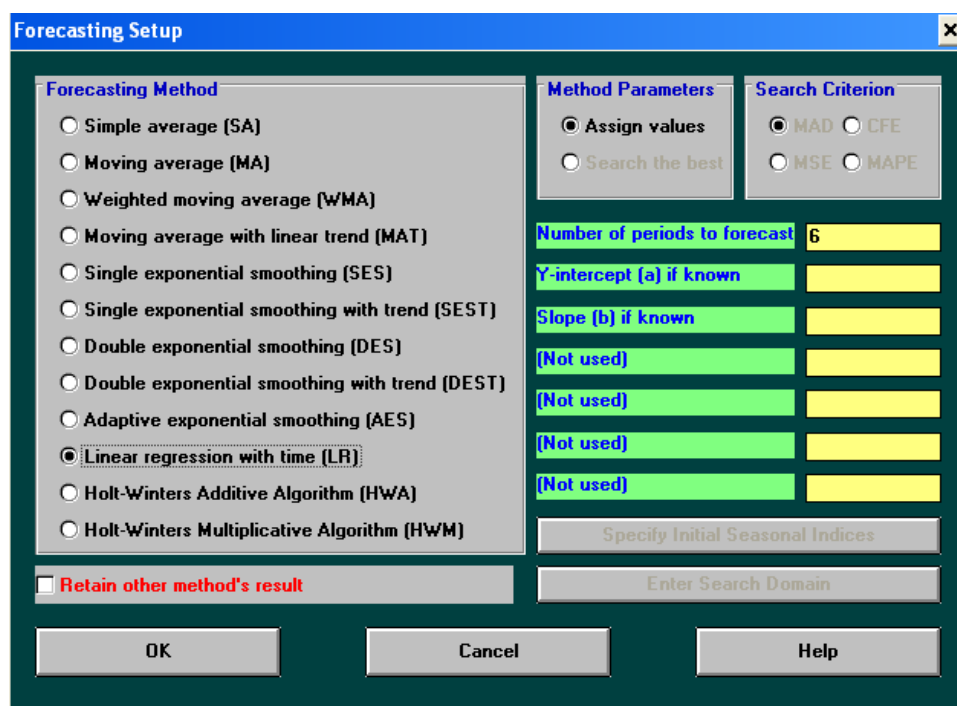


Figura 15. Elegir el método lineal

Se muestra en la Tabla 4 los resultados obtenidos con este método.

05-20-2025 Month	Actual Data	Forecast by LR	Forecast Error	CFE	MAD	MSE	MAPE (%)	Tracking Signal	R-square
1	1089.75	906.692	183.058	183.058	183.058	33510.23	16.79816	1	
2	847.5	931.2236	-83.72363	99.33435	133.3908	20259.94	13.33853	0.7446866	0.1783949
3	905.25	955.7552	-50.50525	48.8291	105.7623	14356.88	10.75207	0.4616873	6.240953E-02
4	1221.75	980.2868	241.4632	290.2923	139.6875	25343.78	13.00498	2.078155	0.2722653
5	840	1004.818	-164.8184	125.4739	144.7137	25708.04	14.32823	0.8670496	8.095785E-02
6	1005	1029.35	-24.34998	101.124	124.6531	21522.19	12.34401	0.8112432	0.1076014
7	1037.25	1053.882	-16.63159	84.49237	109.2214	18487.11	10.80964	0.7735879	0.1539665
8	1159.5	1078.413	81.08691	165.5793	105.7046	16998.11	10.33259	1.566434	0.2042741
9	997.5	1102.945	-105.4447	60.13458	105.6757	16344.83	10.35907	0.5690482	0.2594295
10	1014	1127.476	-113.4763	-53.34174	106.4558	15998.03	10.44226	-0.5010694	0.3547975
11	1079.25	1152.008	-72.75793	-126.0997	103.3923	15024.91	10.10583	-1.219623	0.4668978
12	1287	1176.54	110.4604	-15.63922	103.9814	14789.63	9.978908	-0.1504041	0.4074384
13	1331.25	1201.071	130.179	114.5397	105.9966	14955.54	9.963507	1.080599	0.3819522
14	1086.75	1225.603	-138.8527	-24.31293	108.3434	15264.44	10.16446	-0.2244061	0.4723501
15	1174.5	1250.134	-75.63428	-99.9472	106.1628	14628.18	9.916143	-0.9414521	0.5615627
16	1578.75	1274.666	304.0842	204.137	118.5329	19493.12	10.5002	1.722197	0.3821543
17	1033.5	1299.197	-265.6974	-61.56036	127.1896	22499.12	11.39481	-0.4840046	0.4494167
18	1267.5	1323.729	-56.229	-117.7894	123.2474	21424.82	11.00822	-0.9557151	0.5097093
19	1308.75	1348.261	-39.51062	-157.3	118.8402	20379.36	10.58773	-1.323626	0.5631113
20	1463.25	1372.792	90.45776	-66.84222	117.4211	19769.52	10.36744	-0.5692524	0.5531216
21	1294.5	1397.324	-102.8237	-169.666	116.7259	19331.58	10.252	-1.453541	0.6215537
22	1339.5	1421.855	-82.35535	-252.0213	115.1636	18761.16	10.06546	-2.188375	0.6831818
23	1378.5	1446.387	-67.88696	-319.9083	113.1081	18145.83	9.841953	-2.82834	0.7364941
24	1598.25	1470.918	127.3315	-192.5767	113.7008	18065.31	9.763827	-1.693715	0.6834863
25	1785	1495.45	289.5499	96.97321	120.7347	20696.27	10.02213	0.8031922	0.5732936
26	1389.75	1519.982	-130.2317	-33.25848	121.1	20552.57	9.997077	-0.2746365	0.6295352
27	1440.75	1544.513	-103.7633	-137.0218	120.4579	20190.14	9.893557	-1.137508	0.6810114
28	1949.25	1569.045	380.2051	243.1833	129.7346	24631.77	10.23683	1.874467	0.5618778
29	1360.5	1593.576	-233.0764	10.10687	133.2981	25655.66	10.47458	7.582157E-02	0.6191546
30	1608	1618.108	-10.10803	-1.159668E-03	129.1918	24803.88	10.14638	-8.976329E-06	0.6450939
31		1642.64							
32		1667.171							
33		1691.703							
34		1716.234							
35		1740.766							
36		1765.298							
CFE		-1.159668E-03							
MAD		129.1918							
MSE		24803.88							
MAPE		10.14638							
Trk.Signal		-8.976329E-06							
R-square		0.6450939							
		Y-intercept=882.1605							
		Slope=24.5316							

**Tabla 4. Resultados de pronósticos con el método de
regresión lineal**

El método de pronóstico por regresión lineal reporta un MAPE de 10.14%, lo cual indica un nivel de error bajo en las predicciones, reflejando una adecuada capacidad de ajuste a los datos históricos. La señal de seguimiento obtenida es muy cercana a 0, un valor dentro del rango aceptable (entre -4 y +4), lo que sugiere que no hay un sesgo sistemático en los errores de pronóstico y, por lo tanto, el modelo puede considerarse aceptable. Y a continuación podemos ver en la Figura 16, una gráfica con el pronóstico obtenido con el método de regresión lineal.

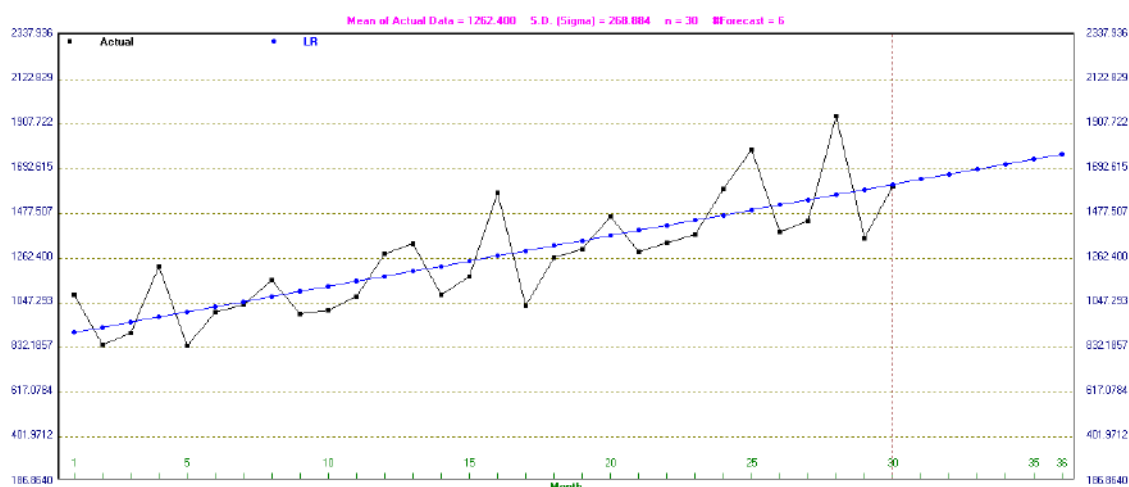


Figura 16. Gráfico de la regresión lineal

4.1.4 Suavizado exponencial simple con tendencia (SEST).

Esta técnica, también conocida como método de Holt, incorpora tanto el nivel como la tendencia de la serie temporal. Para aplicarla en WinQSB, desde la pantalla inicial de selección de método, se debe elegir la opción “Single Exponential Smoothing with Trend”, como se ilustra en la Figura 17. A continuación, se indica el número de periodos que se desea pronosticar y se ingresan los parámetros de suavizamiento: Alpha y Beta, ambos con un valor de 0.2, lo cual permite controlar la sensibilidad del modelo ante las variaciones en los datos históricos.

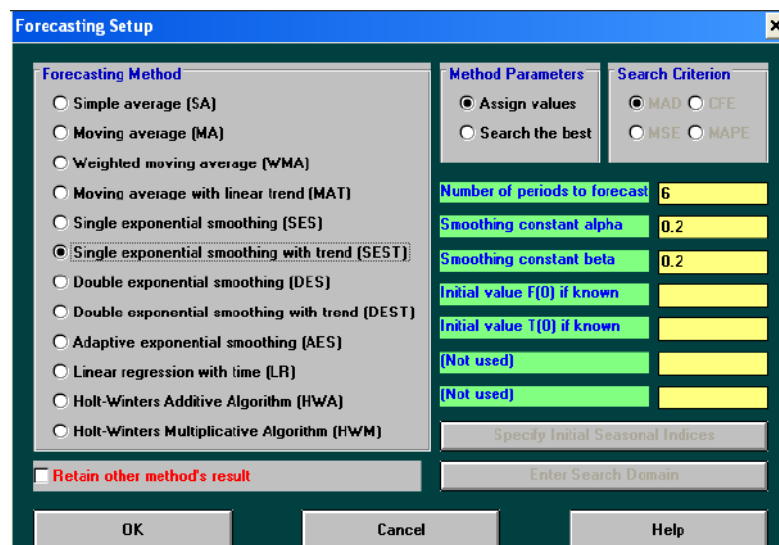


Figura 17. SEST

Este método se basa en dos componentes fundamentales que permiten capturar con mayor precisión la evolución de la serie temporal: nivel y tendencia. El nivel representa el promedio ajustado de los datos recientes, funcionando como la base sobre la cual se proyectan los valores futuros. La tendencia, por su parte, identifica la dirección general del comportamiento de la serie —ya sea creciente, decreciente o estable— y contribuye a ajustar el pronóstico en función de dicha trayectoria. La interacción entre ambos elementos proporciona un modelo flexible y capaz de adaptarse a cambios progresivos en los datos.

En la Tabla 5 se presentan los resultados generados por este modelo. El valor obtenido para el MAPE es de 11.65%, lo que refleja un bajo nivel de error porcentual y una buena capacidad de ajuste respecto a los valores observados. No obstante, la señal de seguimiento fue de 4.64, valor que se encuentra fuera del umbral aceptable (-4 a $+4$), lo cual sugiere la presencia de un sesgo en las predicciones y posibles desviaciones sistemáticas que deberían considerarse para ajustes futuros del modelo.

05-20-2025 Month	Actual Data	Forecast by SEST	Forecast Error	CFE	MAD	MSE	MAPE (%)	Tracking Signal	R-square
1	1089.75								
2	847.5	1089.75	-242.25	-242.25	242.25	58685.06	28.58407	-1	
3	905.25	1031.61	-126.3601	-368.6101	184.3051	37325.97	21.27133	-2	
4	1221.75	991.5937	230.1563	-138.4538	199.5888	42541.29	20.4603	-0.6936952	0.1387101
5	840	1032.087	-192.0869	-330.5407	197.7133	41130.31	21.0621	-1.671818	0.3273188
6	1005	980.4479	24.55212	-305.9886	163.0811	33024.81	17.33828	-1.876297	0.2597909
7	1037.25	973.1188	64.13116	-241.8574	146.5894	28206.14	15.47903	-1.649897	0.1846486
8	1159.5	976.2708	183.2292	-58.62823	151.8237	28972.83	15.52523	-0.38616	8.602871E-02
9	997.5	1010.572	-13.07153	-71.69977	134.4797	25372.58	13.74838	-0.5331643	8.714817E-02
10	1014	1005.089	8.910767	-62.789	120.5276	22562.23	12.31843	-0.5209513	8.574165E-02
11	1079.25	1004.36	74.89014	12.10114	115.9638	20866.86	11.78049	0.1043527	0.0796938
12	1287	1019.822	267.178	279.2792	129.7106	25459.34	12.59679	2.153095	8.756625E-02
13	1331.25	1084.429	246.8213	526.1005	139.4698	28414.46	13.09211	3.772146	0.1360345
14	1086.75	1154.837	-68.08704	458.0134	133.9788	26585.33	12.56696	3.418551	0.1727686
15	1174.5	1159.54	14.95984	472.9733	125.4775	24702.36	11.7603	3.769388	0.2195746
16	1578.75	1181.451	397.299	870.2722	143.5989	33578.64	12.65397	6.060438	0.2216554
17	1033.5	1295.722	-262.2218	608.0504	151.0128	35777.49	13.44886	4.026482	0.2763093
18	1267.5	1267.599	-0.0994873	607.9509	142.1356	33672.93	12.65821	4.277261	0.3306505
19	1308.75	1291.898	16.85229	624.8032	135.1754	31817.99	12.02652	4.622167	0.3837458
20	1463.25	1320.26	142.9897	767.793	135.5867	31219.47	11.90786	5.662747	0.4095876
21	1294.5	1379.57	-85.06995	682.723	133.0608	30020.34	11.64105	5.130909	0.4873857
22	1339.5	1389.865	-50.36487	632.3582	129.1229	28711.59	11.26576	4.897335	0.55371
23	1378.5	1405.086	-26.58618	605.772	124.4622	27438.65	10.84135	4.867117	0.6092257
24	1598.25	1424	174.2502	780.0222	126.6269	27565.8	10.84401	6.160006	0.5882378
25	1785	1490.051	294.9492	1074.971	133.6403	30042.02	11.08066	8.043767	0.5355955
26	1389.75	1592.04	-202.2896	872.6819	136.3863	30477.18	11.21967	6.398605	0.6374031
27	1440.75	1586.489	-145.739	726.9429	136.746	30121.9	11.1772	5.316009	0.7187949
28	1949.25	1586.419	362.8311	1089.774	145.1195	33882.06	11.45264	7.509493	0.6189176
29	1360.5	1702.576	-342.076	747.6979	152.1537	36851.13	11.94159	4.914097	0.7222252
30	1608	1664.069	-56.06885	691.629	148.8404	35688.81	11.65005	4.646783	0.76703
31		1680.52							
32		1708.185							
33		1735.851							
34		1763.516							
35		1791.181							
36		1818.846							
CFE		691.629							
MAD		148.8404							
MSE		35688.81							
MAPE		11.65005							
Trk.Signal		4.646783							
R-square		0.76703							
		Alpha=0.2							
		Beta=0.2							
		F(0)=1089.75							
		T(0)=0							

Tabla 5. Resultados con el método de Holt

En la Figura 18, observamos los resultados con el pronóstico de Holt.

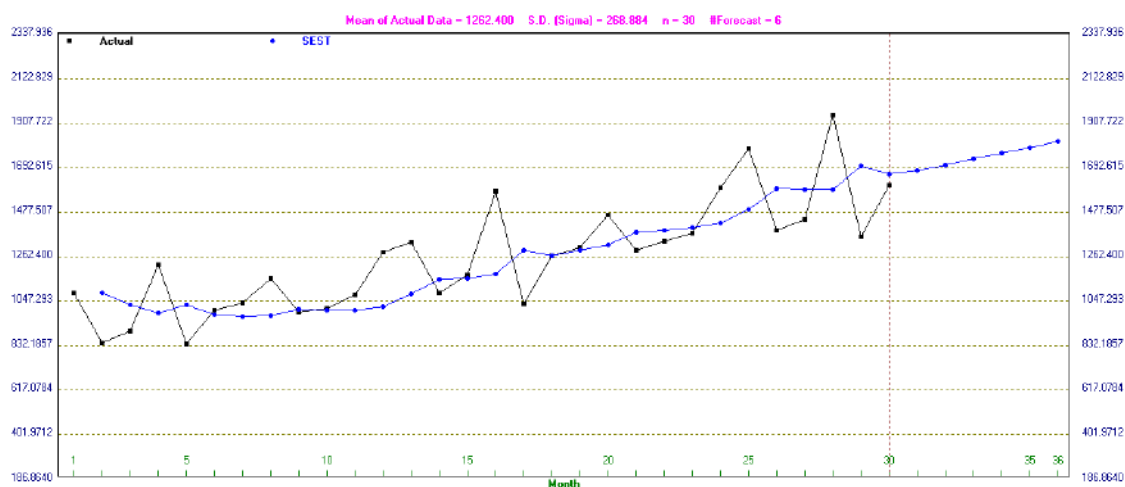


Figura 18. Gráfica con los resultados de Holt

4.1.4 Análisis y resultados.

La aplicación de los diferentes métodos de pronóstico permite generar datos valiosos para evaluar cuál de ellos se adapta mejor al comportamiento de la demanda observada. Esta comparación es esencial para seleccionar la técnica más adecuada, ya que cada modelo responde de forma distinta a los patrones históricos de variación. Con base en los resultados obtenidos —presentados en la Figura 19— y considerando los principales indicadores de desempeño (MAD, MSE, MAPE y señal de seguimiento), es posible identificar cuál de los métodos proporciona el ajuste más preciso y confiable para este conjunto de datos.

La selección del modelo de pronóstico más adecuado resulta esencial para una gestión eficiente de la demanda. Al comparar los indicadores de desempeño de cada técnica, es posible evaluar tanto la precisión como la consistencia del ajuste a partir de los datos históricos. El MAD (Desviación Absoluta Media) proporciona una medida del promedio de los errores absolutos, ofreciendo una visión clara de la dispersión de los errores con respecto a los valores reales. Por su parte, el MAPE

(Error Porcentual Absoluto Medio) permite analizar la precisión del modelo en términos relativos, facilitando la interpretación del error como porcentaje del valor observado. Finalmente, la señal de seguimiento funciona como un mecanismo de monitoreo continuo que permite identificar posibles sesgos del modelo y determinar si las desviaciones ocurren de forma sistemática o aleatoria a lo largo del tiempo.

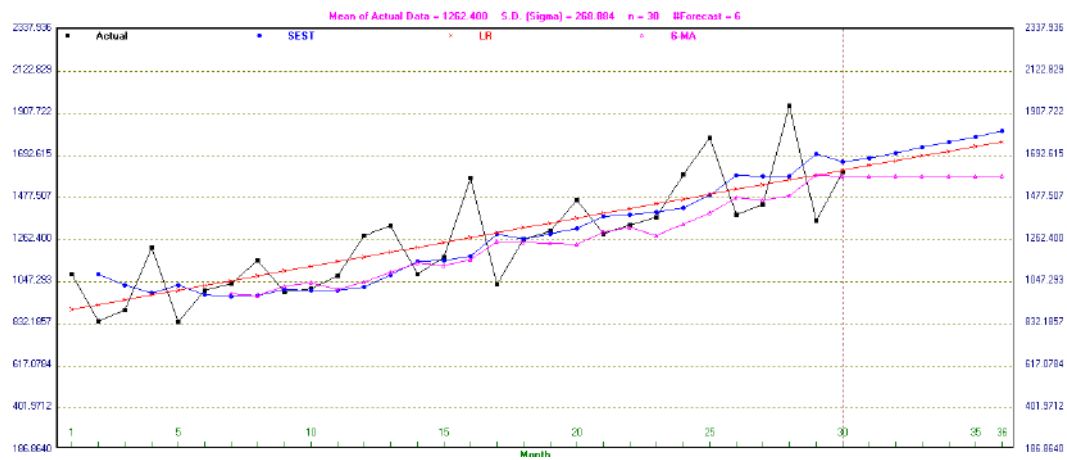


Figura 19. Gráfica comparativa

Los resultados obtenidos para cada técnica de pronóstico se presentan en la Tabla 6, mostrada a continuación.

05-20-2025 Month	Actual Data	Forecast by SEST	Forecast by LR	Forecast by 6-MA
1	1089.75		906.692	
2	847.5	1089.75	931.2236	
3	905.25	1031.61	955.7552	
4	1221.75	991.5937	980.2868	
5	840	1032.087	1004.818	
6	1005	980.4479	1029.35	
7	1037.25	973.1188	1053.882	984.875
8	1159.5	976.2708	1078.413	976.125
9	997.5	1010.572	1102.945	1028.125
10	1014	1005.089	1127.476	1043.5
11	1079.25	1004.36	1152.008	1008.875
12	1287	1019.822	1176.54	1048.75
13	1331.25	1084.429	1201.071	1095.75
14	1086.75	1154.837	1225.603	1144.75
15	1174.5	1159.54	1250.134	1132.625
16	1578.75	1181.451	1274.666	1162.125
17	1033.5	1295.722	1299.197	1256.25
18	1267.5	1267.599	1323.729	1248.625
19	1308.75	1291.898	1348.261	1245.375
20	1463.25	1320.26	1372.792	1241.625
21	1294.5	1379.57	1397.324	1304.375
22	1339.5	1389.865	1421.855	1324.375
23	1378.5	1405.086	1446.387	1284.5
24	1598.25	1424	1470.918	1342
25	1785	1490.051	1495.45	1397.125
26	1389.75	1592.04	1519.982	1476.5
27	1440.75	1586.489	1544.513	1464.25
28	1949.25	1586.419	1569.045	1488.625
29	1360.5	1702.576	1593.576	1590.25
30	1608	1664.069	1618.108	1587.25
31		1680.52	1642.64	1588.875
32		1708.185	1667.171	1588.875
33		1735.851	1691.703	1588.875
34		1763.516	1716.234	1588.875
35		1791.181	1740.766	1588.875
36		1818.846	1765.298	1588.875

Tabla 6. Resultados combinados de pronóstico

La Tabla 7 presenta un resumen de los tres principales indicadores de desempeño correspondientes a cada uno de los métodos de pronóstico aplicados. A partir del análisis comparativo, se concluye que la técnica de regresión lineal ofrece los resultados más favorables para este conjunto de datos. Este modelo exhibe una señal de seguimiento cercana a cero, lo que evidencia la ausencia de sesgo sistemático en las predicciones. Asimismo, su valor de MAPE es el más bajo entre los métodos evaluados, lo que confirma su capacidad para generar estimaciones precisas y confiables en el contexto de la demanda del producto.

	Actual Data	Forecast by SEST	Forecast by LR	Forecast by 6-MA
CFE		691.629	-1.159668E-03	2086.125
MAD		148.8404	129.1918	144.4844
MSE		35688.81	24803.88	38995.73
MAPE		11.65005	10.14638	10.16854
Trk.Signal		4.646783	-8.976329E-06	14.43841

Tabla 7. Comparación de métricas

4.2. Resultados de planeación agregada.

El siguiente paso de este proyecto consiste en aplicar dos métodos de planeación agregada a los datos operativos de la empresa. A través de estas técnicas es posible determinar los niveles necesarios de fuerza laboral y la producción requerida para cubrir la demanda estimada. Aunque la empresa cuenta con una gama más amplia de productos, este análisis se concentrará únicamente en el vodka de tamarindo, ya que es el enfoque principal del proyecto.

Para efectuar los cálculos continuaremos utilizando WinQSB, pero ahora, utilizando su módulo de planeación agregada. El procedimiento inicial es:

- Acceder a la máquina virtual
- Iniciar el programa WinQSB
- Seleccionar la función Aggregate Planning

Como primer paso, se determina el Coeficiente de Requerimiento de Mano de Obra (CRM) a partir de los datos proporcionados por la empresa, dividiendo el número de trabajadores actuales entre el volumen mensual de producción.

Con base en la información histórica disponible, se establece que la producción promedio mensual es de 1,608 unidades, empleando una plantilla de 6 trabajadores. Por lo tanto, el cálculo del CRM se obtiene de la siguiente manera:

$$CMR = 6/1608$$

$$CMR = 0.00373134$$

Se introduce el nombre del producto que será objeto del análisis y se selecciona el modo “hire/dismissal”, como se muestra en la Figura 20. Esta configuración permite que el sistema considere la posibilidad de efectuar contrataciones y despidos a lo largo del horizonte de planificación, ajustando dinámicamente la fuerza laboral de acuerdo con los requerimientos de producción de cada periodo.

Figura 20. Tabla de especificaciones

En la Tabla 8 se ingresan datos como la demanda pronosticada, el numero inicial de empleados, el CRME (el porcentaje de tiempo disponible cada mes), costos de contratación, costo de despido, inventario inicial, inventario final y costo de inventario.

DATA ITEM	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6
Forecast Demand	1642.64	1667.17	1691.7	1716.234	1740.766	1765.29
Initial Number of Employee	6					
Regular Time Capacity in Week per Employee	.85	.85	.85	.85	.85	.85
Regular Time Cost per Week						
Undertime Cost per Week						
Hiring Cost per Employee	4200	4200	4200	4200	4200	4200
Dismissal Cost per Employee	7000	7000	7000	7000	7000	7000
Initial Inventory (+) or Backorder (-)	1337					
Maximum Inventory Allowed	M	M	M	M	M	M
Minimum Ending Inventory (Safety Stock)						
Unit Inventory Holding Cost	10	10	10	10	10	10
Other Unit Production Cost						
Capacity Requirement in Week per Unit	.003731	.003731	.003731	.003731	.003731	.003731

Tabla 8. Datos

4.2.1 Caza.

Se selecciona la séptima opción, denominada “Up-to-demand with Regular and Overtime Employee”, la cual corresponde al método de persecución o caza de la demanda. Esta alternativa permite ajustar la producción conforme a las variaciones específicas de la demanda en cada periodo, haciendo uso tanto del personal regular como de horas extra. La configuración correspondiente se muestra en la Figura 21.

The screenshot shows the 'Aggregate Planning Option' dialog box. It is divided into several sections:

- Solution Method:** A list of radio buttons. The seventh option, 'Up-to-demand with Regular and Overtime Employee', is selected.
- Production Priority If Needed:** A section with a red label 'Enter Priority (1 to 5)'. It contains five rows, each with a checkbox and a text box. The first row 'Overtime' has an unchecked checkbox and a text box containing '1'. The second row 'Hiring/dismissal' has a checked checkbox and a text box containing '2'. The third row 'Subcontracting' has an unchecked checkbox and a text box containing '3'. The fourth row 'Backorder' has an unchecked checkbox and a text box containing '4'. The fifth row 'Lostsales' has an unchecked checkbox and a text box containing '5'.
- Proposed Average Production:** A text box containing the value '1329'.
- Production Quantity:** A section with radio buttons. 'Whole number' is selected. Other options include 'Fraction allowed', 'in 10s', 'in 100s', 'in 1000s', and 'in lot-size:'. The 'in lot-size' text box is empty.

At the bottom right, there are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

Figura 21. Imagen del método de caza

En la Tabla 9 se muestran los resultados generados por el software, donde se detalla el plan de producción propuesto. Este reporte especifica el número de empleados requeridos en cada periodo, así como los momentos en que deben efectuarse contrataciones o despidos. Además, se incluye la cantidad de unidades

programadas para producir durante cada mes del horizonte de planificación.

05-20-2025 02:44:15	Demand	Regular Production	Ending Inventory	Hiring	Dismissal	Number of Employees
Initial			1,337.00			6.00
Period 1	1,642.64	306.00	0.36	0.00	4.00	2.00
Period 2	1,667.17	1,668.00	1.19	6.00	0.00	8.00
Period 3	1,691.70	1,692.00	1.49	0.00	0.00	8.00
Period 4	1,716.23	1,717.00	2.26	0.00	0.00	8.00
Period 5	1,740.77	1,741.00	2.49	0.00	0.00	8.00
Period 6	1,765.29	1,766.00	3.20	0.00	0.00	8.00
Total	10,223.80	8,890.00	10.99	6.00	4.00	

Tabla 9 . Caza

La Tabla 10 complementa esta información al detallar los costos del plan, incluyendo los gastos por contratación, despido, producción regular y producción con horas extra. De esta manera, se puede visualizar de forma integral el impacto financiero de la estrategia seleccionada.

05-20-2025 02:50:35	Regular Time	Inventory Holding Cost	Hiring	Dismissal	TOTAL COST
Period 1	0	\$3.60	0	\$28,000	\$28,003.60
Period 2	0	\$11.90	\$25,200	0	\$25,211.90
Period 3	0	\$14.90	0	0	\$14.90
Period 4	0	\$22.56	0	0	\$22.56
Period 5	0	\$24.90	0	0	\$24.90
Period 6	0	\$32.00	0	0	\$32.00
Total	0	\$109.86	\$25,200	\$28,000	\$53,309.86

Tabla 10. Costos

El software también permite visualizar los resultados mediante gráficos. En este caso, se seleccionaron las tres primeras variables a graficar, como se muestra en

la Figura 22, facilitando así la interpretación y el análisis del comportamiento del sistema de producción.

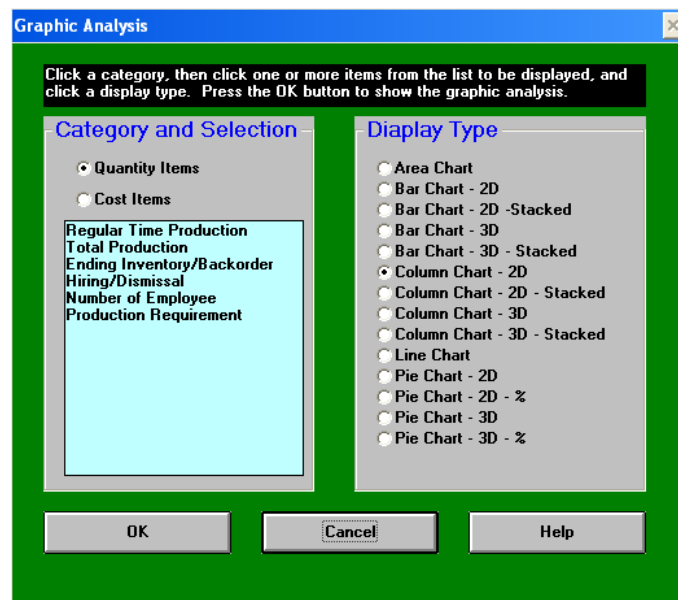


Figura 22. Variables

La Figura 23 presenta de manera gráfica el comportamiento del sistema de producción. En ella, las barras verdes reflejan la producción total mensual, las barras azules indican la producción realizada en horario regular, y las barras azul claro representan el inventario final de cada periodo. Al aplicar el método de caza, cuyo objetivo es reducir al mínimo o eliminar el inventario, se observa que no se generan existencias acumuladas durante los meses intermedios. El único inventario registrado aparece al final del horizonte de planificación, en el sexto mes, lo que confirma que la estrategia logra mantener bajos niveles de almacenamiento, cumpliendo con su propósito principal.

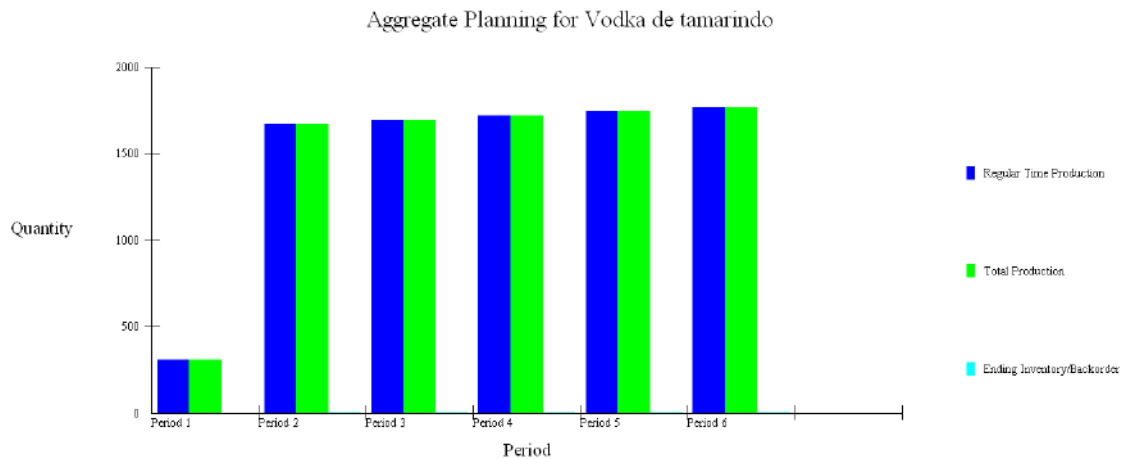


Figura 23 Producción e inventario

La Figura 24 muestra de manera visual el detalle de las contrataciones y despidos relacionados con el plan de producción. En la gráfica, las barras azules ubicadas por encima del eje representan los periodos en los que se incorporó personal adicional, mientras que las barras por debajo del eje indican los momentos en que se redujo la plantilla mediante despidos. Esta representación permite comprender de forma clara cómo se ajustó la fuerza laboral a lo largo del horizonte de planificación.



Figura 24. Detalle de contrataciones y despidos

4.2.1 Método de fuerza de trabajo constante.

Para cambiar al método de fuerza de trabajo constante, en donde solo trabajaremos con cierto número establecido de trabajadores, se selecciona la tercera opción como se muestra en la Figura 25.

Aggregate Planning Option

Solution Method

- ☐ Constant Average Production (Level Strategy)
- ☐ Periodic Average Production (Level Strategy)
- ☒ Constant Regular Time Employee (Level Strategy)
- ☐ Constant with Initial Employee (Level Strategy)
- ☐ Constant with Minimum Employee (Level Strategy)
- ☐ Up-to-demand with Regular Time Employee
- ☐ Up-to-demand with Regular and Overtime Employee
- ☐ Up-to-demand with No Hiring/Dismissal
- ☐ User Assigns/Adjusts Production
- ☐ Linear Programming Optimal Solution

Proposed Number of Regular Time Employees: 7

Production Quantity

- ☐ Fraction allowed
- ☒ Whole number
- ☐ in 10s
- ☐ in 100s
- ☐ in 1000s
- ☐ in lot-size: 1

Production Priority If Needed

	Enter Priority (1 to 5)
<input type="checkbox"/> Overtime	1
<input type="checkbox"/> Hiring/Dismissal	2
<input type="checkbox"/> Subcontracting	3
<input type="checkbox"/> Backorder	4
<input type="checkbox"/> Lostsales	5

OK Cancel Help

Figura 25. Método de fuerza de trabajo constante.

La Tabla 11 muestra los resultados obtenidos mediante el software para el segundo plan de producción. Este informe indica el número de empleados necesarios en cada periodo, considerando que solo se realice una única acción de contratación o despido durante todo el horizonte de planificación. Además, se especifica la cantidad de unidades a producir mensualmente, lo que permite observar cómo se distribuyen los recursos humanos a lo largo del tiempo según la estrategia adoptada.

05-26-2025 20:31:51	Demand	Regular Production	Ending Inventory	Hiring	Dismissal	Number of Employees
Initial			1,337.00			6.00
Period 1	1,624.64	1,595.00	1,307.36	1.00	0.00	7.00
Period 2	1,667.17	1,595.00	1,235.19	0.00	0.00	7.00
Period 3	1,691.70	1,595.00	1,138.49	0.00	0.00	7.00
Period 4	1,716.23	1,595.00	1,017.26	0.00	0.00	7.00
Period 5	1,740.77	1,595.00	871.49	0.00	0.00	7.00
Period 6	1,765.29	1,595.00	701.20	0.00	0.00	7.00
Total	10,205.80	9,570.00	6,270.99	1.00	0.00	

Tabla 11 .Trabajo constante

La Tabla 12 muestra el plan detallado de costos de producción, incluyendo los gastos derivados de los periodos en los que se efectuarán contrataciones o despidos de personal.

05-26-2025 20:37:04	Regular Time	Inventory Holding Cost	Hiring	Dismissal	TOTAL COST
Period 1	0	\$13,073.60	\$4,200	0	\$17,273.60
Period 2	0	\$12,351.90	0	0	\$12,351.90
Period 3	0	\$11,384.90	0	0	\$11,384.90
Period 4	0	\$10,172.56	0	0	\$10,172.56
Period 5	0	\$8,714.90	0	0	\$8,714.90
Period 6	0	\$7,012.00	0	0	\$7,012.00
Total	0	\$62,709.86	\$4,200	0	\$66,909.86

Tabla 12. Costos

En la Figura 26 ilustra el total de la producción, la producción en tiempo regular y el inventario final. Como puede observarse claramente este método fija el tamaño de los trabajadores en 7 y no realizará más contrataciones ni despidos.

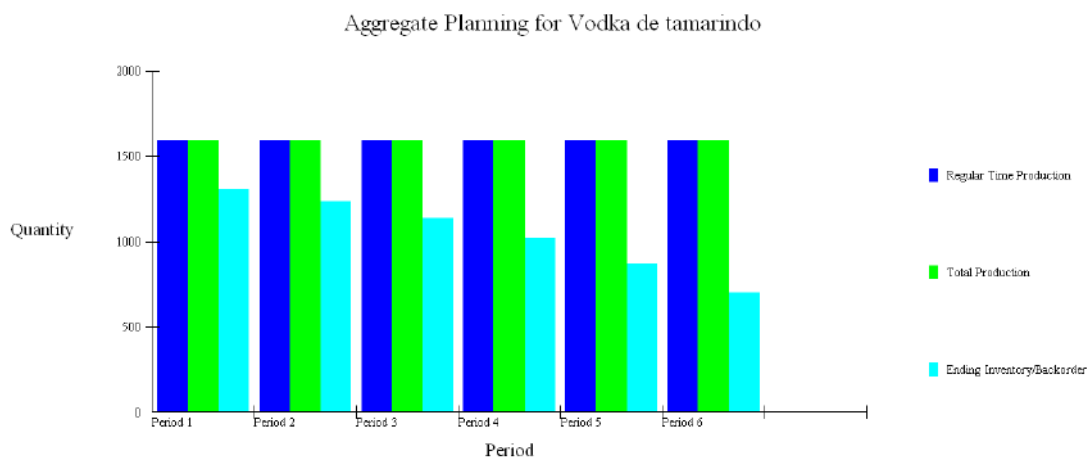


Figura 26. Producción e inventario

La Figura 27 muestra el detalle de contrataciones y despidos del plan de producción.

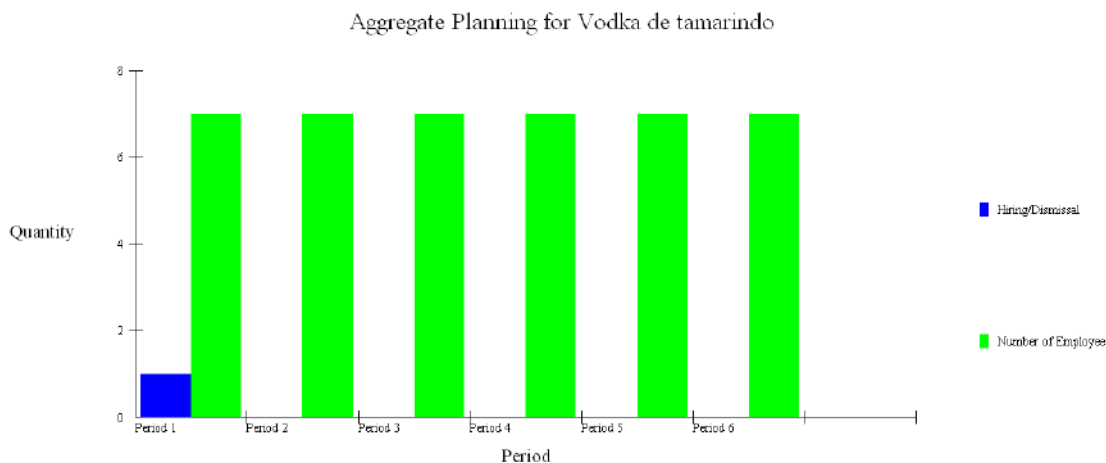


Figura 27. Detalle de contrataciones

Con base en los resultados obtenidos mediante el módulo de planeación agregada en WinQSB, se determina que la estrategia más adecuada para la empresa es

el método de caza, dado que presenta un costo total significativamente menor frente a la alternativa de fuerza laboral constante, con una diferencia registrada de 13,600 pesos mexicanos. Esta estrategia permite ajustar la producción mes a mes conforme a la demanda estimada, aumentando la eficiencia operativa al reducir inventarios y mejorar la capacidad de respuesta ante las variaciones del mercado.

4.3. Resultados de MRP.

Es importante señalar que el MRP no solo funciona como una herramienta de planeación, sino como un sistema integral de gestión. Su objetivo principal consiste en anticipar las necesidades de producción considerando la demanda futura, integrando información sobre pronósticos, inventarios disponibles, órdenes en tránsito y entregas programadas.

En esta sección se analiza cómo la empresa puede implementar el Plan Maestro de Producción (MPS) como base para alimentar el sistema MRP. Se describe cómo la estructura del producto se traduce en relaciones jerárquicas entre niveles de producción, cómo se calculan los tiempos de espera para determinar los requerimientos desplazados en el tiempo y cómo los métodos de dimensionamiento de lotes permiten generar programas detallados que optimizan la planificación de materiales y componentes.

4.3.1 Cálculo de la explosión.

El cálculo de explosión se refiere al conjunto de reglas utilizadas para convertir los requerimientos brutos de un nivel de la estructura del producto en un programa específico de producción para ese mismo nivel, así como en requerimientos para los niveles inferiores.

En el núcleo del sistema MRP se encuentra la estructura del producto, que representa la relación jerárquica entre los productos terminados y sus componentes (relaciones padre-hijo). Esta estructura especifica los tiempos necesarios para

fabricar cada elemento y la cantidad de componentes requeridos en el nivel inferior para producir una unidad del nivel superior.

La Figura 28 ilustra esta estructura aplicada al caso de estudio. En ella se observa lo siguiente: el nivel 1 representa la botella de vodka de tamarindo terminada; el nivel 2 corresponde a la botella vacía como materia prima; el nivel 3 al concentrado introducido en la botella; el nivel 4 al alcohol; el nivel 5 al agua; y el nivel 6 al concentrado de tamarindo utilizado en la mezcla.

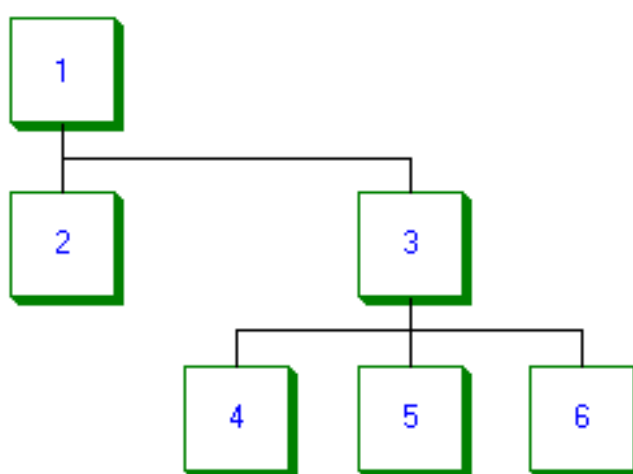


Figura 28. Estructura de producción

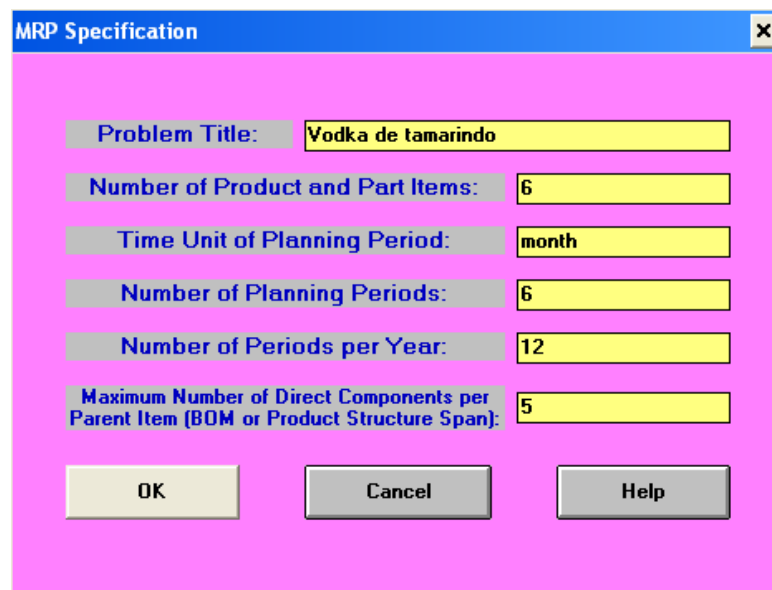
Antes de iniciar la implementación del MRP, se establece que la producción de un lote de vodka de tamarindo requiere un tiempo de elaboración de un mes. Por lo tanto, la fabricación debe comenzar con al menos un mes de antelación respecto a la fecha de entrega planificada. En consecuencia, los pronósticos de demanda empleados deben proyectarse con un mínimo de un mes de anticipación, garantizando que el sistema pueda generar oportunamente las órdenes de producción y cumplir con los compromisos de envío.

4.3.2 Uso del software para el cálculo del MRP.

Para ejecutar el cálculo del MRP mediante **WinQSB**, se deben seguir los siguientes pasos:

- Acceder a la máquina virtual configurada para este propósito
- Ejecutar el programa WinQSB
- Seleccionar el módulo denominado “Material Requirements Planning”, identificado con un icono de color magenta

Dentro del módulo, se comienza por ingresar el nombre del producto a analizar y se especifica el número de componentes incluidos en la lista de materiales (BOM). Asimismo, se define la unidad de tiempo utilizada (en este caso, meses) y se establece el número de periodos a planificar. Adicionalmente, se incorporan otros parámetros relevantes que se muestran en la Figura 29.



Field Label	Value
Problem Title:	Vodka de tamarindo
Number of Product and Part Items:	6
Time Unit of Planning Period:	month
Number of Planning Periods:	6
Number of Periods per Year:	12
Maximum Number of Direct Components per Parent Item (BOM or Product Structure Span):	5

Buttons: OK, Cancel, Help

Figura 29. Especificaciones

En la Tabla 13 se registra información clave para el MRP, incluyendo los códigos de los elementos en la lista de materiales (BOM), los tiempos de producción o lead time y la regla de dimensionamiento de lote, que en este caso corresponde a la técnica lote por lote.

No	Item ID	ABC Class	Source Code	Material Type	Unit Measure	Lead Time	Lot Size	LS Multiplier	Scrap %	Annual Demand	Unit Cost	Setup Cost	Holding Annual Cost	Shortage Annual Cost
1	1		VOK		Und						95		11.71	M
2	2		BOT		Und	1					9		1.8	M
3	3		MEZ		Lt	1					20		15.71	M
4	4		ALC		Lt	1					80		7.5	M
5	5		AGU		Lt	1					5		0.16	M
6	6		SAB		Lt	1					150		2.25	M

Tabla 13. Datos del MRP

Asimismo, es necesario ingresar la estructura del producto, la cual se presenta en la Tabla 14. Esta tabla indica la cantidad de cada componente que se requiere por unidad de producto terminado. Por ejemplo, el ítem 1 corresponde al producto final, que necesita una unidad del ítem 2 (la botella), por lo que se representa como 2/1. Para el ítem 3, que corresponde a la mezcla del vodka de tamarindo, se requieren 0.75 litros. Dentro de esta mezcla, se necesitan 0.375 litros del ítem 4 (alcohol), 0.325 litros del ítem 5 (agua) y 0.05 litros del ítem 6 (saborizante).

Item ID	Component ID/Usage	Component ID/Usage	Component ID/Usage
1	2/1	3/0.75	
2			
3	4/.375	5/.325	6/0.05
4			
5			
6			

Tabla 14. Estructura del producto

De igual forma, como se ve en la Tabla 15, se tiene que agregar la producción esperada, y en la Tabla 16, el inventario con el que contamos de cada uno de los materiales.

Item ID	Overdue Requirement	Month 1 Requirement	Month 2 Requirement	Month 3 Requirement	Month 4 Requirement	Month 5 Requirement	Month 6 Requirement
1		1642.64	1667.17	1691.7	1716.23	1740.76	1765.29
2							
3							
4							
5							
6							

Tabla 15. Producción esperada

Item ID	Safety Stock	On Hand Inventory
1		1337
2		1500
3		1000
4		600
5		600
6		300

Tabla 16. Inventario de cada producto

El sistema permite generar un reporte específico de MRP para el componente seleccionado. Para ello, se escoge el ítem correspondiente desde el menú del software, como se ilustra en la Figura 30. Esta acción produce un informe detallado

centrado en el artículo elegido, facilitando la planificación y gestión de materiales al proporcionar información precisa para la toma de decisiones.

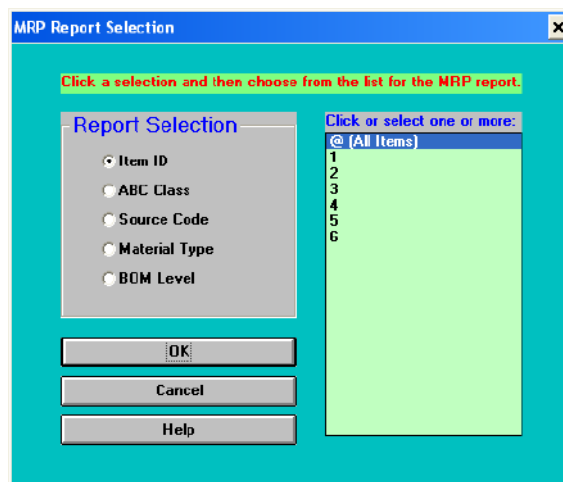


Figura 30. Selección de ítem

En la Tabla 17 se presentan los resultados correspondientes a los seis meses analizados. Es importante destacar que este módulo calcula automáticamente los requerimientos netos, considerando tanto el inventario disponible como las recepciones programadas. Con base en estos datos, se determinan los requerimientos proyectados de cada componente y se generan las órdenes planificadas según las reglas de dimensionamiento de lote establecidas.

Estos cálculos se realizan de manera individual para cada elemento de la estructura del producto. Los resultados son esenciales para la empresa, ya que permiten coordinar de forma precisa el suministro de materiales con la producción de componentes, asegurando que cada etapa de fabricación se inicie en el momento adecuado y con la cantidad exacta requerida

05-20-2025	Overdue	Month 1	Month 2	Month 3	Month 4	Month 5	Month 6	Total
Item: 1		LT = 0	SS = 0	LS =	UM = Und	ABC =	Source = VDK	Type =
Gross Requirement	0	1,642.64	1,667.17	1,691.70	1,716.23	1,740.76	1,765.29	10,223.79
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	1,337	0	0	0	0	0	0	
Projected Net Requirement	0	305.64	1,667.17	1,691.70	1,716.23	1,740.76	1,765.29	8,886.79
Planned Order Receipt	0	305.64	1,667.17	1,691.70	1,716.23	1,740.76	1,765.29	8,886.79
Planned Order Release	0	305.64	1,667.17	1,691.70	1,716.23	1,740.76	1,765.29	8,886.79
Item: 2		LT = 1	SS = 0	LS =	UM = Und	ABC =	Source = BOT	Type =
Gross Requirement	0	305.64	1,667.17	1,691.70	1,716.23	1,740.76	1,765.29	8,886.79
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	1,500	1,194.36	0	0	0	0	0	
Projected Net Requirement	0	0	472.81	1,691.70	1,716.23	1,740.76	1,765.29	7,386.79
Planned Order Receipt	0	0	472.81	1,691.70	1,716.23	1,740.76	1,765.29	7,386.79
Planned Order Release	0	472.81	1,691.70	1,716.23	1,740.76	1,765.29	0	7,386.79
Item: 3		LT = 1	SS = 0	LS =	UM = Lt	ABC =	Source = MEZ	Type =
Gross Requirement	0	229.23	1,250.38	1,268.77	1,287.17	1,305.57	1,323.97	6,665.09
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	1,000	770.77	0	0	0	0	0	
Projected Net Requirement	0	0	479.61	1,268.77	1,287.17	1,305.57	1,323.97	5,665.09
Planned Order Receipt	0	0	479.61	1,268.77	1,287.17	1,305.57	1,323.97	5,665.09
Planned Order Release	0	479.61	1,268.77	1,287.17	1,305.57	1,323.97	0	5,665.09
Item: 4		LT = 1	SS = 0	LS =	UM = Lt	ABC =	Source = ALC	Type =
Gross Requirement	0	179.85	475.79	482.69	489.59	496.49	0	2,124.41
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	600	420.15	0	0	0	0	0	
Projected Net Requirement	0	0	55.64	482.69	489.59	496.49	0	1,524.41
Planned Order Receipt	0	0	55.64	482.69	489.59	496.49	0	1,524.41
Planned Order Release	0	55.64	482.69	489.59	496.49	0	0	1,524.41
Item: 5		LT = 1	SS = 0	LS =	UM = Lt	ABC =	Source = AGU	Type =
Gross Requirement	0	155.87	412.35	418.33	424.31	430.29	0	1,841.16
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	600	444.13	31.78	0	0	0	0	
Projected Net Requirement	0	0	0	386.56	424.31	430.29	0	1,241.16
Planned Order Receipt	0	0	0	386.56	424.31	430.29	0	1,241.16
Planned Order Release	0	0	386.56	424.31	430.29	0	0	1,241.16
Item: 6		LT = 1	SS = 0	LS =	UM = Lt	ABC =	Source = SAB	Type =
Gross Requirement	0	23.98	63.44	64.36	65.28	66.20	0	283.25
Scheduled Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0
Projected On Hand	300	276.02	212.58	148.22	82.94	16.75	16.75	
Projected Net Requirement	0	0	0	0	0	0	0	0
Planned Order Receipt	0	0	0	0	0	0	0	0
Planned Order Release	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 17. Resultados MRP

Tomando como referencia el **Ítem 1** mostrado en la tabla, se puede observar el funcionamiento del sistema MRP a lo largo de sus distintas etapas:

- **Requerimientos brutos (Gross Requirement):** Durante los seis meses analizados, la demanda del producto final muestra un incremento progresivo, partiendo de 1,642.64 unidades en el primer mes y alcanzando 1,765 unidades en el sexto mes. Estos valores representan la necesidad total del vodka de tamarindo para satisfacer las órdenes de los clientes.
- **Recepciones programadas (Scheduled Receipt):** No se registran entregas previamente programadas para el producto terminado, por lo que toda la demanda debe atenderse mediante producción interna, lo cual es coherente dado que la empresa fabrica la totalidad del producto final.
- **Inventario proyectado disponible (Projected On Hand):** Se parte de un inventario inicial de 1,337 unidades, que permite cubrir parcialmente la demanda del primer mes. A partir de allí, el sistema calcula los saldos disponibles tras satisfacer los requerimientos brutos, incorporando los ingresos por producción planeada.
- **Requerimientos netos proyectados (Projected Net Requirement):** Considerando el inventario inicial y la ausencia de recepciones programadas, el sistema determina los requerimientos netos para cada periodo. Por ejemplo, en el segundo mes se estiman 305 unidades necesarias para cubrir la demanda, reflejando la cantidad que realmente debe producirse una vez descontados los recursos disponibles.
- **Órdenes planeadas de recepción (Planned Order Receipt):** Aplicando la técnica de lote por lote, las órdenes generadas coinciden con los requerimientos netos. Para el segundo mes, se programa la recepción de 1,667 unidades, manteniendo esta lógica en todos los periodos. Este enfoque permite una respuesta flexible a la demanda, minimizando la acumulación de inventario.

- **Órdenes planeadas de liberación (Planned Order Release):** Dado que se sigue una estrategia directa basada en la demanda mensual, las órdenes de liberación se alinean con las de recepción, ajustadas según el lead time establecido. Esto garantiza que los insumos estén disponibles oportunamente para cumplir con el plan de producción.

Este análisis evidencia cómo el **MRP** permite coordinar de manera eficiente la programación de producción y el abastecimiento, adaptando volúmenes y tiempos de pedido a la demanda real. Al minimizar inventarios innecesarios y reducir el riesgo de faltantes, se optimiza el flujo operativo y se fortalece la capacidad de respuesta ante las variaciones del mercado.

4.4. Resultados de la programación de actividades.

En esta parte del proyecto se emplea la técnica de peso posicional clasificado para llevar a cabo un balanceo de línea dentro del proceso de fabricación del producto analizado. Este método consiste en asignar a cada actividad un valor de prioridad, calculado a partir del tiempo acumulado que requieren las tareas subsecuentes necesarias para completar el producto. Con base en estos valores, las tareas se distribuyen de manera secuencial entre las estaciones de trabajo, lo cual permite aprovechar de forma más eficiente tanto el tiempo como los recursos disponibles.

Para esta Pyme se plantea aplicar dicha técnica al proceso de producción y envasado del vodka de tamarindo, el cual contempla un total de 10 actividades. Este proceso se lleva a cabo en las instalaciones de la empresa ubicadas en el estado de Hidalgo. A continuación, se describen las tareas involucradas en la elaboración del producto.

- **Tarea 1 – Recepción y revisión de materiales:** Verificar que los insumos (alcohol, agua, concentrado, botellas, tapas y etiquetas) lleguen en cantidad y calidad adecuadas.

- **Tarea 2 – Mezcla de ingredientes base:** Combinar en un tanque el alcohol, el agua purificada y el concentrado de tamarindo según la proporción establecida en la receta.
- **Tarea 3 – Reposo / estabilización del líquido:** Dejar reposar la mezcla para asegurar una integración homogénea de sabores y consistencia en el producto.
- **Tarea 4 – Filtrado:** Pasar la mezcla por un sistema de filtrado para eliminar impurezas y obtener un líquido claro y brillante.
- **Tarea 5 – Lavado de botellas:** Limpiar internamente las botellas de vidrio para garantizar inocuidad y evitar contaminaciones.
- **Tarea 6 – Embotellado:** Llenar cada botella con exactamente 750 ml de la mezcla filtrada, utilizando un sistema semiautomático o manual.
- **Tarea 7 – Colocación de tapa:** Tapar cada botella con su tapón de seguridad, asegurando un cierre hermético y seguro.
- **Tarea 8 – Etiquetado:** Aplicar una sola etiqueta (combinada) con toda la información del producto: marca, contenido, lote, advertencias, etc.
- **Tarea 9 – Inspección final de calidad:** Verificar visualmente que cada botella esté correctamente sellada, etiquetada, y con nivel adecuado de llenado.
- **Tarea 10 – Empaque secundario (cajas de 12):** Agrupar las botellas en cajas de cartón para su almacenamiento o distribución.

4.4.1 Uso del WinQSB para el balanceo de línea.

La **Tabla 18** presenta la duración de cada tarea en minutos, así como la identificación de la actividad inmediata sucesora. Esta información resulta fundamental para planificar y balancear la línea de producción, con el objetivo de minimizar los tiempos de inactividad y optimizar el flujo operativo.

Task Number	Task Name	Task Time in Min	Task Isolated (Y/N)	Immediate Successor (task number separated by .)
1	Task 1	10	No	2,5
2	Task 2	15	No	3
3	Task 3	30	No	4
4	Task 4	10	No	6
5	Task 5	5	No	6
6	Task 6	1	No	7
7	Task 7	1	No	8
8	Task 8	2	No	9
9	Task 9	3	No	10
10	Task 10	3	No	

Tabla 18. Datos

Para el balanceo se seleccionó el **método de peso posicional rankeado**, estableciendo un tiempo de ciclo deseado por la empresa de 30 minutos. La **Tabla 19** muestra la distribución final de las diez tareas entre las tres estaciones de trabajo, indicando la duración de cada actividad en minutos y el porcentaje de tiempo ocioso asociado. Este análisis permite evaluar la eficiencia de la línea y detectar oportunidades de mejora en la asignación de tareas.

05-20-2025 05:22:09	Line Station	Number of Operators	Task Assigned	Task Name	Task Time	Time Unassigned	% Idleness
1	1	1	1	Task 1	10	20	66.67%
2			2	Task 2	15	5	16.67%
3			5	Task 5	5	0	0.00%
4	2	1	3	Task 3	30	0	0.00%
5	3	1	4	Task 4	10	20	66.67%
6			6	Task 6	1	19	63.33%
7			7	Task 7	1	18	60.00%
8			8	Task 8	2	16	53.33%
9			9	Task 9	3	13	43.33%
10			10	Task 10	3	10	33.33%
	Solved by	Heuristic	Method				

Tabla 19. Resultados balanceo de línea

El software también genera un resumen del balanceo de línea, presentado en la Tabla 20, que incluye información clave como el número de estaciones de trabajo, la cantidad de operadores necesarios, el tiempo improductivo y otros indicadores

relevantes para evaluar la eficiencia de la línea de producción. Con un tiempo de ciclo deseado de 30 minutos, se logró optimizar la línea utilizando tres estaciones, alcanzando un retraso del balance del 11.11 % y un tiempo total de inactividad de 10 minutos, lo que refleja una mejora significativa en la utilización de los recursos y la eficiencia operativa.

05-20-2025	Item	Result
1	Desired Cycle Time in Min	30
2	Number of Line Stations	3
3	Number of Required Operators	3
4	Total Available Time in Min	90
5	Total Task Time in Min	80
6	Total Idle Time in Min	10
7	Balance Delay (%)	11.11%
	Optimal Solution has been obtained by	
	Primary Heuristic: Ranked Positional Weight Method	
	Tie Breaker: Random	

Tabla 20. Resumen

La distribución y asignación final de actividades a las estaciones de trabajo se presenta en la Figura 31 a continuación.

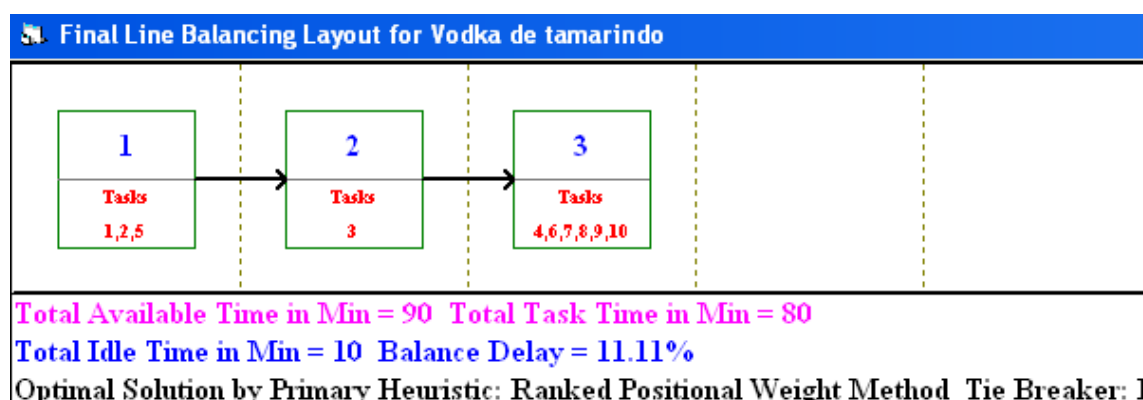


Figura 31. Layout de balanceo de línea

4.4.2 Sensibilidad del tiempo de ciclo.

Con el objetivo de analizar distintos escenarios de operación en la empresa, se evaluaron los resultados del balanceo de línea utilizando dos tiempos de ciclo diferentes, ajustados en ± 5 minutos respecto al tiempo de ciclo estándar. A continuación, las Tablas 21 y 22 muestran, respectivamente, los resultados del balanceo de línea y el resumen del balanceo correspondiente cuando $C = 25$ minutos.

05-22-2025 16:52:58	Line Station	Number of Operators	Task Assigned	Task Name	Task Time	Time Unassigned	% Idleness
1	1	1	1	Task 1	10	15	60.00%
2			2	Task 2	15	0	0.00%
3	2	1	5	Task 5	5	20	80.00%
4	3	2	3	Task 3	30	20	40.00%
5	4	1	4	Task 4	10	15	60.00%
6			6	Task 6	1	14	56.00%
7			7	Task 7	1	13	52.00%
8			8	Task 8	2	11	44.00%
9			9	Task 9	3	8	32.00%
10			10	Task 10	3	5	20.00%
	Solved by	Heuristic	Method				

Tabla 21. Resultados balanceo con C=25

Los indicadores clave para el tiempo de ciclo de 25 se presentan en la siguiente tabla.

05-22-2025	Item	Result
1	Desired Cycle Time in minute	25
2	Number of Line Stations	4
3	Number of Required Operators	5
4	Total Available Time in minute	125
5	Total Task Time in minute	80
6	Total Idle Time in minute	15
7	Balance Delay (%)	12.00%
	Solution has been obtained by	
	Primary Heuristic: Ranked Positional Weight Method	
	Tie Breaker: Random	

Tabla 22. Resumen con C=25

Como se puede observar, con un tiempo de ciclo de 25 minutos, el retraso del balance aumenta a 12%, superior al 11.11% registrado con 30 minutos, y el tiempo total de inactividad se incrementa a 15 minutos, es decir, 5 minutos más que en el escenario estándar. A continuación, en la Figura 33, se presenta el layout de la línea de producción con un tiempo de ciclo de 25 minutos.

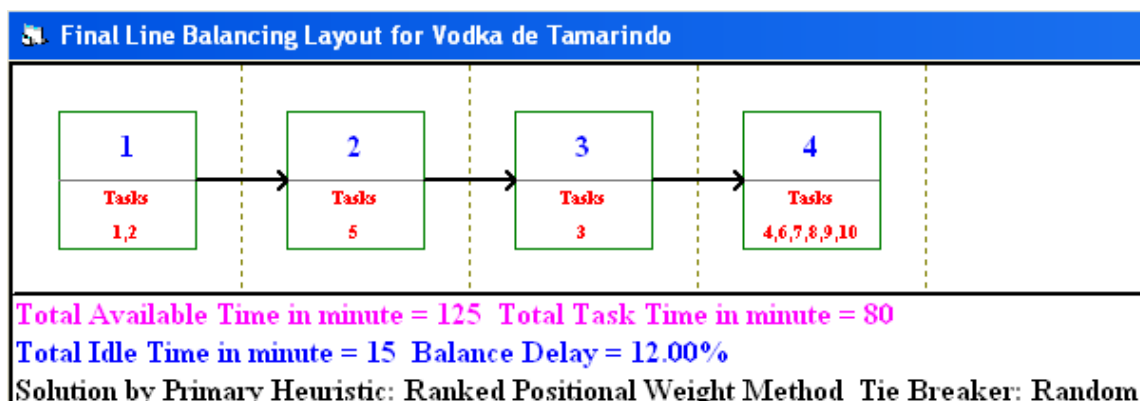


Figura 33. Layout de balanceo de línea con C=25

En la Tabla 23 y Tabla 24, podemos observar los resultados cuando en vez de reducir el tiempo de ciclo 5 minutos, lo aumentamos 5 minutos, es decir pasamos a C=35, como podemos observar en las tablas el retraso del balance aumenta significativamente pasando de 11.11% a 23.81% con un tiempo de inactividad de 25 minutos, es decir 15 minutos más, todo esto nos demuestra la sensibilidad del programa a C, y de aquí concluimos que el mejor tiempo de ciclo es cuando C=30 minutos.

Los indicadores clave con el tiempo de ciclo de 35 se presentan a continuación.

05-22-2025	Item	Result
1	Desired Cycle Time in minute	35
2	Number of Line Stations	3
3	Number of Required Operators	3
4	Total Available Time in minute	105
5	Total Task Time in minute	80
6	Total Idle Time in minute	25
7	Balance Delay (%)	23.81%
	Optimal Solution has been obtained by	
	Primary Heuristic: Ranked Positional Weight Method	
	Tie Breaker: Random	

Tabla 24. Resumen con C=35

05-22-2025 17:12:21	Line Station	Number of Operators	Task Assigned	Task Name	Task Time	Time Unassigned	% Idleness
1	1	1	1	Task 1	10	25	71.43%
2			2	Task 2	15	10	28.57%
3			5	Task 5	5	5	14.29%
4	2	1	3	Task 3	30	5	14.29%
5	3	1	4	Task 4	10	25	71.43%
6			6	Task 6	1	24	68.57%
7			7	Task 7	1	23	65.71%
8			8	Task 8	2	21	60.00%
9			9	Task 9	3	18	51.43%
10			10	Task 10	3	15	42.86%
	Solved by	Heuristic	Method				

Tabla 23. Resultados balanceo con C=35

Basándonos en los resultados obtenidos podemos llevar a cabo una gestión eficiente y eficaz, no solo de los tiempos de producción, así como, del personal involucrado en cada una de las etapas del proceso, lo cual a su vez genera repercusiones positivas para la economía de la empresa, mejorando tanto su rentabilidad como su sostenibilidad a largo plazo.

Conclusiones.

Pronósticos de la Demanda (SES, Regresión Lineal y SEST)

La aplicación de técnicas de pronóstico permitió estimar la demanda futura de vodka de tamarindo con base en 30 meses de ventas históricas. Específicamente, se emplearon métodos de suavizamiento exponencial simple, regresión lineal y suavizamiento exponencial con tendencia (método de Holt). Cada método se implementó mediante herramientas de simulación (WinQSB) para proyectar las ventas de los siguientes seis meses, ajustándose a los patrones identificados en la serie temporal. Se observó que la demanda presenta una tendencia creciente, por lo que los métodos que incorporan tendencia ofrecieron mejores resultados que los enfoques estacionarios. Por ejemplo, la regresión lineal alcanzó un error porcentual medio absoluto (MAPE) aproximado de 10.14%, indicando alta precisión y prácticamente sin sesgo en las predicciones (señal de seguimiento ≈ 0). En cambio, el método de Holt obtuvo un MAPE cercano al 11.65% y evidenció un ligero sesgo sistemático, reflejado en una señal de seguimiento fuera del rango aceptable. Estos resultados sugieren que, para este caso de estudio, un modelo lineal simple captura adecuadamente el crecimiento de la demanda, superando por margen reducido al método de Holt. Esto está en consonancia con la literatura, que destaca la eficacia del suavizamiento exponencial con doble parámetro para series con tendencia, pero muestra que un modelo de regresión puede ser igualmente efectivo cuando la tendencia es aproximadamente lineal.

A partir de esta comparación de métodos, se concluye que es crucial seleccionar la técnica de pronóstico acorde a las características de los datos. Haber evaluado múltiples enfoques permitió aprender que incluso pequeñas diferencias en los patrones (como la linealidad pura vs. variaciones aleatorias) inciden en la exactitud del pronóstico. En la práctica, contar con un pronóstico confiable aporta beneficios importantes: facilita la toma de decisiones en producción y abastecimiento al reducir la incertidumbre, evitando sobreproducciones o quiebres de stock. Adicionalmente, se comprueba la importancia de monitorear indicadores de error (MAD, MSE, MAPE, señal de seguimiento) durante el proceso de pronóstico

para detectar sesgos o desviaciones tempranamente y ajustar el modelo según sea necesario. Como recomendación para aplicaciones futuras, se sugiere actualizar periódicamente el pronóstico con datos más recientes y considerar la incorporación de factores estacionales o modelos más avanzados si llegasen a identificarse patrones estacionales marcados en la demanda. Asimismo, mantener un seguimiento continuo de la precisión pronostica permitirá a la empresa reaccionar ágilmente ante cambios en las tendencias del mercado.

Planeación Agregada de la Producción (Estrategia de Persecución vs. Fuerza Laboral Constante)

En el mediano plazo, se desarrollaron planes agregados de producción bajo dos estrategias contrastantes: la estrategia de persecución de la demanda (ajustar mensualmente la producción y el personal a las variaciones de la demanda pronosticada) y la estrategia de fuerza laboral constante (mantener un nivel fijo de producción/mano de obra, gestionando los desbalances con inventario o retrasos). Al aplicar ambas políticas en el horizonte de planificación establecido, se pudo cuantificar sus implicaciones operativas. Con la estrategia de persecución, la producción mensual sigue de cerca la demanda esperada, evitando acumulación de inventarios, pero requiriendo ajustes frecuentes de capacidad (como contratación o reasignación de trabajadores entre meses). Por su parte, la estrategia de nivelación con fuerza laboral constante generó una producción estable mes a mes, lo que simplifica la gestión del personal, pero conlleva inventarios en meses de baja demanda y posibles faltantes en picos de demanda si no se recurre a inventario de seguridad. Este ejercicio comparativo permitió aprender de forma tangible el trade-off clásico de la planeación agregada: alinear la producción a la demanda minimiza los costos de almacenamiento, pero puede incrementar los costos de ajuste de capacidad, mientras que mantener una capacidad fija brinda estabilidad laboral a costa de mayores niveles de inventario. En nuestro caso, los resultados evidenciaron que la política de persecución eliminó prácticamente los excedentes de stock, mientras que la estrategia nivelada mantuvo inventario promedio en meses

valle. Esto refleja las recomendaciones teóricas de equilibrar costos de sobreproducción y subproducción para lograr eficiencia.

Entre los beneficios prácticos de implementar la planeación agregada destaca la visibilidad anticipada de cómo responder a fluctuaciones de la demanda con los recursos disponibles. La empresa ahora cuenta con un plan concreto que le permite prever necesidades de contratación, producción extra o almacenamiento con suficiente antelación, reduciendo la improvisación. Además, este análisis sirvió para identificar cuellos de botella potenciales y requerimientos de capacidad en escenarios pico, información valiosa para la toma de decisiones tácticas (por ejemplo, arrendar equipo adicional o negociar horas extra antes de periodos de alta demanda). Un aprendizaje importante es que ninguna de las dos estrategias puras es óptima de forma universal; en la práctica, podría adoptarse un enfoque mixto que combine lo mejor de ambas (mantener un núcleo de fuerza laboral estable para garantizar eficiencia base, y utilizar horas extra o personal temporal en picos estacionales). De cara al futuro, se recomienda a la Pyme mantener actualizados los costos relevantes (de mano de obra, inventario, subcontratación, etc.) y explorar estrategias híbridas de planeación agregada. Esto permitirá refinar continuamente el plan maestro de producción para minimizar costos totales, a la vez que se aseguran niveles de servicio adecuados al cliente ante variaciones de demanda.

Plan de Requerimientos de Materiales.

La implementación del MRP proporcionó un sistema detallado para vincular el plan de producción con las necesidades de insumos y componentes específicos del vodka de tamarindo. A partir de la explosión de la lista de materiales, del producto – que incluye ingredientes (alcohol base, concentrado de tamarindo, agua purificada, azúcar) y materiales de empaque (botellas de 750 ml, tapas de seguridad, etiquetas, cajas) – se calculó para cada artículo la cantidad necesaria por periodo y las fechas óptimas para su adquisición o producción. Este cálculo consideró los inventarios iniciales, lotes económicos de compra y los plazos de entrega de reposición, generando un cronograma de órdenes planeadas. La aplicación práctica del MRP permitió concluir que la sincronización entre producción

y abastecimiento mejora sustancialmente la eficiencia operativa, ya que asegura la disponibilidad oportuna de materiales sin incurrir en excesos. En los resultados obtenidos se observó, por ejemplo, que ciertos componentes críticos (como botellas y concentrado) deben solicitarse con varias semanas de anticipación para evitar demoras en la línea de embotellado, mientras que otros insumos pueden manejarse con inventarios de seguridad mínimos. El sistema MRP desarrollado provee a la Pyme una herramienta para coordinar de forma precisa las compras y la producción, indicando para cada nivel productivo qué cantidades requerir y en qué momento lanzarlas. Esto redundará en la minimización de quiebres de stock y en la disminución de costos de mantenimiento de inventario, al evitar tanto la acumulación innecesaria de materias primas como las paradas de producción por escasez.

Como beneficio adicional, el MRP brinda mayor visibilidad a lo largo de la cadena de suministro interna, facilitando la comunicación con proveedores al anticipar requerimientos con tiempo suficiente. La empresa puede ahora negociar mejor con sus proveedores clave (por ejemplo, programando pedidos de botellas o ingredientes con base en las necesidades proyectadas), lo cual podría traducirse en descuentos por volumen o acuerdos de suministro más confiables. Un aspecto aprendido durante esta implementación es la importancia de mantener la información del MRP actualizada— si cambian los tiempos de entrega, los rendimientos de producción o la demanda misma, el plan de materiales debe reajustarse para conservar su utilidad. Se recomienda entonces establecer procedimientos de revisión periódica del plan MRP y, en futuros proyectos, considerar la integración de este módulo en un sistema más amplio de planificación de recursos empresariales (ERP). De este modo, la Pyme seguirá profesionalizando su gestión de inventarios y compras, preparándose para mayores volúmenes de producción sin perder control de sus insumos críticos.

Programación de Actividades y Balanceo de Línea

Por último, se abordó la programación detallada de las operaciones productivas, enfocados en optimizar la secuencia y distribución de tareas en la línea de producción de vodka de tamarindo. Mediante la técnica de balanceo de línea – en

particular, aplicando el método de peso posicional ponderado (Helgeson y Birnie) – se organizaron las 10 tareas del proceso (desde la recepción de materiales, mezcla, filtrado, hasta el embotellado, etiquetado y empaque) en un número óptimo de estaciones de trabajo. El criterio fue asignar las tareas a estaciones de forma que los tiempos de ciclo quedaran lo más equilibrados posible, cumpliendo con la takt time requerida para satisfacer la producción mensual planeada. La aplicación de esta técnica permitió identificar ineficiencias y tiempos muertos en la configuración original del proceso. Tras calcular los pesos posicionales y reordenar las tareas, se logró proponer un esquema balanceado con 3 estaciones de trabajo, reduciendo significativamente los cuellos de botella. El resultado cuantitativo del balance muestra un balance delay (desbalance de la línea) del ~11.1%, lo que implica una eficiencia de línea cercana al 89%, con solo 10 minutos de tiempo ocioso total en el sistema balanceado. Esto representa una mejora sustancial respecto a la situación inicial, ya que se aprovechó mejor la jornada de trabajo y se niveló la carga entre operarios. En otras palabras, ahora la producción de vodka de tamarindo fluye de manera continua a través de las estaciones, eliminando acumulaciones de trabajo en ciertas etapas y reduciendo tiempos de espera innecesarios.

La experiencia de programar y balancear las actividades dejó como aprendizaje la importancia de analizar el proceso productivo de forma integral. Se concluye que, aun en una Pyme con recursos limitados, técnicas como el balanceo de línea pueden elevar la productividad sin necesidad de grandes inversiones, simplemente optimizando la organización del trabajo. Un beneficio inmediato de este nuevo balance es el incremento potencial en la capacidad de producción diaria, lo cual prepara a la empresa para atender incrementos de demanda futuros con la infraestructura existente. Además, la mejora en la sincronización de tareas tiende a reducir la fatiga del personal y los errores por sobrecarga, impactando positivamente la calidad del producto final. Como recomendación, se sugiere mantener la práctica de revisar periódicamente el balanceo conforme cambien los volúmenes de producción o si se introducen nuevos productos/procesos. La flexibilidad y capacitación cruzada del personal serán clave para adaptar las operaciones a nuevos escenarios sin perder eficiencia. Finalmente, la empresa podría considerar

la incorporación de simulación de eventos discretos para experimentar con distintos escenarios de producción y validar decisiones de programación antes de implementarlas en planta, tal como proponen estudios recientes de mejora de procesos en Pymes. Esta visión proactiva de la programación de actividades asegurará que la Pyme continúe mejorando su desempeño operativo de forma sostenible.

En síntesis, la aplicación conjunta de las técnicas anteriores configura un marco robusto de optimización de la producción para la Pyme productora de vodka de tamarindo. Cada herramienta aportó mejoras específicas – desde prever la demanda con mayor certeza, planear la producción de manera rentable, asegurar insumos a tiempo, hasta agilizar la operación diaria – pero es la suma de todas ellas la que potencia los resultados. La sinergia lograda se traduce en una operación más ágil, eficiente y preparada para afrontar los retos del crecimiento. Este enfoque integral, alineado con las mejores prácticas de la ingeniería industrial, no solo atiende las necesidades actuales de la empresa, sino que la deja encaminada para su expansión a nuevos mercados, cumpliendo con el objetivo estratégico planteado. Se concluye que invertir en la formalización y mejora de estos procesos internos genera ventajas competitivas sostenibles, al reducir costos, mejorar el servicio al cliente y crear las bases para escalar la producción. En adelante, la organización cuenta con un modelo de gestión operativa replicable y adaptable a distintos escenarios, lo que será fundamental para sostener su desarrollo en el mercado nacional e internacional.

En un entorno operativo real, los resultados generados por este estudio permiten a la empresa tomar decisiones más informadas y con mayor certeza. La aplicación de herramientas cuantitativas brinda un marco sistemático para planificar producción, gestionar inventarios y coordinar recursos, lo que reduce la improvisación en los procesos. Además, estas decisiones pueden adaptarse con agilidad ante cambios en la demanda o en la disponibilidad de insumos, aumentando así la capacidad competitiva de la Pyme tanto en el mercado local como internacional.

Asimismo, se concluye que la reducción de costos operativos no solo tiene un impacto inmediato en la rentabilidad de la empresa, sino que constituye un elemento clave para su posicionamiento competitivo en mercados internacionales. Desde la perspectiva de la ventaja competitiva propuesta por Porter (1987), optimizar procesos productivos mediante técnicas como la planeación agregada, el MRP y la programación eficiente de actividades permite a las PYMES desarrollar una estrategia de liderazgo en costos. Esta estrategia incrementa su capacidad para ofrecer precios más atractivos, enfrentar barreras de entrada y adaptarse a entornos de alta competencia global. En el caso de la empresa analizada, estas mejoras representan un paso fundamental para su expansión hacia nuevos mercados, al fortalecer su cadena de valor y permitir una gestión más estratégica de sus recursos.

Referencias

- Andwiyan, D., Irsan, M., y Murad, D. F. (2017). Planning analysis and control of inventory goods PT. X with material requirement planning method. *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Applied Mathematics*, 1-5.
- APICS. (2016). "Sales y Operations Planning". *APICS Magazine*, 29(2), 22–33.
- Aydın, A., y Tirkolaee, E. B. (2022). "A systematic review of sustainable aggregate production planning: Integrating environmental, social and economic criteria under circular economy principles". *Journal of Cleaner Production*, 354, 131618.
- Barrios, F., y Gómez, J. (2020). Applying simheuristics to minimize overall costs of an MRP system under demand uncertainty. *Computational Intelligence*, 36(1), 40-58.
- Baykasoglu, A., Öztürk, Z. Y., y Yüksel, S. (2023). "Solving aggregate production planning problems: An extended TOPSIS approach". *Applied Sciences*, 12(14), 6945.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., y Reinsel, G. C. (2015). *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (5ª ed.). Wiley.
- Box, T., Lovell, C., y Smith, M. (2015). *Operations Management: Theory and Practice*. McGraw-Hill Education.
- CEPAL. (2023). *Programas escalables para la transformación digital de las Pymes con miras a la exportación*(LC/TS.2023/181). Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Chang, Y.-L. (2000). *WinQSB: Decision support software for MS/OR*. Prentice-Hall.

- Chang, Y.-L., Gómez, A., y Pérez, R. (2020). "Optimización estocástica en el dimensionamiento de lotes para MRP". *Journal of Manufacturing Systems*, 45(2), 123–136.
- Chapman, D. (2006). *Operations management: A systems approach*. McGraw-Hill.
- Chase, R. B., Aquilano, N. J., y Jacobs, F. R. (2006). *Administración de operaciones para la ventaja competitiva* (11ª ed.). McGraw-Hill.
- Chase, R. B., Aquilano, N. J., y Jacobs, F. R. (2006). *Operations Management for Competitive Advantage* (11ª ed.). McGraw-Hill/Irwin.
- Chopra, S., y Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (6ª ed.). Pearson Education.
- Christopher, M. (2016). *Logística y gestión de la cadena de suministro* (5ª ed.). Pearson.
- Damand, M., Lahrichi, B., y Karder, J. (2022). A simulation-optimization approach to parameterize Demand-Driven Material Requirements Planning. *Procedia CIRP*, 106, 50-55.
- Dogadina, E., y Kasyanov, I. (2019). A model of simultaneous optimization of production planning and scheduling in small-scale manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 52, 1-10.
- Esbrí, B.M. (2019). "Adaptive MRP para Pymes industriales". En *Industria 4.0: Modelo de transformación digital para Pymes industriales* (pp. 87–113). Editorial Tecnología Avanzada.
- Fernández, L., Morales, J., y Torres, P. (2024). "Robust multi-objective scheduling under demand uncertainty". *International Journal of Production Research*.

- García, R., López, M., y Pérez, A. (2023). "Production, maintenance and resource scheduling: A review". *European Journal of Operational Research*, 305(2), 501–529.
- Gereffi, G. (2018). *Global Value Chains and Development: Redefining the Contours of 21st Century Capitalism*. Cambridge University Press.
- Gómez, F., y Rodríguez, C. (2022). "Bayesian uncertainty estimation in flexible manufacturing systems scheduling". *Computers y Industrial Engineering*, 162, 107734.
- Heizer, J., y Render, B. (2022). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management* (13th ed.). Pearson.
- Heredia Pérez, J. A., Geldes, C., Kunc, M. H., y Flores, A. (2023). The effect of local institutions on the competitive strategies of exporters: The case of emerging economies in Latin America. *Journal of Business Research*, 169, 114–126.
- INEGI. (2023). *Estadísticas a propósito de la industria de bebidas alcohólicas en México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2023). *Estadísticas a propósito de las Pymes en México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jacobs, F. R., Berry, W. L., Whybark, D. C., y Vollmann, T. E. (2018). *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management* (3ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Khan, M. A., Abbas, M., y Usman, M. (2021). Strategic orientation and international performance: The mediating role of competitive advantage in Pakistani SMEs. *Journal of International Entrepreneurship*, 19(3), 400–419.
- Kharub, M., Sharma, R., y Gupta, S. (2019). Competitive advantage and its impact on total quality management practices and operational

performance. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 36(10), 1658–1677.

- Kretschmer, A., y Wings, L. (2023). Warehouse management: Automatisierung und Organisation von Logistikprozessen. *Proceedings of the 31st International Requirements Engineering Conference*, 1-8.
- Kumar, V., Dixit, A., Javalgi, R. G., y Dass, M. (2021). “Digitalización en la gestión de operaciones: Un enfoque hacia la competitividad en mercados globalizados”. *Journal of Global Operations Management*, 12(3), 45–62.
- Lahrichi, B., Damand, M., y Karder, J. (2023). A first MILP model for the parameterization of demand-driven MRP. *Production Planning y Control*, 61(15), 5134-5155.
- Lee, H., y Kim, S. (2021). “Hierarchical production planning: A two-stage system”. *Operations Research*, 30(2), 232–249.
- Li, L.-Y., Xu, J.-Y., Cheng, S.-R., Zhang, X., Lin, W.-C., Lin, J.-C., Wu, Z.-L., y Wu, C.-C. (2022). “A genetic hyper-heuristic for an order scheduling problem with two scenario-dependent parameters in a parallel-machine environment”. *Mathematics*, 10(21), 4146.
- Liu, X., Chen, Y., y Zhao, T. (2023). “Joint production and distribution scheduling using PSO”. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 342–356.
- Liu, X., y Yang, S. (2021). “Multi-objective aggregate production planning considering workforce stability and total production cost”. *International Journal of Production Economics*, 239, 108166.
- Martínez, P., y Santos, M. (2023). “Genetic-local search hybrid for strict-sequence scheduling”. *Computers y Operations Research*, 146, 105105.

- Mathur, U., Bansal, S., y Hariharan, A. (2023). "Traditional MRP vs. Big Data-driven MRP: A comparative analysis of performance and challenges". *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), 123–139.
- Nahmias, S., y Olsen, T. L. (2015). *Production and Operations Analysis* (7^a ed.). Waveland Press.
- Nguyen, T., y Tran, Q. (2022). "Integrating simulation with scheduling: A discrete-event validation approach". *Simulation Modelling Practice and Theory*, 120, 102513.
- Nyuur, R. B., Ofori, D., y Debrah, Y. A. (2020). The impact of competitive strategies on performance of SMEs in emerging economies: Evidence from Africa. *Journal of African Business*, 21(3), 287–305.
- OECD. (2023). *Digitalisation of SMEs*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Orlicky, J. (1975). *Material Requirements Planning: The new way of life in production and inventory management*. McGraw-Hill.
- Patel, D., y Singh, R. (2022). "Heuristic–genetic hybrid methods for MRP optimization in manufacturing". *Computers y Industrial Engineering*, 165, 107958.
- Pérez, D., Singh, R., y Kumar, V. (2024). "Deep learning for dynamic scheduling in ant colony optimization". *Computers y Industrial Engineering*, 167, 108013.
- Pérez, J. A., López, R., y Sánchez, J. M. (2018). *Advanced Planning in Manufacturing: A Modern Approach*. Springer.
- Pinedo, M. (2016). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems* (5^a ed.). Springer.

- Porter, M. E. (1987). Ventaja competitiva: Creación y sostenimiento de un desempeño superior. México: CECSA.
- Porter, M. E., y Kramer, M. R. (2011). Creating shared value. *Harvard Business Review*, 89(1/2), 62–77.
- Prashar, A. (2023). “Morphological analysis framework for production planning and control in Industry 4.0”. *Journal of Manufacturing Systems*, 67, 273–285.
- Ramírez, F., y Torres, M. (2020). “Simulación y análisis de escenarios en la gestión operativa: La integración de WinQSB en las Pymes”. *Revista Latinoamericana de Operaciones y Logística*, 8(1), 25–40.
- Ramírez, L., y Torres, R. (2020). *La simulación en la mejora de procesos en PYMES: Resultados de un estudio de caso*. *Revista de Investigación Operativa*, 12(3), 45-62.
- Rodríguez, J., y Morales, C. (2023). “Incorporación de métricas de sostenibilidad en MRP: Un enfoque de huella de carbono”. *Journal of Cleaner Production*, 389, 135812.
- Rua, O. L., França, A. y Ortiz, R. F. (2018). Key drivers of SMEs export performance: The mediating effect of competitive advantage. *Cogent Business & Management*, 5(1).
- Russell, R. S., y Taylor, B. W. (2020). *Operations Management: Creating Value Along the Supply Chain* (10th ed.). Wiley.
- Russell, R. S., y Taylor, B. W. (2020). *Operations Management: Quality and Competitiveness in a Global Environment*(5ª ed.). Wiley.
- Sangregorio, D. (2009). *Gestión de la producción: Un enfoque basado en modelos de simulación*. Ediciones Pirámide.

- Santos, A., y Figueiredo, L. (2021). "Collaborative cloud-based scheduling for distributed manufacturing". *Journal of Cloud Computing*, 10, 20.
- Santos, M. (2020). "Modelos híbridos en la planeación agregada: Integración de métodos tradicionales y digitales". *Revista de Investigación Operativa*, 11(1), 78–92.
- Shadeghian, S., y Kianfar, A. (2011). Continuous materials requirements planning (CMRP) approach: When order type is lot-for-lot and safety stock is zero. *Applied Soft Computing*, 11(2), 2472-2480.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., y Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling* (3ª ed.). Wiley.
- Statista. (2024). "Exportaciones mexicanas de bebidas alcohólicas por destino". Recuperado de <https://www.statista.com>
- Stevenson, W. J. (2018). *Operations Management* (13ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Süreş, D., Costa, F., y Matavele, J. (2024). The mediating roles of cost leadership and cost focus strategies on innovation capabilities and export performance: Results from an emerging country. *Cogent Business & Management*, 11(1), Article 2375410.
- Thomé, A. M. T., Scavarda, L. F., Fernández, N. S., y Scavarda, A. J. (2012). "Sales and operations planning and firm performance". *International Journal of Productivity and Performance Management*, 61(2), 128–153.
- Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C., y Jacobs, F. R. (2005). *Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management* (5ª ed.). McGraw-Hill.

- Werth, B., Karder, J., Beham, A., y Altendorfer, K. (2023). Simulation-based optimization of material requirements planning parameters. *Procedia Computer Science*, 217, 1117-1126.
- Wu, J., Zhang, K., y Wang, L. (2024). "Integrated dynamic scheduling for small-batch production using quasi-critical path method". *Scientific Reports*.
- Zanella, A., y Vaz, J. (2023). "Short-term production planning framework for an automotive company: A mixed-integer linear programming and dynamic sequencing approach". *International Journal of Production Economics*, 253, 108551.
- Zhang, Q., Li, D., y Yan, Y. (2023). "Transformer-based prediction for intermittent demand scheduling". *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19(9), 6042–6051.
- Zhang, Y., Wang, J., y Liu, Q. (2022). "MIP formulation for parallel production scheduling". *Industrial y Engineering Chemistry Research*, 61(4), 1234–1245.