

Modelo matemático para la planeación productiva en una empresa de pulpa de frutas en Bogotá

Mathematical model for productive planning in a fruit pulp company in Bogota

Óscar Javier Herrera Ochoa¹ y Juan Manuel García Marulanda²

¹<https://orcid.org/0000-0002-0001-8804>. Universidad de La Salle, Bogotá D.C., Colombia, ojherrera@unisalle.edu.co

²<https://orcid.org/0009-0008-7740-0105>. Universidad de La Salle, Bogotá D.C., Colombia, jmgarcia02@unisalle.edu.co

Fecha de recepción: 10/09/2024
Fecha de aceptación del artículo: 05/12/2024



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.13664>

O. J. Herrera Ochoa y J. M. García Marulanda, "Modelo matemático para la planeación productiva en una empresa de pulpa de frutas en Bogotá", *Avances*, vol. 22, no. 2 (julio-diciembre), Dic. 2025, doi: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.13664>.

Resumen

Se presenta un modelo de optimización basado en programación entera mixta para mejorar la planificación productiva en una empresa de pulpa de frutas en Bogotá. La problemática aborda la asignación ineficiente de recursos debido a restricciones de capacidad, mercado y almacenamiento, lo que genera una pérdida del 21 % de la capacidad productiva. El modelo desarrollado maneja condiciones operacionales del sistema como la capacidad de producción, el área de almacenamiento, los requerimientos de mercado, el uso de horas extra y el alquiler de maquinaria. Se evaluaron cinco escenarios que incluyen incrementos en la capacidad productiva y ajustes en los recursos disponibles, con el objetivo de reducir la brecha entre la capacidad actual y la demanda potencial del mercado. Los resultados se obtuvieron con las herramientas GAMS y solver Cplex, y muestran que la implementación de jornadas laborales extendidas y el alquiler de recursos adicionales pueden incrementar significativamente la eficiencia operativa, maximizando las ganancias y mejorando la satisfacción de los clientes. Este trabajo ofrece recomendaciones prácticas para optimizar la planificación productiva, destacando el impacto de la programación matemática entera mixta como herramienta clave para la toma de decisiones estratégicas en la industria alimentaria.

Palabras clave: optimización, programación entera mixta, planificación productiva, pulpa de frutas.

Abstract

A mixed-integer programming optimization model is presented to improve production planning in a fruit pulp company in Bogotá. The problem addresses the inefficient allocation of resources due to capacity, market, and storage constraints, resulting in a 21% loss of production capacity. The developed model incorporates operational system conditions such as production capacity, storage area, market requirements, the use of overtime, and equipment leasing. Five scenarios were evaluated, including increases in production capacity and adjustments in available resources, with the aim of reducing the gap between current capacity and potential market demand. The results were obtained using GAMS and the CPLEX solver and show that the implementation of extended working hours and the leasing of additional resources can significantly increase operational efficiency, maximizing profits and improving customer satisfaction. This work provides practical recommendations for optimizing production planning, highlighting the impact of mixed-integer programming as a key tool for strategic decision-making in the food industry.

Keywords: optimization, mixed integer programming, production planning, fruit pulps.

1. Introducción

La planificación de las operaciones productivas es uno de los aspectos fundamentales para alcanzar altos niveles de competitividad empresarial [1]. Esto cobra más valor si se tienen sistemas con muchas variables y condiciones restrictivas. En ese sentido, el uso de técnicas cuantitativas da un gran soporte para que dicha planeación sea óptima o muy buena, dependiendo de las características del sistema [2].

Este documento está organizado de la siguiente manera: planteamiento del problema que justifica la consecución del presente trabajo, además de proponer el objetivo de forma clara; seguidamente, se da la base referencial con el marco teórico y antecedentes que lo soportan. Posteriormente, se establece la metodología junto con el diseño del modelo que da respuesta a la pregunta de investigación. Finalmente, se emiten los resultados y conclusiones del trabajo.

1.1. Problema de investigación

En empresas con altos volúmenes de producción y variedad de productos, la planificación productiva se vuelve compleja y dispendiosa. Este trabajo se enfoca en una empresa productora de pulpa de frutas en Bogotá, buscando mejorar la planificación productiva mediante técnicas cuantitativas. La problemática principal radica en la asignación ineficiente de horas de trabajo, con una pérdida del 21 % de la capacidad disponible, debido a la falta de evaluación de opciones de fabricación, la omisión de la demanda del mercado y las condiciones de almacenamiento. Se identifican restricciones operacionales, de capacidad productiva, mercado y de espacio en almacén, que hacen compleja dicha planificación.

La pregunta para la investigación es: ¿qué modelo cuantitativo puede optimizar la planificación productiva de una empresa de

pulpa de frutas en Bogotá para mejorar su desempeño actual?

1.2. Objetivo

Desarrollar un modelo de optimización basado en programación matemática entera mixta para la planificación productiva en una empresa productora de pulpa de frutas en Bogotá, integrando las restricciones citadas en el planteamiento del problema. Este modelo debe mejorar la eficiencia y adaptabilidad en la producción, ajustándose a la demanda del mercado. Además, se busca evaluar y comparar cinco escenarios de mejora, que incluyen aumentos en la capacidad de producción, extensión de jornadas laborales, incremento del área de trabajo y opciones de alquiler de maquinaria y almacenamiento, pues estos son los recursos definidos en la problemática del sistema. El propósito es determinar una alternativa que reduzca de manera más efectiva la brecha entre la capacidad actual de la empresa y la demanda del mercado.

Así mismo, se requiere facilitar la toma de decisiones estratégicas mediante el análisis de los resultados obtenidos del modelo y de su análisis de sensibilidad. Las recomendaciones prácticas derivadas deben ayudar a la empresa a tomar decisiones informadas sobre la planificación productiva, optimizando la eficiencia operativa y mejorando la capacidad de respuesta ante fluctuaciones en la demanda, asegurando una mayor satisfacción del cliente y reduciendo los costos operativos.

2. Marco referencial

La creciente demanda de productos naturales y saludables en el mercado ha llevado a las empresas de este sector a replantear sus procesos productivos. En este contexto, es fundamental contar con herramientas que optimicen el uso de los recursos disponibles y mejoren la capacidad de respuesta a la demanda, manteniendo

altos niveles de eficiencia y competitividad. Los modelos matemáticos son herramientas que permiten representar procesos reales dentro de un entorno controlado [3]. En la industria de alimentos perecederos, como la producción de pulpa de frutas, estos modelos desempeñan un papel crucial en la optimización de la planeación productiva y la reducción de desperdicios.

2.1. Marco teórico

La investigación de operaciones es fundamental en la toma de decisiones para la asignación de recursos productivos y la reducción de costos en sistemas de producción. Según Méndez [4], estas técnicas cuantitativas permiten determinar el mejor curso de acción en problemas de decisión con recursos limitados. La investigación de operaciones se asocia principalmente con el uso de modelos matemáticos para representar y analizar problemas de decisión. Winston [5] señala que los modelos cuantitativos son representaciones matemáticas de situaciones reales que ayudan a comprender mejor dichas situaciones y tomar decisiones más informadas.

Estos métodos, tanto en manufactura como en servicios, facilitan la toma de decisiones para diseñar y mejorar procesos, con el objetivo de aumentar la productividad organizacional al reducir tiempos y costos, cumpliendo con los requerimientos del cliente [1]. Por otra parte, en [6] se enfatiza que los métodos cuantitativos se fundamentan en técnicas de la investigación de operaciones, utilizando modelos matemáticos para resolver problemas de gestión empresarial y de ingeniería, mediante el análisis de algoritmos y herramientas de optimización.

Por su parte, los procesos productivos transforman materiales adquiridos en productos vendibles para su distribución. Estos procesos implican la gestión del flujo de productos o materias primas dentro de la planta, utilizando máquinas, equipos, recursos financieros, humanos y energéticos para dicha transformación [7]. Así las cosas, la optimización y mejora continua de los procesos son fundamentales para alcanzar altos estándares de calidad y mantener la operatividad y confiabilidad de la empresa [8]. La productividad empresarial se define como la medida de eficiencia obtenida entre los procesos desarrollados y los recursos utilizados, y se evalúa cuantitativamente en relación con la producción final y los factores de producción [9].

En cuanto al producto tratado, las pulpas son preparaciones especiales a partir de frutas frescas, pasteurizadas o congeladas, empacadas usualmente en bolsas plásticas de polietileno extruido de baja densidad para una adecuada protección y presentación [10]. Estas pulpas actúan como reguladores de los suministros de fruta, procesándose en épocas de cosecha para su uso posterior, cuando la disponibilidad es baja, facilitando un manejo rápido para clientes que deseen evitar el procesamiento de frutas para su consumo.

2.2. Marco de antecedentes

La tabla 1 muestra la clasificación de los documentos utilizados en la revisión bibliográfica, teniendo en cuenta su enfoque desde la gestión general o sólo desde la planeación productiva, además de tener en cuenta la técnica cuantitativa y la herramienta utilizada. Estas características se presentan en las figuras 1 y 2.

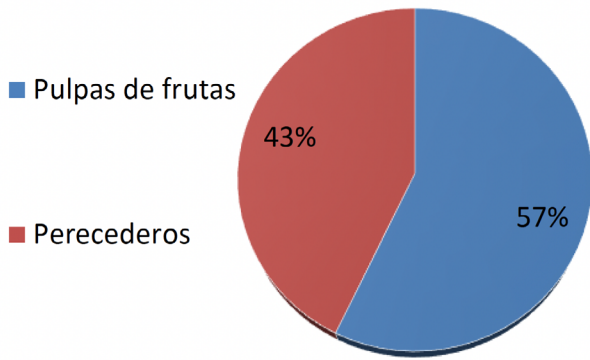


Figura 1. Proporción de artículos por tipología.

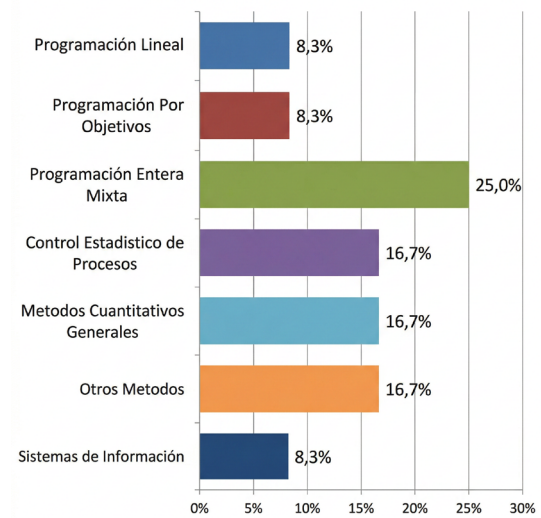


Figura 2. Proporción de artículos que aplicaron técnicas para la planeación de la producción.

Tabla 1. Clasificación de los documentos utilizados en la revisión bibliográfica.

Fuente	Gestión o planeación	Pulpa de frutas	Otros perecederos	Metodología	Herramienta de solución	Documento
(Daniela Hinojosa, 2022)	Planeación de la producción	x	0	Programación lineal	Risk Simulator	Tesis [11]
(Eduardo Landínez, 2011)	Gestión de la producción	0	x	Evaluación sensorial	Plan HACCP	Tesis [10]
(Diallo et al., 2021)	No aplica	x	0	Revisión de la bibliografía	Bases de datos	Paper [12]
(Vita Sarasi et al., 2023)	Planeación de la producción	0	x	Programación de objetivos	POM-PQ	Paper [3]
(Amorim et al., 2011)	Planeación de la producción	0	x	Múltiples modelos	No se especifican	Paper [13]
(Sara Paredes, 2022)	Gestión de la producción	x	0	Control estadístico de procesos	Análisis de indicadores	Tesis [14]
(Ana Reyna, 2020)	Planeación de la producción	0	x	Lenguaje Simio	Programa Simio	Tesis [15]
(Johnny López, 2021)	Planeación de la producción	x	0	Investigación de operaciones	Excel	Tesis [16]
(Guzmán E, 2020)	Planeación de la producción	0	0	Programación lineal, entera y entera mixta	Bases de datos	Paper [17]
(Luis Toapanta, 2023)	Planeación de la producción	0	0	Control estadístico de procesos	Six Sigma	Tesis [18]
(Édgar Trevino, 2016)	Planeación de la producción	0	x	Programación entera mixta	Branch and Bound	Tesis [19]
(Óscar Quiroga, 2009)	Gestión de la producción	x	0	Sistema de Manufactura Flexible	Simulación	Paper [20]

Fuente	Gestión o planeación	Pulpa de frutas	Otros perecederos	Metodología	Herramienta de solución	Documento
(Sergio Herrera, 2023)	Planeación de la producción	0	x	Desarrollo de herramientas para manejo de la información	PEPS y "make to stock"	Tesis [21]
(Angie Sánchez, 2023)	Planeación de la producción	0	0	Estado del arte de programación lineal y derivados	Bases de datos	Paper [22]

Se destaca que el 14,3 % equivale a documentos de revisión bibliográfica. De los cuales, el 77 % se enfocaron en actividades de planeación de la producción y el restante en otras actividades de la gestión productiva. Por otra parte, frente a los hallazgos encontrados, que se resumen en la figura 2, se identificó una amplia variedad de metodologías utilizadas en la planificación de la producción. En primer lugar, persiste una fuerte preferencia por el uso de la técnica de programación entera mixta como una de las más empleadas en este ámbito, encontrándose otros trabajos relacionados con técnicas de optimización clásica en programación lineal y por objetivos, representando un 41,6 % del total de fuentes encontradas relacionadas con estas técnicas.

Igualmente, la llegada de la era tecnológica ha dado cabida a distintas formas de avances para la planeación en la producción. Un ejemplo es el trabajo de [22], quienes encontraron que muchos avances en la competitividad del sector agropecuario se centran en la aplicación de los modelos de optimización, encontrando cerca de 240 publicaciones referentes al uso de estas técnicas matemáticas, en la que sobresale la aplicación de la programación entera mixta.

Por su parte, [11] desarrolló un modelo de optimización para la producción de pulpas de fruta congelada. Su enfoque busca maximizar la productividad en un contexto en el que las variaciones de demanda y los límites de capacidad son factores críticos. Utilizando Solver de Excel, formuló y resolvió el modelo, mostrando que pequeñas modificaciones

en el proceso productivo, como el uso de máquinas adicionales que ayuden en los procesos impactan considerablemente en la eficiencia del proceso.

A lo largo del tiempo, la programación entera mixta ha tenido varios enfoques y algoritmos de solución que ayudan a mejorar la resolución de problemas específicos, como [19], que empleó el algoritmo de Branch and Bound.

Aunque ciertamente el uso de la programación entera mixta es importante, el poder elegir un software que sea lo suficientemente flexible y fácil de usar para encontrar la solución a estos modelos son igual de importantes, como [16] y [21] que emplearon Excel para la solución de sus modelos.

En relación con el contexto específico de la industria de pulpa de frutas en Bogotá, este trabajo busca construir, sobre los antecedentes encontrados, una técnica de optimización que permita incrementar los niveles de eficiencia del sistema en cuestión y en el que se puedan evaluar diversos escenarios para determinar el modelo más adecuado para la planificación productiva en esta empresa en particular.

3. Métodos

Este trabajo desarrolla una investigación básica de nivel descriptivo, con un enfoque cuantitativo no experimental, ya que su objeto es determinar el diseño de un

modelo para la planeación del proceso de manufactura para satisfacer las necesidades productivas actuales y futuras, en el que se detalla la información obtenida en el campo de los procesos, almacenamiento, capacidad instalada y demanda. Con los estudios descriptivos se busca especificar las características de los procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, medir o recoger información sobre las variables a las que se refieren [23]. Por otra parte, se tiene un enfoque cuantitativo, ya que se establecen conjeturas de solución al problema establecido, determinando un análisis de las variables caracterizadas, mediante su medición en un determinado contexto. Se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos y se extraen las conclusiones.

Con este enfoque, se trabajó con la metodología del análisis sistémico de métodos cuantitativos para la toma de decisiones, la cual inicia con la identificación clara de un problema, luego se define la técnica específica que se va a utilizar para su análisis, seguido de las variables y parámetros que se deben incluir en el modelo, para luego hacer una recolección de los datos relacionados y, posteriormente, diseñar un modelo matemático que se valida a través de análisis estadístico. Finalmente, se llevan a cabo escenarios de comportamiento del sistema mediante el respectivo modelo y se evalúan los resultados para proponer el mejor curso de acción que solucione efectivamente el problema planteado.

4. Modelo

Para el diseño del modelo se utilizó Programación Entera Mixta (PEM) como una forma de abarcar la problemática de una manera eficiente y rápida. El modelo contempló el criterio de maximización de la utilidad, con restricciones de capacidad productiva por periodo de planeación y tipo de proceso, además de restricciones de demanda mínima y máxima, de espacio

de almacenamiento y de condicionalidad, en el que si se llegara a fabricar el producto 1 en la semana 2, no se puede fabricar el producto 3 en la misma semana, esto debido a condiciones de disponibilidad tecnológica en el proceso. Por otra parte, en el modelo se evaluaron cinco escenarios para establecer diversos desempeños del sistema, en los que se buscó reducir la diferencia entre la demanda que abarcaba el proceso y la demanda potencial del mercado.

4.1. Escenarios

- Escenario inicial: Comportamiento actual del sistema.
- Escenario 1: Aumento en la capacidad disponible de producción en 10 %.
- Escenario 2: Aumento de capacidad de producción en una hora extra diaria y aumento del área disponible en 20 %.
- Escenario 3: Aumento de la capacidad en medio turno extra a la semana.
- Escenario 4: Alquiler de una máquina y almacenamiento para el aumento de las capacidades de producción y área disponible.

4.2. Diseño de los modelos

4.2.1. Modelo empleado para los escenarios inicial, 1 y 2

Índices del modelo

i: Tipo de producto ($i=1, 2, \dots, 5$).

j: Periodo de tiempo para el desarrollo del trabajo, dado en semanas ($j=1,2,3,4$).

k: Tipo de proceso necesario para la fabricación de la pulpa de frutas ($k=1,2,3$

donde 1: lavado, 2: procesamiento y 3: empaquetado).

Variables del modelo

X_{ij} : Cantidad de toneladas a producir del producto i en la semana j .

Y : Variable binaria que activa la fabricación del producto 1 en la semana 2.

Parámetros del modelo

U_{ti} : Utilidad por tonelada del producto i a la semana.

Dem_{ij} : Demanda máxima del producto i en la semana j .

Dem_{inj} : Demanda mínima del producto i en la semana j

A_i : Área de ocupación del producto i

A_t : Área total disponible para el almacenamiento

TP_{ik} : Tiempo necesario para el proceso k del producto i

TPT_{jk} : Capacidad disponible del proceso k en la semana j

Ecuaciones

$$F. O. \text{Max}(W) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 U_{ti} X_{ij} \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{i=1}^5 TP_{ik} X_{ij} \leq TPT_{jk} \quad \forall j, k \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^5 A_i X_{ij} \leq A_t \quad \forall j \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq Dem_{ij} \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$X_{ij} \geq Dem_{inj} \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$X_{12} \leq MY \quad \forall i = 1, j = 2 \quad (6)$$

$$X_{32} \leq M(1 - Y) \quad \forall i = 3, j = 2 \quad (7)$$

En la ecuación (1) se define la función objetivo del modelo, cuyo propósito es maximizar la utilidad en el horizonte de planeación de un mes definido en semanas. La ecuación (2) establece que la producción de pulpa de frutas no debe superar la capacidad disponible en los distintos procesos k durante la semana j .

Por su parte, en la ecuación (3) se establece que el área ocupada por tonelada de pulpa de fruta para los diferentes productos, no exceda la disponibilidad total del área para el almacenamiento por semana.

Las ecuaciones (4) y (5) imponen restricciones para satisfacer la demanda máxima y mínima del producto i en la semana j , respectivamente.

Por último, las ecuaciones (6) y (7) condicionan la producción, especificando que no es posible fabricar pulpas de los tipos 1 y 3, respectivamente, durante la misma semana 2.

4.2.2. Modelo empleado para el escenario 3

Para el tercer escenario se planteó un aumento en la capacidad disponible para los procesos, por lo que se decidió aumentar en medio turno extra la capacidad de producción a la semana, es decir, trabajando mediodía del sábado.

Variables

Se vuelven a utilizar las variables de los escenarios anteriores, adicionando la siguiente

variable:

Z_j : Variable binaria que activa el costo fijo de fabricación por hacer turnos extra.

Parámetros

Se vuelven a utilizar los parámetros de los escenarios anteriores, pero se adicionan los siguientes:

Cfj : Costo fijo por el aumento de la capacidad disponible con turnos extra en la semana j .

Te : Valor del incremento en la capacidad disponible por los turnos extra.

Ecuaciones

El sistema de ecuaciones es el mismo del ítem 4.2.1, sólo que ahora la función objetivo y la restricción de capacidad cambian, como se muestra a continuación:

$$F.O. \text{ Max}(W) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 Ut_i X_{ij} - \sum_{j=1}^4 Cf_j Z_j \quad (8)$$

s.a.

$$\sum_{i=1}^5 TP_{ik} X_{ij} \leq TPT_{jk} + Z_j Te \quad \forall j, k \quad (9)$$

Para la evaluación del escenario 3, se remplazaron las ecuaciones (1) y (2) por las ecuaciones (8) y (9), mientras que las demás permanecieron sin cambios.

En la ecuación (8) se adiciono al modelo el concepto de un cargo fijo asociado al uso de turnos extra durante la semana, reflejando los costos adicionales generados por esta decisión. Por su parte, la ecuación (9) ajusta la disponibilidad de horas semanales, ampliándolas para considerar el efecto de las horas extras trabajadas.

4.2.3. Modelo empleado para el escenario 4

Para el cuarto escenario se evaluó la posibilidad de aumentar la capacidad disponible a través del arrendamiento de una máquina, además de un nuevo establecimiento para ampliar el área de la que se dispone para salvaguardar los productos. Con esta ampliación en el modelo se descarta la variable binaria (Y),

ya que el sistema no tiene la limitación de producir el producto 1 y 3 en la misma semana 2 al contratar la nueva máquina, como se presentaba en la condición actual de operación.

VARIABLES

Se vuelven a utilizar las variables del escenario 3, menos la variable binaria (Y), adicionando las siguientes variables:

Vj : Variable binaria que activa el costo fijo por el alquiler de las máquinas en cada una de las estaciones de trabajo para aumentar la capacidad de producción en la semana j .

Pj : Variable binaria que activa el costo fijo de alquilar un espacio para el almacenamiento de los productos por semana.

Parámetros

Se vuelven a utilizar los parámetros del escenario 3, pero se adicionan los siguientes:

$Cfaj$: Costo fijo por el alquiler del espacio de almacenamiento extra por semana.

$Cfamj$: Costo fijo por el alquiler de las máquinas alquiladas en las estaciones de trabajo para la semana j .

$Temj$: Valor del incremento en la capacidad disponible por semana debido al alquiler de las máquinas.

Taj : Valor del incremento del área disponible por semana debido al alquiler de un almacén como forma de ampliar el área total de resguardo.

Ecuaciones

$$F.O. Max(W) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 Ut_i X_{ij} - \sum_{j=1}^4 Cf_j Z_j - \sum_{j=1}^4 P_j Cf a_j - \sum_{j=1}^4 Cf am_j V_j \quad (10)$$

s.a.

$$\sum_{i=1}^5 TP_{ik} X_{ij} = TPT_{jk} + Z_j Te + V_j Tem_j \quad \forall j, k \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^5 A_i X_{ij} = At + Ta_j P_j \quad \forall j \quad (12)$$

En el escenario 4 se remplazaron las ecuaciones (3), (8) y (9) por las ecuaciones (10), (11) y (12), respectivamente.

La ecuación (10) de la función objetivo incluye en el criterio de decisión si se utiliza almacenamiento adicional semanal mediante el alquiler de un almacén, además de considerar el alquiler de una máquina extra por cada estación de trabajo por semana, con el objetivo de incrementar la flexibilidad del sistema productivo. En la ecuación (11) se conserva el concepto del uso de horas extras, pero se añade la capacidad de incorporar una máquina adicional por estación de trabajo y por semana para incrementar la capacidad del proceso productivo. Finalmente, la ecuación (12) ajusta la disponibilidad del área total para reflejar el impacto del uso del almacenamiento adicional.

5. Resultados y discusión

Resultados del modelo

El software GAMS, versión 39.2, utilizando el solver Cplex se utilizó para correr los modelos, cuyos resultados obtenidos comparativamente por escenarios se presentan a continuación. Se parte por mostrar las condiciones de cubrimiento actual de la demanda, lo cual es el factor principal para establecer los diferentes escenarios, con el fin de mejorar su cobertura (figura 3).

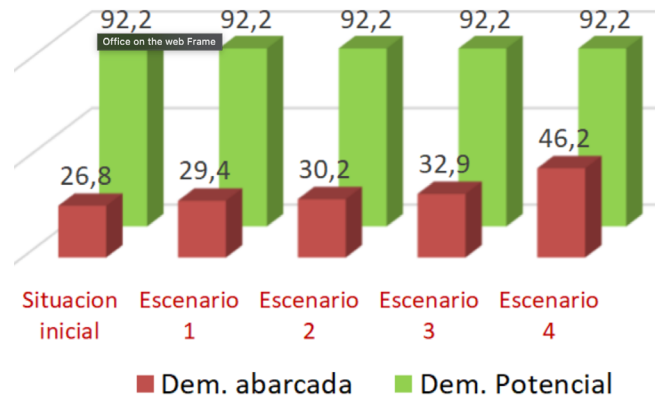


Figura 3. Comparativo de la cobertura de la demanda por escenarios.

Se observa que la capacidad de producción inicial no es adecuada para satisfacer la demanda potencial, teniendo una ganancia definida en la función objetivo de \$1746 dólares a lo largo del periodo de referencia equivalente a un mes. En el escenario 1, al aumentar la capacidad de producción en un 10 %, la ganancia aumentó 9,3 %, mientras que en el escenario 2 creció 12,7 %. A su vez, en el escenario 3 aumentó al 22,2 % y finalmente en el escenario 4 tuvo un aumento del 59,1 %.

En la figura 4 se establecen las coberturas del sistema productivo para alcanzar los requerimientos del mercado.

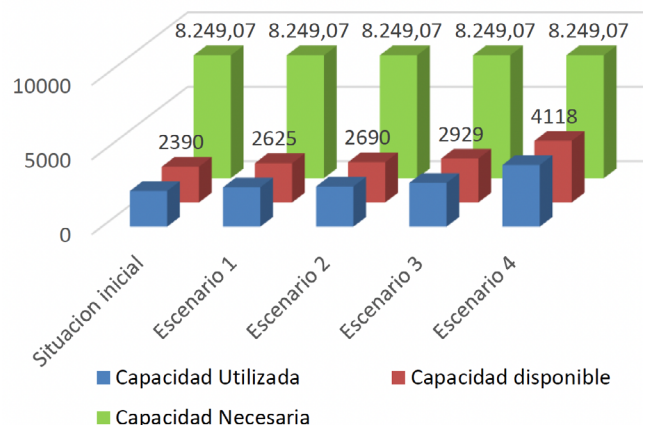


Figura 4. Uso de las capacidades (real y necesaria) para cubrir la demanda potencial por escenarios.

En el escenario 1 la satisfacción de la demanda pasó de 29,7 % a 32,3 %. En el escenario 2 se observó que el área disponible no cumplía con los estándares, por lo que se incrementó en un 20 % (figura 3) y se añadió una hora extra diaria de trabajo, resultando una ganancia de \$1968 dólares, con un nivel de satisfacción de la demanda del 33 %, mientras que para el escenario 3, que implicó una jornada extra de medio turno semanal, con un costo fijo adicional de horas extras, obteniéndose un valor de \$2134 dólares en la ganancia y un nivel de satisfacción de demanda del 36,1 %. Finalmente, en el escenario 4 se exploraron nuevas opciones para incrementar la producción y el área de almacenamiento, se evaluó el alquiler de un almacén adicional de 40 metros cuadrados y una máquina, que aunque aumentaba la capacidad de producción sólo podía utilizarse a la mitad de su capacidad total, debido a restricciones de inspección y seguridad, obteniendo de esta manera un nivel de cubrimiento de la demanda del 50,5 % y una ganancia de \$2778 dólares.

Discusiones

La investigación aplicada sobre la planificación productiva en la empresa de pulpa de frutas en Bogotá ofrece una relevancia significativa al introducir un modelo de optimización basado en programación entera mixta para abordar la complejidad de la planificación en un entorno variable con alta demanda. Esto lo corroboran estudios de revisión en cadenas de suministro [17], en los que se establece con un 82,4 % el uso de esta técnica para la planeación de la producción dentro del 88,2 % de trabajos que se enfocaron en la gestión de la producción a lo largo del estudio de la cadena de suministro. Esta metodología cuantitativa proporciona una solución sobresaliente para la asignación eficiente de recursos, superando las limitaciones de los enfoques tradicionales que a menudo no consideran la interacción dinámica entre capacidad de producción, demanda del mercado y espacio de almacenamiento a nivel determinístico.

La pertinencia de este estudio radica en su capacidad para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones en los aspectos estratégico y operativo en un sector crucial de la industria alimentaria. Al evaluar y comparar diversos escenarios de mejora mediante el uso del modelamiento de la programación entera mixta, que ofrece a la empresa una herramienta concreta para reducir la brecha entre la capacidad productiva actual y la demanda real, optimizando recursos y aumentando la rentabilidad.

6. Conclusiones

El uso de la programación entera mixta, PEM, como técnica matemática exacta para el modelamiento y análisis de los sistemas, ha demostrado ser efectiva para abordar la problemática de planificación productiva en una empresa de pulpa de frutas en Bogotá, proporcionando una herramienta robusta para evaluar y mejorar la capacidad de producción. Los escenarios evaluados mostraron que aumentar la capacidad de producción en un 10 % y extender el área de trabajo resultaron en mejoras significativas en la satisfacción de la demanda, aunque cada escenario presentó diferentes implicaciones en términos de costos y eficiencia.

El análisis de sensibilidad indicó que la inversión en aumento de capacidad y extensión de jornadas laborales puede ofrecer mejoras operativas considerables, pero también implica costos adicionales que se deben gestionar. El alquiler de maquinaria y almacenamiento mostró ser una solución viable para satisfacer picos de demanda sin comprometer la capacidad existente, aunque se debe considerar su impacto a largo plazo en la viabilidad financiera de la empresa. Estas conclusiones permitirán a la empresa tomar decisiones informadas para optimizar su planificación productiva y mejorar su desempeño en el mercado.

7. Referencias

1. G. Meneces, «Metodos cuantitativos en manufactura y servicios para mejorar la productividad organizacional,» 2023.
2. H. A. Taha, Investigación de operaciones, Naucalpan de Juárez, Estado de México: Pearson Education, 2012.
3. N. D. S. V. W. Vita Sarasi, «Optimization of Production Planning for Food and Beverage MSMEs,» *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, Bekasi, 2023.
4. Méndez, «Investigacion de operaciones, técnicas cuantitativas para la toma de decisiones con recursos limitados,» 2020.
5. W. Winston, «Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos,» 2005.
6. Ortega, «Técnicas de investigación de operaciones para resolver problemas de gestión empresarial e ingeniería,» 2008.
7. Pastor, «Procesos productivos y la transformación de materiales en productos vendibles,» 2013.
8. C. D. S. Jhainer Soñett De La Hoz, «Sistema productivo industrial utilizando modelos de manufactura esbelta,» *Revista venezolana de gerencia*, pp. 718-730, 2023.
9. Jaramillo, «Definición de productividad empresarial y su relación con factores de producción,» 2022.
10. E. M. A. Landírez, «Estudio del proceso de producción de pulpas de frutas combinadas pasteurizadas y congeladas a mediana escala,» *Escuela Superior Politécnico del Litoral*, pp. 40-50, 2011.
11. D. R. C. Hlinojosa, *Optimización de procesos productivos en planta*, Quito, 2022.
12. T.-D. N. T. N.-Q. U. V. C. Diallo, «Mathematical Programming Models for Fresh Fruit Supply Chain Optimization: A Review of the Literature and Emerging Trends,» *AgriEngineering*, pp. 519-514, 2021.
13. P. Amorim, H. Meyr, C. Almeder y B. Almada-Lobo, *Managing perishability in production-distribution planning: a discussion and review*, Portugal: Springer Science+Business Media. LLC, 2011.
14. S. N. J. Paredes, *Análisis de la productividad del proceso de producción de pulpas de fruta*, Ecuador, 2022.
15. A. M. Reyna, Modelamiento y simulación del proceso de elaboración de conserva de frutas usando el lenguaje Simio, Calao, 2020.
16. L. P. J. Johnny, Diseño e implementación de un modelo de optimización matemática para la planificación de producción en una planta de alimentos, Guayaquil, 2021.
17. E. Guzmán, R. Poler y B. Andrés, «Un análisis de revisiones de modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución de la cadena de suministro,» *Dirección y Organización*, vol. 70, n° 1, pp. 28-52, 2020.
18. L. D. C. Toapanta, *Producción y operaciones industriales*, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2023.
19. E. J. Trevino, *Modelo de optimización para la planificación de la producción de productos perecederos considerando un sistema de desensamble*, México, 2016.
20. G. R. L. M. A. D. C. Óscar Daniel Quiroga, *Modelos de simulación para el estudio de empresas productivas*, Argentina: I.J.I.E, 2009.

21. S. M. Herrera, *Propuesta de un modelo para planificar la producción en una empresa de giro alimenticio*, Hidalgo, 2023.
22. R. S. G. C. Angie del Rocío Sánchez Marquina, «Modelos de optimización en la planeación de la producción: Tendencias de aplicaciones en el sector agroindustrial,» Lima, SIII O, Simposio Argentino de Investigación Operativa e Informática Industrial, 2023, pp. 109-122.
23. R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y M. d. P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, México: McGrawHill, 2014.
24. P. R. A. B. Guzmán E, *Un análisis de revisiones de modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución de la cadena de suministro*, España: Escuela Politécnica Superior de Alcoy, 2020.