

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“APLICACIÓN DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA
LA MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO EN
UNA EMPRESA DEL RUBRO MADERERO EN EL
AÑO 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Industrial

Autor:

Yamileth Alvelinda Román Torres

Asesor:

Mg. Lic. Alfredo Fernando Temoche López

<https://orcid.org/0000-0002-5130-5694>

Lima – Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Eluard Alexander Mendoza Zenozain	46110812
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Napoleón Jáuregui Nogradós	32853299
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Alfredo Temoche López	08616495
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %	7 %	3 %	0 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	es.scribd.com Fuente de Internet	4 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
3	www.fao.org Fuente de Internet	1 %
4	qdoc.tips Fuente de Internet	1 %

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi esposo,
por confiar en mi e incentivarme a
culminar esta etapa.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por su apoyo y confianza

A mis padres por el amor incondicional

A mi hija por su amor infinito.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
Tabla de contenido.....	6
Índice de tablas.....	7
Índice de figuras	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	27
CAPÍTULO III: RESULTADOS	68
CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	77
REFERENCIAS	82

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de consistencia	28
Tabla 2. Matriz operacional	30
Tabla 3. Técnicas e instrumentos de la recolección y análisis de datos	32
Tabla 4. Priorización de los problemas identificados	39
Tabla 5. Priorización de las causas identificadas para el problema de retrasos en la entrega de productos a los clientes	43
Tabla 6. Priorización de las causas identificadas para el problema de sobrecostos en el transporte	45
Tabla 7. Listado de proveedores y sus ubicaciones	48
Tabla 8. Listado de sedes y sus ubicaciones	48
Tabla 9. Capacidad de carga por tipo de transporte	50
Tabla 10. Capacidad de abastecimiento y costo unitario de tablillas	50
Tabla 11. Costos de transporte en cada ruta	50
Tabla 12. Costos unitarios de transporte de tablillas	51
Tabla 13. Capacidad de producción de cada sede	51
Tabla 14. Costos unitarios de producción de cada sede	52
Tabla 15. Área sedes y almacenes	53
Tabla 16. Capacidad de almacenamiento y costos unitarios de inventario	53
Tabla 17. Inventario inicial de setiembre y política de stock de seguridad de cada sede	54
Tabla 18. Demanda mensual histórica de cada sede	54
Tabla 19. Pronóstico mensual y semanal de cada sede	55
Tabla 20. Cantidades resultantes del modelo de programación lineal con alcance semanal	67
Tabla 21. Costo resultante del modelo de programación lineal con alcance semanal	70
Tabla 22. Cantidades resultantes del modelo de programación lineal con alcance mensual	71
Tabla 23. Costo resultante del modelo de programación lineal con alcance mensual	73

Tabla 24. Comparación de costos reales y óptimos

74

Índice de figuras

Figura 1. Área de bosque como porcentaje de la superficie de tierras (2020).	12
Figura 2. Procedimiento de recolección y análisis de datos	34
Figura 3. Organigrama de la empresa	36
Figura 4. Flujograma de operaciones de la empresa	37
Figura 5. Diagrama de Ishikawa para el problema de retrasos en la entrega de productos a los clientes	41
Figura 6. Diagrama de Ishikawa para el problema de sobrecostos en el transporte	42
Figura 7. Diagrama de transbordo entre proveedores, planta y sucursales	49
Figura 8. Demanda mensual y proyección setiembre 2023 en cada sede	55
Figura 9. Diagrama resultante de transbordo entre proveedores, planta y sucursales (semanal)	69
Figura 10. Diagrama resultante de transbordo entre proveedores, planta y sucursales (mensual)	72

RESUMEN

La presente investigación aborda de manera significativa la problemática operativa de una empresa maderera con 15 años de experiencia, centrados en retrasos en la entrega y sobrecostos de transporte; identificando una programación inadecuada en las operaciones de compras y transporte como la raíz de estos problemas. Por ende, la aplicación de la programación lineal se propone como una estrategia para mitigarlos.

Los resultados del modelo de programación lineal, evaluados semanal y mensualmente, demuestran mejoras sustanciales, reduciendo costos y optimizando las operaciones de la empresa. El análisis comparativo de costos reales y óptimos revela una disminución del 17% en el ratio de productividad total para el mes de la aplicación de la herramienta, respaldando la eficacia de la implementación.

Los beneficios se extienden a áreas clave como producción y almacenamiento, con un uso más eficiente de la capacidad y tiempos libres para mantenimiento preventivo de la maquinaria. Asimismo, la viabilidad económica se refleja en la reducción de costos totales y mayores márgenes. En conjunto, la aplicación proporciona un marco valioso para optimizar operaciones en empresas similares, respaldado por resultados tangibles presentados en la presente investigación

PALABRAS CLAVES: Programación lineal, empresa maderera, optimización de costos, gestión de operaciones, indicadores de productividad.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

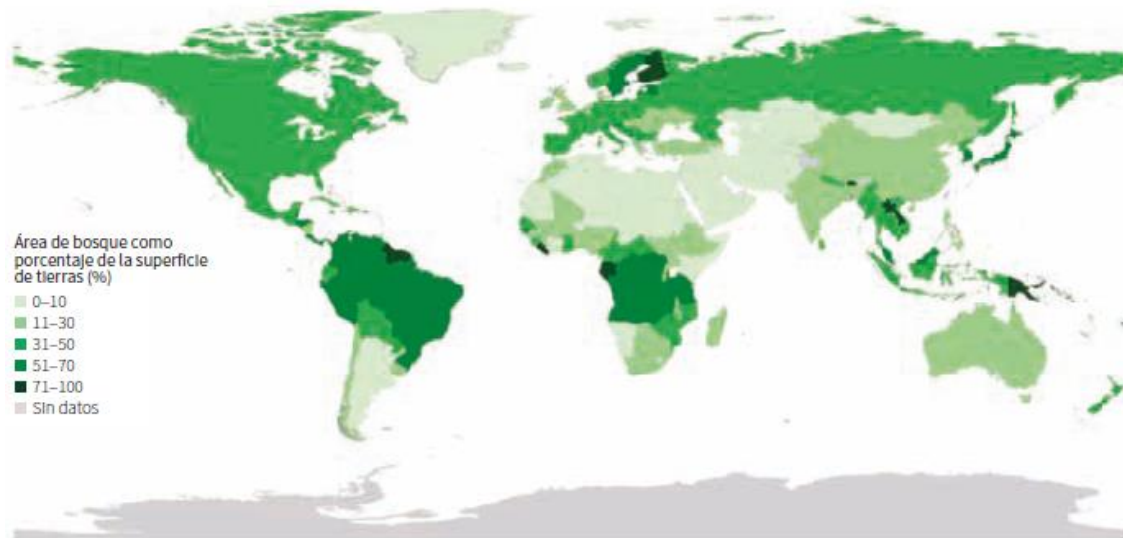
1.1. Realidad problemática

La industria de la madera abarca desde la explotación forestal hasta la producción de productos madereros y su comercialización a nivel local e internacional. Cabe precisar que, la madera y sus derivados se utilizan en una amplia gama de sectores, como la construcción, el mobiliario, la fabricación de papel, la energía renovable, entre otros.

La industria maderera a nivel mundial

A nivel mundial, el rubro maderero desempeña un papel fundamental en la economía y el desarrollo sostenible de muchos países. Esto se refuerza en (FAO, 2020) que presenta las siguientes estadísticas importantes: los bosques ocupan en total 4,060 millones de hectáreas, el cual representa el 31% de la superficie terrestre del mundo; de los cuales, Rusia cuenta con 815 millones de ha, de bosques, seguido de Brasil con 497 millones de ha. y Canadá con 347 millones de ha.

Figura 1. Área de bosque como porcentaje de la superficie de tierras (2020).



Fuente: FAO (2020)

Según (Sohngen, 2003), en las últimas décadas, la demanda global de productos de madera ha experimentado un crecimiento constante debido al aumento de la población, el desarrollo de la urbanización y la expansión de la industria de la construcción en diferentes partes del mundo. Además, el rubro maderero se ha visto influenciado por avances tecnológicos, con la implementación de sistemas de información geográfica y el uso de modelos matemáticos de optimización para mejorar la toma de decisiones.

Sin embargo, este crecimiento a nivel mundial, también ha planteado desafíos relacionados con la sostenibilidad forestal, la deforestación y la gestión adecuada de los recursos forestales. Es por ello que, (FAO, 2022) recuerda a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático celebrada en 2021 en Glasgow, en la cual participaron más 140 países, que se comprometieron a ejecutar estrategias para eliminar la pérdida de bosques hacia el 2030, y a su vez, apoyar las actividades forestales sostenibles y de restauración. Por

tal motivo, se asignaron 19,000 millones de dólares americanos con el objetivo de ayudar a los países en desarrollo a lograr estos objetivos.

La industria maderera en el Perú

En el contexto peruano, según (ADEX, PromPerú, & WWF, 2021), el rubro maderero también juega un papel relevante en la economía y el desarrollo del país; gracias a que cuenta con una rica biodiversidad y una gran extensión de bosques, lo que le otorga un potencial significativo en la producción y exportación de productos madereros. Además, la industria maderera peruana contribuye a la generación de empleo, la inversión en infraestructura y el fomento de la actividad económica en las áreas rurales.

Según (FAO, 2020), Perú es el noveno país con mayor área de bosque, 72 millones de hectáreas, el cual representa al 2% del área de bosques a nivel mundial. Asimismo, el Ministerio de Ambiente (MINAM) cuenta con las siguientes cifras importantes:

- Perú cuenta con el 60% de su territorio cubierto por bosques.
- Perú es el cuarto país con mayor cantidad de bosques en América, después de Brasil, Canadá y Estados Unidos.
- Perú es el segundo país con mayor cantidad de bosques amazónicos en el mundo, después de Brasil.
- Los bosques del territorio peruano contribuyen con el 1.1% del PBI (1,700 millones de dólares).
- El área de bosque peruano disponible para la producción es de 17,78 millones de hectáreas, de los cuales, sólo el 41.6% se ha destinado para el aprovechamiento forestal.

- Las especies maderables existentes en nuestro territorio es de 600, de las cuales sólo se aprovechan 195 de éstas.

Según (Gonzales & Guerrero, 2022) la ausencia de una formalización de la actividad maderera en el Perú, contrae unas altas tasas de deforestación y degradación existentes que van mermando su valor o destruyendo el patrimonio forestal. Es por ello que, los grandes desafíos del sector maderero que enfrenta el Perú son: la deforestación ilegal, la falta de control en la cadena de suministro y la implementación de prácticas sostenibles de manejo forestal.

En ese sentido, el gobierno peruano ha tomado medidas para promover la gestión forestal sostenible, implementar regulaciones más estrictas y fomentar la certificación de productos madereros provenientes de fuentes legales y sostenibles; siendo este último, según (SERFOR, 2023), lo que ha cobrado mayor importancia en los últimos años para que los productos tengan un sello de calidad y sostenibilidad que es reconocido en el mercado internacional.

Para que se entienda el nivel de la importancia de la industria de la madera en el Perú, en (FAO, 2018) se indica que, en el 2015 las ventas en el sector maderero peruano fueron de USD 1,385 millones, las exportaciones alcanzaron los USD 150 millones y las importaciones los USD 315 millones

De acuerdo a la legislación vigente, la Ley N°29763 "Ley Forestal y de Fauna Silvestre" y sus reglamentos, la industria maderera se organiza en tres etapas principales: el manejo forestal, la primera transformación y la segunda transformación de la madera. Estas etapas se alinean con las clasificaciones del clasificador CIIU revisión 3 en las clases 0200, 2010, 2021, 2022, 2023, 2029 y 3610.

Teniendo en cuenta esta división de la cadena productiva, (FAO, 2018) presenta las siguientes estadísticas:

- La facturación del 2015 en el sector maderero correspondió a un total de 24,495 empresas formales; de las cuales el 14.5% están vinculadas al manejo forestal, el 8.7% vinculadas a la primera transformación, y el 77% vinculadas a la segunda transformación.
- Del total de empresas del sector maderero, el 96.2% son microempresas (que concentran sólo el 29% de la facturación a nivel nacional), el 3.5% son pequeñas empresas (que concentran el 31% de la facturación a nivel nacional), y el 0.3% son medianas y grandes empresas (que concentran el 40% de la facturación a nivel nacional).
- Del total de microempresas, las regiones que presentan mayor concentración de empresas son: Lima (39.4%), Ucayali (6.1%), Cusco el (6.1%), Loreto el (5.1%) y Arequipa el (4.5%).
- En las regiones de Ucayali, Loreto y Madre de Dios (regiones amazónicas) concentran el 61.8% de empresas y el 79% de facturación del manejo forestal.
- En la región Lima se concentra el 77.5% de empresas que se dedican a la primera transformación; sin embargo, las mayores facturaciones en esta parte de la cadena se concentran en Ucayali (con el 32%) y Lima (con el 27%).
- En la región Lima se concentra 26% de empresas (principalmente empresas fabricantes de muebles) que se dedican a la segunda transformación; y además cuenta con el 80.8% de las ventas.

Como se había expuesto anteriormente, el sector presenta un alto nivel de informalidad empresarial e informalidad laboral. Según (FAO, 2018), la tasa de informalidad empresarial llega hasta el 73% y la tasa de informalidad laboral alcanza el 91%, concentrándose la mayor cantidad en la segunda transformación del sector maderero. Estos aspectos representan obstáculos significativos para el comercio, ya que las empresas no registradas ante la SUNAT (Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria) tienden a utilizar más madera de origen dudoso; además, al no estar formalmente establecidas, no cumplen con las obligaciones fiscales correspondientes, lo que incluye el pago de impuestos.

Por lo expuesto, el rubro maderero a nivel mundial y en Perú tiene una importancia significativa en términos económicos y ambientales; y la gestión adecuada de los recursos forestales, la promoción de prácticas sostenibles y la lucha contra la deforestación ilegal son aspectos cruciales para garantizar la preservación de los bosques y el desarrollo sostenible de esta industria en el futuro. Es por ello que en (Alhuay & Jarata, 2020) se afirma que la industria maderera debe hacer frente a importantes desafíos en cuanto a la asignación de recursos, la gestión de inventarios y la planificación del transporte. Es por ello que, la gestión de inventarios en la industria maderera juega un papel fundamental, y en ese sentido, el manejo óptimo de los niveles de existencias puede tener un impacto significativo en la eficiencia operativa y en la reducción de costos relacionados con el almacenamiento y la obsolescencia.

1.2. Estado del Arte

Modelos matemáticos de programación lineal

Como resultado de lo anteriormente mencionado, se llevan a cabo numerosas investigaciones, con el enfoque de optimización y toma de decisiones efectivas, en distintas

industrias con una amplia gama de objetivos. Estos objetivos incluyen: la maximización de utilidades, reducción de costos, optimización del uso de recursos, cumplimiento de restricciones normativas de sostenibilidad, o una combinación de estos objetivos (enfoque multiobjetivo).

En ese sentido, los enfoques basados en la programación lineal y otras técnicas de optimización han demostrado ser útiles para abordar estas problemáticas y mejorar la eficiencia y la rentabilidad en distintas organizaciones. Un ejemplo de las grandes ventajas y la diversidad de sus aplicaciones de la programación se ven reflejadas en investigaciones como la realiza por (Gonzalez, 2023), que resuelve un problema de asignación de horarios escolares en una institución educativa mediante el empleo de la programación lineal, considerando restricciones como la limitación de horas continuas para el dictado de un curso; con lo cual se obtuvo una asignación óptima de cursos, días, horas y aulas para cada nivel educativo.

Modelos matemáticos en el sector industrial

También se tiene casos de empresas industriales, siendo el caso de (Muñiz et al., 2022) que propone una programación lineal en una empresa de transporte, para determinar las cantidades óptimas de pedido (EOQ), minimizando el costo de operaciones, considerando restricciones de capacidades de almacenes. Por su parte, (Garay et al., 2020) diseñan un modelo matemático con el objetivo de maximizar las ventas en una empresa avícola, considerando restricciones como los costos de compra, costos de mantenimiento y las tasas de mortalidad por tipo de ave; con lo cual se obtuvieron resultados favorables para la empresa.

Modelos matemáticos de transporte

Con respecto a modelos matemáticos relacionados a transporte (Flores & Flores K.L., 2021) definen un modelo de transporte aplicando programación lineal para minimizar los costos de envío entre plantas productoras y centros de distribución. Asimismo, (Azahuanche et al., 2017) plantea un modelo matemático de transporte para alcanzar una maximización de utilidades en una empresa dedicada a la edificación de estructuras o pavimentos, considerando distintos proveedores, sus limitaciones de abastecimiento y los costos asociados a la adquisición. Además, (Abril, 2019) ejecuta un modelo de programación lineal para maximizar los ingresos de una empresa del sistema integrado de transporte público, considerando las flotas existentes, la capacidad de pasajeros, los tipos de vehículos, las rutas, entre otros; consiguiendo resultados positivos al demostrar un potencial incremento en los ingresos en comparación con la situación previa de la empresa. De igual manera, (Congo, 2020) aplica un modelo de transporte mediante programación lineal para mejorar la eficiencia y ajustarse a los requerimientos de la demanda de una empresa dedicada a la elaboración y distribución de productos de limpieza; el modelo matemático se centró en el área logística considerando dos puntos de abastecimiento como orígenes y cinco puntos de venta como destinos, consiguiendo reducir costos de transporte y mejorar en el cumplimiento de los requerimientos de los clientes.

Modelos matemáticos en el sector maderero

En el rubro maderero, no se cuenta con muchas investigaciones aplicadas en transporte y producción, pero sí relacionados a la etapa primaria del sector maderero (Castillo et al., 2019) presentan una comparación entre dos técnicas para resolver problemas de asignación de maquinaria en la planificación de cosecha forestal. La primera técnica es una optimización simulada basada en un modelo de programación lineal entera, mientras que la segunda técnica

es una optimización vía simulación que combina un modelo de optimización y un modelo de simulación de eventos discretos. Cabe precisar que, ambas técnicas se analizaron en términos de producción, variabilidad y costo unitario de producción. En el caso de (Palma & Vergara , 2016) desarrollan un modelo multiobjetivo para el problema de corte en un aserradero, debido a que los modelos de optimización de un solo objetivo no son reales para el rendimiento del aserradero que generalmente se mide utilizando más de un solo indicador; sin embargo, también precisan que los modelos multiobjetivo requieren de una relación de preferencia entre los objetivos, lo cual es difícil de determinar en la práctica, y además las soluciones suelen ser muy sensibles a estas prioridades. Igualmente. (Castilo, 2016) propone asignar equipos a los sistemas de cosecha, considerando un modelo matemático determinístico, como solución inicial, y diferentes escenarios (pesimistas y optimistas) para modelos matemáticos probabilísticos, con el objetivo de realizar una aproximación al desempeño del sistema de cosecha en estudio.

Todas estas investigaciones mencionadas, demuestran que la programación lineal se aplica en diferentes sectores para abordar diferentes problemas de planificación y gestión, así como el uso eficiente de recursos y la optimización de la producción y el transporte.

1.3. Marco Teórico

Programación lineal

Según (Lieberman & Hillier, 2002) la programación lineal utiliza un enfoque matemático para la descripción de un problema y utiliza algoritmos para encontrar la mejor solución posible. Aunque el término "programación" puede parecer relacionado con la programación de computadoras, en este contexto se refiere más bien a la planificación de

actividades con el objetivo de obtener un óptimo resultado, ya sea maximizando o minimizando la función objetivo que se encuentra sujeta a ciertas restricciones lineales.

De manera similar (Winston, 2004) define a la programación lineal como una herramienta utilizada para resolver problemas de optimización mediante el uso de modelos matemáticos; siendo esta herramienta ampliamente utilizada en diversas áreas, como la industria, la logística, la economía y la planificación, todas con el fin de tomar decisiones óptimas y mejorar la eficiencia en la asignación de recursos.

Asimismo, (Lieberman & Hillier, 2002) indica que el modelo matemático se puede entender como el problema de elegir los valores de las variables de decisión de manera que se maximice o minimice la función objetivo, sujeta a las restricciones dadas.

- **Variables de decisión:** Son las incógnitas o cantidades desconocidas que se deben determinar en un modelo matemático. Estas variables representan las decisiones que se deben tomar para alcanzar los objetivos del problema.
- **Función objetivo:** Es una expresión matemática que define el objetivo principal del problema de optimización. Esta expresión representa la medida de rendimiento que se desea maximizar o minimizar; y tiene como objetivo encontrar los valores de las variables que optimizan esta función.
- **Restricciones:** Son las limitaciones o condiciones que se deben cumplir en el problema de optimización. Estas restricciones pueden ser ecuaciones o desigualdades y representan las limitaciones físicas, económicas o técnicas del problema; que restringen el conjunto de soluciones factibles y ayudan a definir el espacio de búsqueda.

- **Parámetros:** Son valores constantes que se utilizan en el modelo matemático. Estos valores representan datos conocidos o constantes que influyen en el problema, pero no son variables de decisión. Los parámetros proporcionan información importante para la formulación y resolución del modelo y pueden incluir costos, coeficientes, tasas, demandas, capacidades, entre otros.

A continuación, se muestra un modelo matemático genérico:

- **Variables de decisión:**

x_1, x_2, \dots, x_n : Variables que representan las decisiones a tomar en el modelo.

- **Función objetivo:**

Maximizar o minimizar una medida de desempeño (Z) en función de las variables de decisión:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

- **Restricciones:**

$$r_1: a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \leq b_1$$

$$r_2: a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \geq b_2$$

$$r_3: a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = b_3$$

...

$$r_m: a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \leq b_m$$

- **Parámetros:**

c_1, c_2, \dots, c_n : Coeficientes que representan la contribución de cada variable de decisión a la función objetivo.

a_1, a_2, \dots, a_n : Coeficientes que representan la relación entre las variables de decisión y las restricciones.

b_1, b_2, \dots, b_m : Valores constantes que establecen los límites o igualdades en las restricciones.

Problemas de transporte y transbordo

Según (Lieberman & Hillier, 2002), el problema de transporte es una herramienta utilizada para planificar y optimizar el transporte de mercancías desde múltiples fuentes a varios destinos, y tiene como objetivo minimizar el costo total de transporte, mediante la combinación óptima de cantidades a enviar desde cada fuente a cada destino, considerando los costos unitarios de transporte.

En ese sentido, el modelo de transporte se basa en dos conjuntos de datos fundamentales:

- **Nivel de oferta y demanda:** Se especifica la cantidad de mercancía disponible en cada fuente (puntos de origen) y la cantidad requerida en cada destino (punto de destino). Esto implica conocer las capacidades de producción o suministro de las fuentes y las necesidades de los destinos.

- **Costo de transporte:** Se define el costo unitario de transportar la mercancía desde cada fuente a cada destino. Estos costos pueden variar dependiendo de las distancias, los medios de transporte utilizados u otros factores relevantes.

A pesar de que los problemas de transporte son un tipo de problemas de programación lineal para determinar la manera óptima de transportar bienes, algunas de sus aplicaciones importantes son la programación de la producción, que no tienen relación con el transporte mismo.

Adicionalmente, (Taha, 2012) introduce el concepto de un modelo de transbordo que amplía el enfoque del modelo de transporte tradicional. En el modelo de transbordo se reconoce que puede ser más eficiente y económico realizar envíos a través de nodos intermedios o transitorios antes de llegar al destino final: lo cual implica que se permiten rutas de transporte indirectas en lugar de envíos directos entre fuentes y destinos.

En este contexto, el modelo transbordo contiene nodos que actúan como un punto de almacenamiento y redistribución de mercancías, permitiendo la transferencia de cargas entre diferentes fuentes y destinos; lo cual proporciona una mayor flexibilidad en la planificación y optimización del transporte, permitiendo considerar diferentes opciones de enrutamiento para lograr un mejor rendimiento económico.

1.4. Formulación del problema

Problema General:

¿De qué manera la aplicación de Programación Lineal impacta en la mejora del proceso productivo de la empresa del rubro maderero?

Problema Específico 1:

¿Qué indicadores del proceso productivo de la empresa del rubro maderero varían positivamente con la aplicación de programación lineal?

Problema Específico 2:

¿Cuáles son las áreas específicas de la empresa del rubro maderero que se benefician de la aplicación de la programación lineal?

Problema Específico 3:

¿Como medir la viabilidad económica de la aplicación de programación lineal en la mejora en el proceso productivo de la empresa del rubro maderero?

1.5. Objetivos

Objetivo General:

Determinar en qué medida la aplicación de programación lineal impacta en la mejora del proceso productivo de la empresa del rubro maderero.

Objetivo Específico 1:

Analizar la variación positiva de los indicadores del proceso productivo de la empresa del rubro maderero con la aplicación de la programación lineal.

Objetivo Específico 2:

Identificar las áreas específicas de la empresa del rubro maderero que se benefician de la aplicación de la programación lineal.

Objetivo Específico 3:

Medir la viabilidad económica de la aplicación de programación lineal en la mejora en el proceso productivo de la empresa del rubro maderero.

1.6. Hipótesis**Hipótesis General:**

La aplicación de programación lineal impacta positivamente en la mejora del proceso productivo de la empresa del rubro maderero.

Hipótesis Específico 1:

La aplicación de la programación lineal varía positivamente a los indicadores del proceso productivo de la empresa del rubro maderero.

Hipótesis Específico 2:

Las áreas específicas identificadas de la empresa del rubro maderero se benefician de la aplicación de la programación lineal.

Hipótesis Específico 3:

La mejora del proceso productivo, de la empresa del rubro maderero, mediante la aplicación de la programación lineal es viable económicamente.

La justificación teórica se fundamenta en la optimización y la capacidad de los modelos matemáticos para mejorar la toma de decisiones en el rubro maderero. Asimismo, en la práctica, se justifica en la mejora de la eficiencia operativa, la reducción de costos, el

cumplimiento de restricciones normativas y la mejora de la toma de decisiones en distintos contextos industriales.

Adicionalmente, esta investigación se justifica adecuadamente ya que se plantea un problema del nivel aplicativo o práctico, que está enfocado en resolver un problema existente en el proceso productivo de una empresa del rubro maderero (con 15 años en el mercado), que se dedica a la compra de tablillas de bolaina para realizar el machimbrado y ofrecerle a sus clientes locales y regionales.

Al realizar un análisis de la situación actual de la empresa se detectan dos principales problemas relacionados a: 1) retrasos en la entrega de productos a los clientes y 2) sobrecostos en el transporte; los cuales fueron analizados mediante un diagrama de causa-efecto y una matriz de selección, concluyendo que su causa principal de ambos problemas es primordialmente una inadecuada programación de las operaciones vinculadas principalmente a las compras y al transporte, y por ende también viéndose afectados los inventarios.

En este contexto, la aplicación de la programación lineal se presenta como una estrategia para eliminar o reducir los impactos de estos problemas. La decisión de utilizar este enfoque se sustenta en los resultados obtenidos de estudios previos, como se ha detallado en las investigaciones mencionadas anteriormente.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente investigación se considera de nivel aplicada ya que se enfoca en resolver un problema de una situación real de una empresa mediante el desarrollo de una programación lineal, que es un método matemático utilizado para optimizar recursos y tomar decisiones en distintos procesos de las organizaciones (Winston, 2004)

1.1. Diseño de la metodología de investigación

Según lo explicado en (Ñaupas, 2018), la presente investigación adopta un enfoque cuantitativo ya que implica la recopilación y el análisis de datos numéricos para comprender la situación problemática. Además, cuenta con un diseño no experimental, ya que el estudio se basa en la recolección y análisis de datos históricos del proceso productivo para la formulación del modelo de programación lineal, y no sobre la manipulación deliberada de variables.

Asimismo, según (Sampieri et al., 2010), esta investigación presenta un alcance explicativo, ya que se realiza un análisis de la situación real de una empresa para realizar un método matemático (programación lineal) y esperar que resulte en una mejora para el proceso productivo de dicha empresa.

A modo de resumen, y como justificación de la coherencia y alineamiento de los elementos (problemática, objetivos, hipótesis, variables y metodología) de la presente investigación, se detalla la matriz de consistencia. Asimismo, se muestra la matriz operacional que se ajusta a los objetivos planteados en la matriz de consistencia.

Tabla 1. Matriz de consistencia

	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
General	¿De qué manera la aplicación de Programación Lineal impacta en la mejora del proceso productivo de la empresa del rubro maderero?	Determinar en qué medida la aplicación de programación lineal impacta en la mejora del proceso productivo de la empresa del rubro maderero.	La aplicación de programación lineal impacta positivamente en la mejora del proceso productivo de la empresa del rubro maderero.	Variable Independiente: Aplicación de Programación lineal Variable dependiente: Proceso productivo	Tipo de investigación: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Alcance: Explicativo Diseño: No experimental Técnica de recolección de información: Entrevista, taller de lluvia de ideas, observación, revisión de registros históricos y documentos
Específico	¿Qué indicadores del proceso productivo de la empresa del rubro maderero varían positivamente con la aplicación de programación lineal?	Analizar la variación positiva de los indicadores del proceso productivo de la empresa del rubro maderero con la aplicación de la programación lineal.	La aplicación de la programación lineal varía positivamente a los indicadores del proceso productivo de la empresa del rubro maderero.		
	¿Cuáles son las áreas específicas de la empresa del rubro maderero que se	Identificar las áreas específicas de la empresa del rubro maderero que se	Las áreas específicas identificadas de la empresa del rubro maderero se		

	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
	benefician de la aplicación de la programación lineal?	benefician de la aplicación de la programación lineal.	benefician de la aplicación de la programación lineal.		Técnicas de análisis de datos: Diagrama de causa-efecto o diagrama de Ishikawa, matriz de priorización, flujograma.
	¿Como medir la viabilidad económica de la aplicación de programación lineal en la mejora en el proceso productivo de la empresa del rubro maderero?	Medir la viabilidad económica de la aplicación de programación lineal en la mejora en el proceso productivo de la empresa del rubro maderero.	La mejora del proceso productivo, de la empresa del rubro maderero, mediante la aplicación de la programación lineal es viable económicamente.		

Tabla 2. Matriz operacional

	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Fórmula
Dependiente	Proceso productivo	(Elwood & Rakesh, 1987)define al proceso productivo como una secuencia de actividades u operaciones que convierten diversas entradas (materia prima, energía, materiales, otros) en productos finales, agregando valor a lo largo de cada etapa del proceso, haciendo uso de factores humanos o tecnológicos.	(Tersine, 1985)menciona que el proceso productivo es un conjunto de pasos específicos para la creación de productos de manera eficiente en términos de costos y tiempo, y de alta calidad para cumplir con las expectativas de los clientes.	Producción	Productividad total	Total de productos (S/.) / Total de insumos (S/.)
Independent e	Aplicación de programación lineal	(Winston, 2004)define a la programación lineal como una herramienta utilizada para resolver problemas de optimización mediante el uso de modelos matemáticos	(Lieberman & Hillier, 2002) indica que el modelo matemático se puede entender como el problema de elegir los valores de las variables de decisión de manera que se maximice o minimice la función objetivo, sujeta a las restricciones dadas.	Almacenes	% de utilización de capacidad de almacenamiento	Capacidad utilizada / Capacidad disponible
				Clientes	Nivel de cumplimiento de pedidos	Pedidos entregados sin retrasos / Total de pedidos

1.2. Población y muestra

En (Monje, 2011) se menciona sobre la importancia de definir la población para un estudio de investigación cuantitativo, entendiendo sus características y la forma de su medición. Es por ello que, el estudio recoge información histórica de enero 2023 a agosto 2023 (8 meses), referente a las ventas mensuales, compras mensuales y costos mensuales de operaciones (materia prima, personal y transporte). Asimismo, se recopila datos referentes a la cantidad y ubicaciones de los clientes, proveedores y sedes de la empresa; además, del cálculo de la capacidad de almacenamiento y la capacidad de producción.

En ese sentido, dado que la población de datos históricos para las ventas, compras y costos comprende 202 días hábiles (de enero a agosto del 2023), se considera finita y pequeña. Además, se dispone de acceso completo a todos los datos, por lo que no será necesario realizar un diseño muestral para esta investigación, tal como se realizó en (Gonzales & Guerrero, 2022).

Por ende, la muestra ha sido elegida por conveniencia igual que la población, y se entiende que al analizar la totalidad de los datos históricos, estos brindarán resultados más confiables que al analizar una muestra de dichos datos.

1.3. Metodología de recolección y análisis de datos

En (Baena, 2014), se menciona que la recolección y sistematización de la información se realiza mediante un conjunto de métodos, técnicas e instrumentos; los cuales facilitan la metodología de investigación.

Dado que la investigación adopta un enfoque cuantitativo, la etapa de recolección de datos se realiza mediante técnicas predeterminadas y estandarizadas (entrevistas, observaciones, revisión de registros históricos y documentos) aplicadas en las instalaciones de

la empresa. Los datos recopilados se usan en las etapas de análisis de la situación actual de la empresa y en la elaboración de la mejora.

Posteriormente, de la información recopilada fue analizada mediante las técnicas de diagrama de causa-efecto (diagrama de Ishikawa), matriz de priorización y diagrama de flujos (flujogramas), con el fin de realizar un análisis de la situación actual de la empresa, identificando la problemática y sus causas posibles. Todo ello con el soporte primordialmente de Ms Excel y Ms Visio.

Asimismo, la información se ha usado para el diseño de la mejora, que se centra en el desarrollo de la programación lineal para la reducción de costos de las operaciones de la empresa, y con los resultados del modelo de programación lineal se han desarrollado las comparaciones de los indicadores de productividad, inventarios, capacidad de utilización y nivel de cumplimiento de pedidos con el cliente.

Es importante recalcar que, la aplicación de las técnicas e instrumentos es confiable y válida, según la experiencia revisada en las investigaciones mencionadas en el estado del arte.

A continuación, se detallan las técnicas e instrumentos usadas en la investigación para la etapa de recolección y análisis de datos; además de un diagrama que especifica la secuencia de lo realizado en dicha etapa.

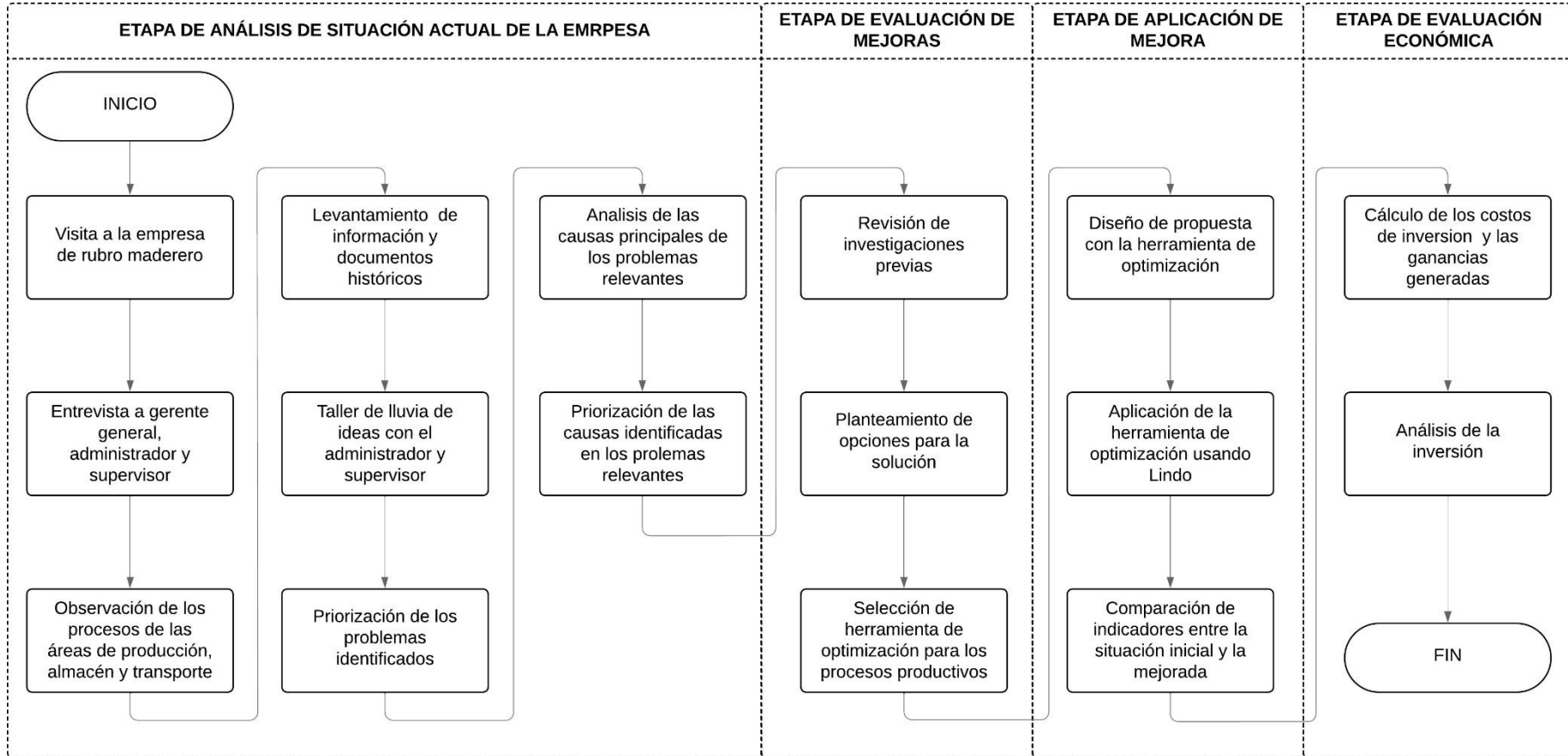
Tabla 3. Técnicas e instrumentos de la recolección y análisis de datos

Etapa	Técnicas	Justificación	Instrumentos
Recolección de datos	Entrevista	Recoger datos de actores claves (de manera independiente) sobre los	Guía de entrevista.

Etapa	Técnicas	Justificación	Instrumentos
		procesos operativos y los problemas existentes.	
	Taller de lluvia de Ideas o brainstorming	Recoger datos de actores claves (de manera conjunta) sobre los problemas, causas y posibles mejoras a los procesos operativos.	Guía de taller.
	Observación	Visualizar el estado actual de las áreas físicas de almacenes y producción.	Hojas de verificación. Hojas de registro.
	Revisión de registros históricos y documentos	Recopilar información histórica de las operaciones de la empresa.	Listado de documentos. Hojas de registro.
Análisis de datos	Diagrama de causa-efecto o Diagrama de Ishikawa	Definir los problemas principales y las causas basadas en las 6M (materiales, mano de obra, maquinaria, métodos, mediciones y medio ambiente).	Diagrama en Ms. Visio o Lucidchart.
	Matriz de priorización	Analizar la prioridad de los problemas y causas mediante 3 factores (frecuencia, importancia y factibilidad).	Matriz en Ms. Excel.

Etapa	Técnicas	Justificación	Instrumentos
	Diagrama de Flujos	Definir el procedimiento de las operaciones de la empresa.	Diagrama en Ms. Visio o Lucidchart.
	Programación lineal	Optimizar los costos de operaciones de la empresa, usando datos de costos de transporte, materia prima y personal.	Modelo en Lindo.
	Matriz de indicadores	Monitorear los indicadores de producción, almacenes, inventarios y cumplimiento de pedidos.	Matriz en Ms. Excel

Figura 2. Procedimiento de recolección y análisis de datos



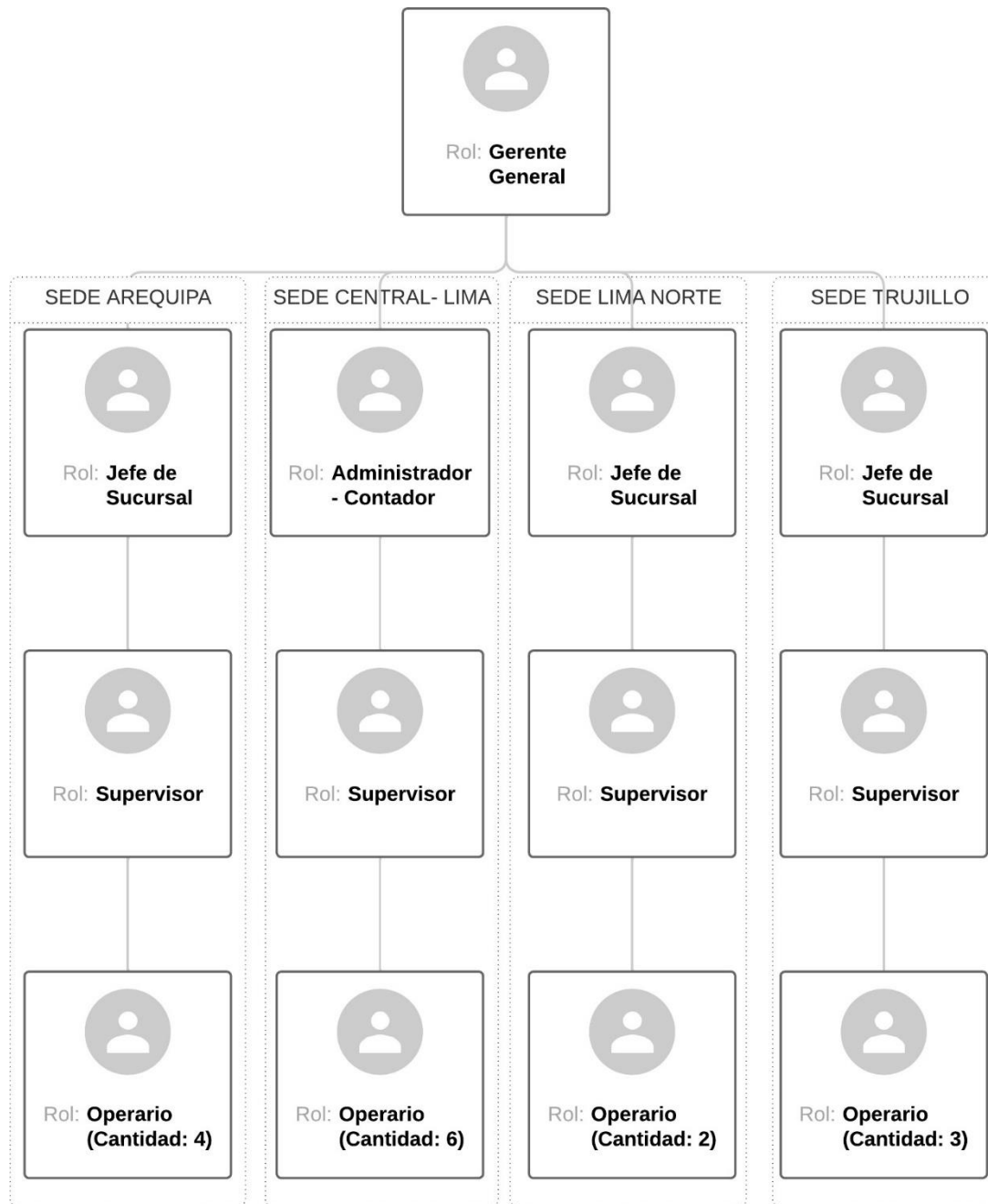
1.4. Análisis de datos

Desde su creación hasta la fecha, la empresa ha sufrido grandes cambios por su crecimiento en las ventas, sin embargo, ese crecimiento ha conllevado a tener algunos problemas al interno de la organización y también con algunos clientes por incumplimiento. En ese sentido, se ha realizado un análisis de los problemas y sus causas, mostrando inicialmente su organización del personal y su flujo de procesos.

2.4.1. Organigrama

La empresa cuenta con un total de 24 trabajadores: 1 Gerente General, 1 Administrador-Contador, 3 Jefes de Sucursal, 4 Supervisores y 15 Operarios. A continuación, se muestra el organigrama de la empresa, contemplando la sede central y las 3 sedes adicionales.

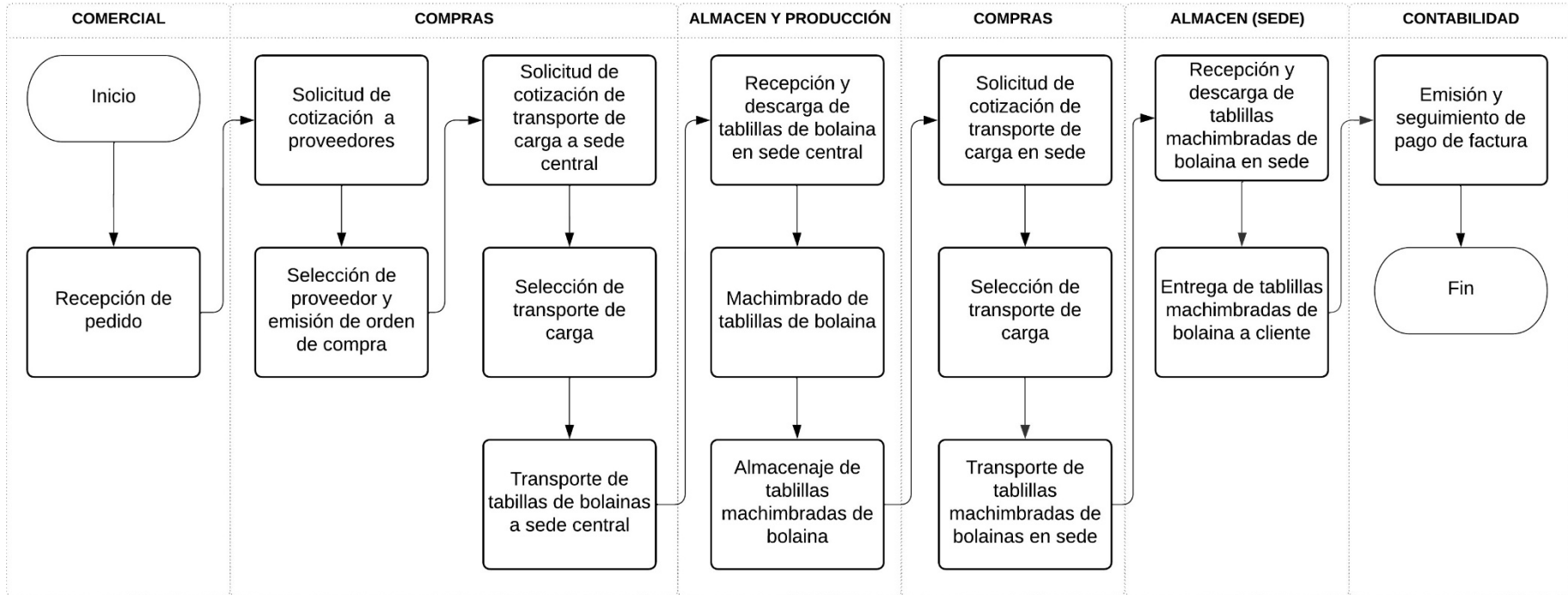
Figura 3. Organigrama de la empresa



2.4.2. Procesos

Las actividades principales de la empresa se detallan en el siguiente flujograma:

Figura 4. Flujograma de operaciones de la empresa



2.4.3. Identificación de problemas relevantes

Los problemas del proceso productivo de la empresa del rubro maderero se han identificado mediante una lluvia de ideas, la cual se realizó en una sesión de trabajo con el apoyo de 1 administrador y 1 supervisor, ambos con más de 5 años de experiencia en la empresa. Adicionalmente, la lista de problemas resultantes fue evaluada mediante una matriz de selección de problemas relevantes, haciendo uso de los criterios: frecuencia (que suceda), importancia (del problema) y factibilidad (de que se pueda abordar el problema). Cabe precisar que, en esta evaluación se les solicita a las personas que realicen una calificación del 1 al 5, siendo 1 la de menor valorización y 5 la de mayor valorización.

La sesión de trabajo con el personal de la empresa dio como resultado la siguiente tabla priorización de los problemas identificados.

Tabla 4. Priorización de los problemas identificados

N°	Problema	Frecuencia			Importancia			Factibilidad			Puntaje Total
		Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	
1	Desorganización en la gestión de la empresa.	3	4	7	3	3	6	3	3	6	9
2	Falta de estandarización en las operaciones.	4	3	7	3	4	7	3	4	7	11
3	Pérdida de clientes debido a la calidad insatisfactoria.	4	3	7	4	4	8	4	3	7	12
4	Falta de maquinaria moderna para el procesamiento de la madera.	3	3	6	3	4	7	3	4	7	10
5	Accidentes laborales debido a maquinaria peligrosa.	3	3	6	3	3	6	3	3	6	8
6	Alta rotación del personal.	4	5	9	3	3	6	4	4	8	13



N°	Problema	Frecuencia			Importancia			Factibilidad			Puntaje Total
		Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	
7	Disminución de suministro de madera debido a la deforestación.	4	3	7	4	3	7	3	3	6	20
8	Falta de control de inventario y almacenamiento.	4	4	8	4	4	8	4	4	8	42
9	Retrasos en la entrega de productos a los clientes.	5	5	10	5	5	10	5	4	9	92
10	Sobrecostos en el transporte.	5	5	10	5	4	9	5	5	10	92

En ese sentido, el esfuerzo del presente trabajo de investigación se debe centrar en los siguientes problemas principales:

- Retrasos en la entrega de productos a los clientes.
- Sobrecostos en el transporte.

2.4.4. Análisis de las causas principales de los problemas relevantes

En base a lo anterior, se realiza una nueva sesión de trabajo para la identificación de causas a los problemas identificados (trabajados de manera independiente), con el objetivo de realizar un diagrama de causa-efecto (o diagrama de Ishikawa) que permite clasificar las causas en las 6M: mano de obra, métodos, materiales, maquinarias, mediciones y medio ambiente.

Figura 5. Diagrama de Ishikawa para el problema de retrasos en la entrega de productos a los clientes

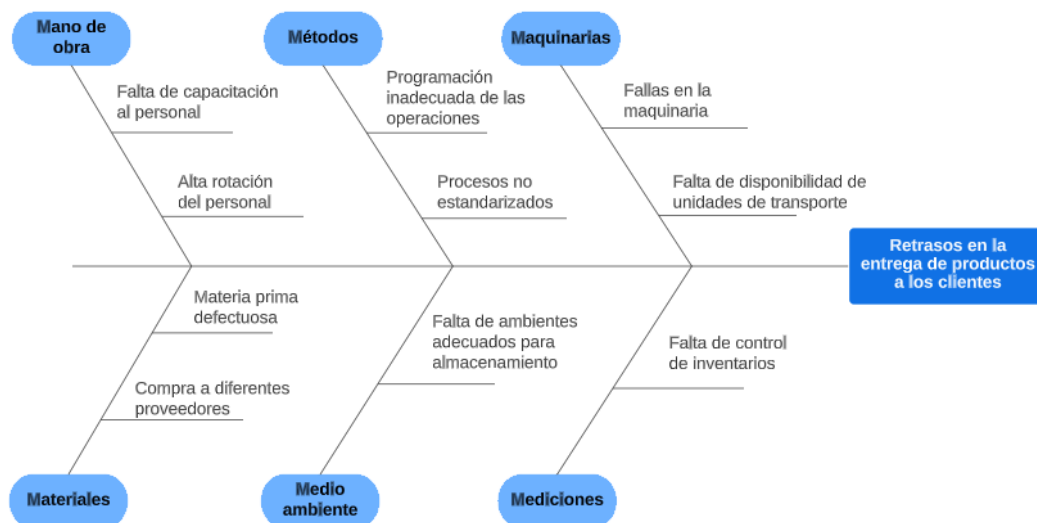
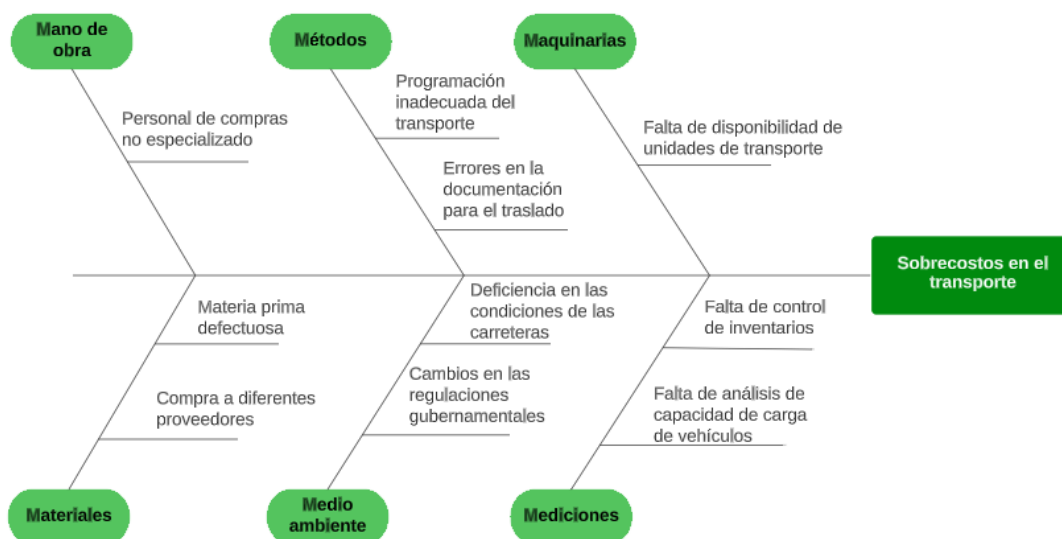


Figura 6. Diagrama de Ishikawa para el problema de sobrecostos en el transporte



Con lo anterior, se ha evaluado cada causa de cada problema, mediante una matriz de selección de causas relevantes, haciendo uso de los criterios: frecuencia (que suceda), importancia (de la causa referente al problema) y factibilidad (de que se pueda atacar la causa para solucionar o reducir los efectos del problema). Cabe precisar que, en esta evaluación se les solicita a las personas que realicen una calificación del 1 al 5, siendo 1 la de menor valorización y 5 la de mayor valorización.

La sesión de trabajo con el personal de la empresa dio como resultado la siguiente tabla priorización de las causas relevantes, para cada problema.

Tabla 5. Priorización de las causas identificadas para el problema de retrasos en la entrega de productos a los clientes

N°	Causas	Frecuencia			Importancia			Factibilidad			Puntaje Total
		Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	
1	Falta de capacitación al personal	4	3	7	3	2	5	4	3	7	9
2	Alta rotación del personal	4	3	7	3	3	6	3	3	6	9
3	Programación inadecuada de las operaciones	5	5	10	5	5	10	5	4	9	9
4	Procesos no estandarizados	3	3	6	3	3	6	4	3	7	9
5	Fallas en la maquinaria	3	4	7	3	4	7	3	4	7	1
6	Falta de disponibilidad de unidades de transporte	4	3	7	4	3	7	3	3	6	0



N°	Causas	Frecuencia			Importancia			Factibilidad			Puntaje Total
		Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	
7	Materia prima defectuosa	3	4	7	4	4	8	3	3	6	12
8	Compra a diferentes proveedores	4	3	7	3	3	6	3	3	6	9
9	Falta de ambientes adecuados para almacenamiento	3	3	6	3	3	6	3	3	6	8
10	Falta de control de inventarios	4	4	8	5	4	9	5	5	10	17



Tabla 6. Priorización de las causas identificadas para el problema de sobrecostos en el transporte

N°	Causas	Frecuencia			Importancia			Factibilidad			Puntaje Total
		Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	
1	Personal de compras no especializado	4	3	7	4	3	7	4	4	8	22
2	Programación inadecuada del transporte	5	5	10	5	4	9	5	5	10	29
3	Errores en la documentación para el traslado	4	2	6	4	2	6	4	4	8	20
4	Falta de disponibilidad de unidades de transporte	3	3	6	3	3	6	3	3	6	18
5	Materia prima defectuosa	3	4	7	4	3	7	3	3	6	20
6	Compra a diferentes proveedores	3	3	6	3	3	6	3	3	6	18
7	Deficiencia en las condiciones de las carreteras	3	2	5	3	3	6	2	2	4	15



N°	Causas	Frecuencia			Importancia			Factibilidad			Puntaje Total
		Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	Administrador	Supervisor	Total	
8	Cambios en las regulaciones gubernamentales	3	2	5	3	3	6	2	2	4	15
9	Falta de control de inventarios	4	4	8	5	4	9	5	5	10	27
10	Falta de análisis de capacidad de carga de vehículos	4	3	7	3	3	6	4	4	8	21

En ese sentido, el análisis de causas relevantes de los problemas principales del presente trabajo de investigación se centra en el siguiente aspecto:

- Programación inadecuada de las operaciones (compras y transporte).

1.5. Diseño del modelo de programación lineal

Con el objetivo de poder contrarrestar los problemas identificados, en la presente investigación se desarrolla un modelo de programación lineal que contemple aspectos de demanda, inventarios, capacidades de producción, y los costos relacionados a materia prima, inventarios, producción y transporte.

Cabe precisar que en la etapa del diseño de un modelo matemático se requiere de algunos supuestos para poder simplificar la situación actual, y en la etapa de la interpretación de los resultados se requiere tener en cuenta la realidad de la empresa.

2.5.1. Inputs del modelo de programación lineal

La información que se presenta a continuación es de manera semanal:

- **Ubicación de Sucursal y Proveedores**

La empresa cuenta con una sede central ubicada en el distrito de Ventanilla, además de las 3 sedes ubicadas en los distritos de Puente Piedra, Arequipa y Trujillo. En la sede central se realiza principalmente la producción (aproximadamente el 55%) y se realiza una venta en menores cantidades (aproximadamente el 5%); sin embargo, en las 3 sedes adicionales se centran en las ventas (aproximadamente el 95%) y con menor proporción en la producción (aproximadamente el 45%).



La empresa actualmente cuenta con 4 proveedores ubicados en Oxapampa (Pasco), Puerto Inca (Huánuco), Von Humboldt (Ucayali) y Mamantay (Ucayali).

Asimismo, la empresa cuenta con diferentes clientes a nivel local y regional. Estos clientes se pueden clasificar en: empresas dedicadas a la fabricación de casas prefabricadas, personas de venta directa y proyectos (empresas mineras).

Tabla 7. Listado de proveedores y sus ubicaciones

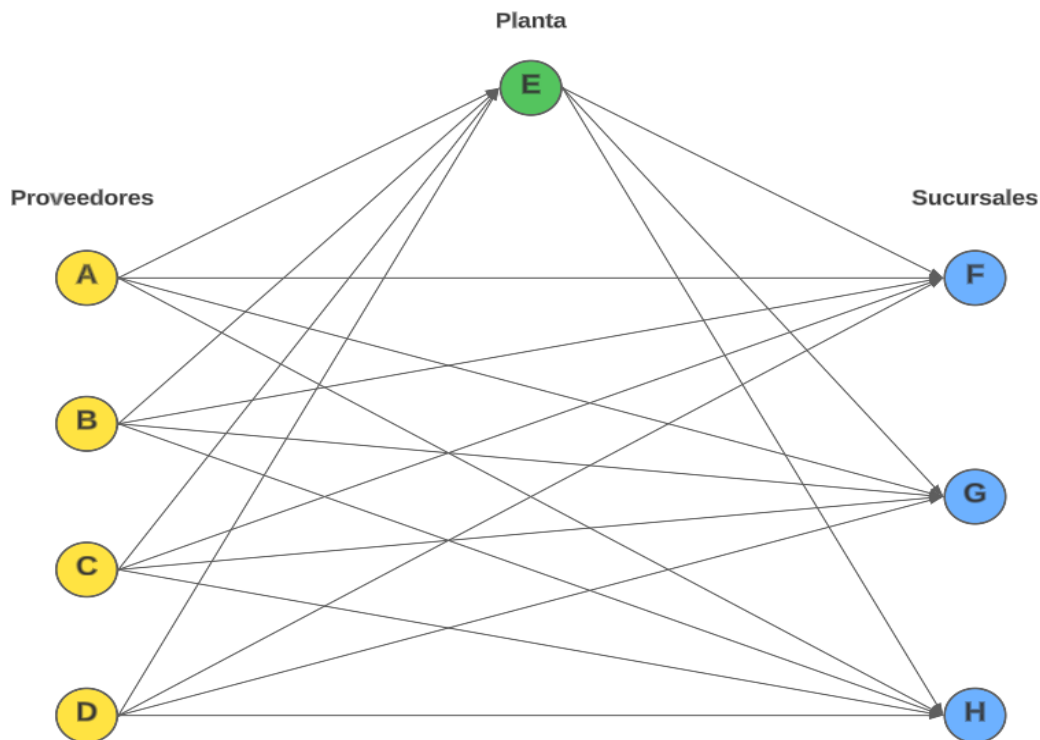
Proveedor	Ubicación
A	Oxapampa - Pasco
B	Puerto Inca - Huánuco
C	Von Humboldt - Ucayali
D	Mamantay - Ucayali

Tabla 8. Listado de sedes y sus ubicaciones

Sede	Tipo de Sede	Ubicación
E	Planta	Ventanilla - Callao
F	Sucursal	Puente Piedra - Lima
G	Sucursal	Moche - La Libertad
H	Sucursal	Yanahuara - Arequipa

Cabe precisar que los proveedores pueden entregar tablillas a las 4 sedes de la empresa de manera directa, y la planta (E) puede abastecer a las otras sedes, esto con la finalidad de que todas puedan cumplir los requerimientos de los clientes. El siguiente gráfico resume todas las rutas existentes entre los proveedores y sedes.

Figura 7. Diagrama de transbordo entre proveedores, planta y sucursales



Las letras usadas para clasificar a cada planta, sucursal o proveedor serán utilizadas en adelante para el modelo de programación lineal

- **Capacidades y Costos de Proveedores:**

Cada proveedor cuenta con un costo diferenciado por tablilla. Además, pueden proporcionar una cantidad máxima de tablillas de manera semanal, esta cantidad está asociada a la cantidad de unidades de transporte con las que cuenta. Los proveedores A y B cuentan con 2 camiones cada uno, por ello su capacidad máxima que pueden proporcionar a la empresa es de 20,600 unidades ($10,300 \times 2$); en el caso de los proveedores C y D, cuentan con 1 tráiler cada uno, por ello su capacidad máxima es de 15,800 unidades ($15,800 \times 1$).



Tabla 9. Capacidad de carga por tipo de transporte

Tipo de Transporte	Capacidad de Carga (und)
Camión	10,300
Tráiler	15,800

Tabla 10. Capacidad de abastecimiento y costo unitario de tablillas

Proveedor	Capacidad de Abastecimiento (und / sem)	Costo de Tablillas (S/. / und)
A	20,600	2.70
B	20,600	2.75
C	15,800	2.80
D	15,800	2.85

Asimismo, los costos de usar una unidad de transporte en su totalidad hacia las distintas sedes de la empresa se presentan en la siguiente tabla. Cabe precisar que, desde A, B se usan camiones para trasladar las tablillas; y desde C y D se usan tráilers. Además, las tablillas que se han procesado en E se trasladan en camiones, y el costo de usar un camión en su totalidad hacia las distintas sucursales se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 11. Costos de transporte en cada ruta

Costo de Transporte (S/. / viaje)	E	F	G	H
A	4,800.00	4,800.00	8,640.00	10,560.00
B	4,800.00	4,800.00	8,640.00	10,560.00
C	6,000.00	6,000.00	10,800.00	13,200.00
D	6,000.00	6,000.00	10,800.00	13,200.00
E		500.00	4,400.00	6,500.00



Con el costo total de una unidad de transporte y su capacidad de carga, se obtiene el costo de transporte por tablilla.

Tabla 12. Costos unitarios de transporte de tablillas

Costo de Transporte (S/. / und)	E	F	G	H
A	0.466	0.466	0.839	1.025
B	0.466	0.466	0.839	1.025
C	0.380	0.380	0.684	0.835
D	0.380	0.380	0.684	0.835
E		0.049	0.427	0.631

• **Capacidades y Costos de Producción:**

Cada sede de la empresa realiza el procesamiento de las tablillas, sin embargo, la cantidad de personas y máquinas es distinta en cada sede, al igual que sus costos.

Es importante mencionar que, el uso de las máquinas requiere de mínimo 2 operarios, y los operarios trabajan 8 horas diarias durante 6 días a la semana. A continuación, se detalla las tasas de producción de cada máquina, debido al modelo y años de antigüedad que tienen, y las capacidades de producción resultantes por semana.

Tabla 13. Capacidad de producción de cada sede

Sede	Cantidad de Máquinas	Tasa de Producción (und / hora-maq)	Capacidad de Producción (und / sem)
E	3	220	35,640
F	1	200	10,800
G	1	180	9,720



Sede	Cantidad de Máquinas	Tasa de Producción (und / hora-maq)	Capacidad de Producción (und / sem)
H	1	190	10,260

Como se mencionó anteriormente, la planta (E) proporciona de tablillas procesadas a las demás sucursales debido a que cuenta con mayor cantidad de máquinas (mayor capacidad), y con el fin de que las sedes puedan cumplir con la demanda de sus clientes.

Asimismo, se ha estimado los costos de producción, los cuales, difieren por el pago semanal que se realizan a los operarios y las capacidades de producción en cada sede

Tabla 14. Costos unitarios de producción de cada sede

Sede	Cantidad de Operarios	Costo Semanal de Operario (S/. / sem)	Costo de Producción (S/. / und)
E	6	350	0.059
F	2	350	0.065
G	3	300	0.093
H	4	320	0.125

- **Capacidades y Costos de Inventario:**

Cada sede de la empresa cuenta con un espacio para el almacenamiento de las tablillas, sin embargo, la capacidad de almacenamiento y los costos asociados difieren en cada sede.

Es importante mencionar que, los locales de las sedes son inmuebles alquilados. La información del área total y lo destinado a almacén se encuentra en la siguiente tabla.



Tabla 15. Área sedes y almacenes

Sede	Área Total (m2)	Área de Almacén (m2)	Área de Almacén (%)
E	400.00	285.00	71.3%
F	150.00	115.00	76.7%
G	120.00	90.00	75.0%
H	120.00	95.00	79.2%

La capacidad de almacenamiento se calcula en base al área de cada almacén y el espacio (ancho x grosor) que ocupa cada tablilla con un factor adicional del 20% por medida. Se sabe que las medidas de la tablilla son: 2.3 m (largo) x 0.1 m (ancho) x 0.03 m (grosor).

Además, los costos unitarios de inventario en cada sede se han estimado en base a los costos de alquiler y su capacidad de almacenamiento.

Tabla 16. Capacidad de almacenamiento y costos unitarios de inventario

Sede	Capacidad de Almacenamiento (und)	Costo de Alquiler de Local (S/.)	Costo de Inventario (S/. / und-sem)
E	65,972	1,800.00	0.005
F	26,620	1,500.00	0.011
G	20,833	1,400.00	0.013
H	21,990	1,200.00	0.011

Asimismo, a finales de agosto se contabilizó el total de tablillas excedentes en los almacenes, y se solicitó a los supervisores de cada sede que definan (en base a su experiencia)



una cantidad mínima que deben tener en su almacén para atender cualquier imprevisto (sabiendo que no existe una política definida en la empresa para el stock de seguridad).

Tabla 17. Inventario inicial de setiembre y política de stock de seguridad de cada sede

Sede	Inventario Inicial de Tablilla (und)	Política de Inventario Mínimo de Tablilla (und / sem)
E	6,750	5,000
F	3,240	3,000
G	2,820	2,500
H	2,630	2,500

• **Demanda de Sedes:**

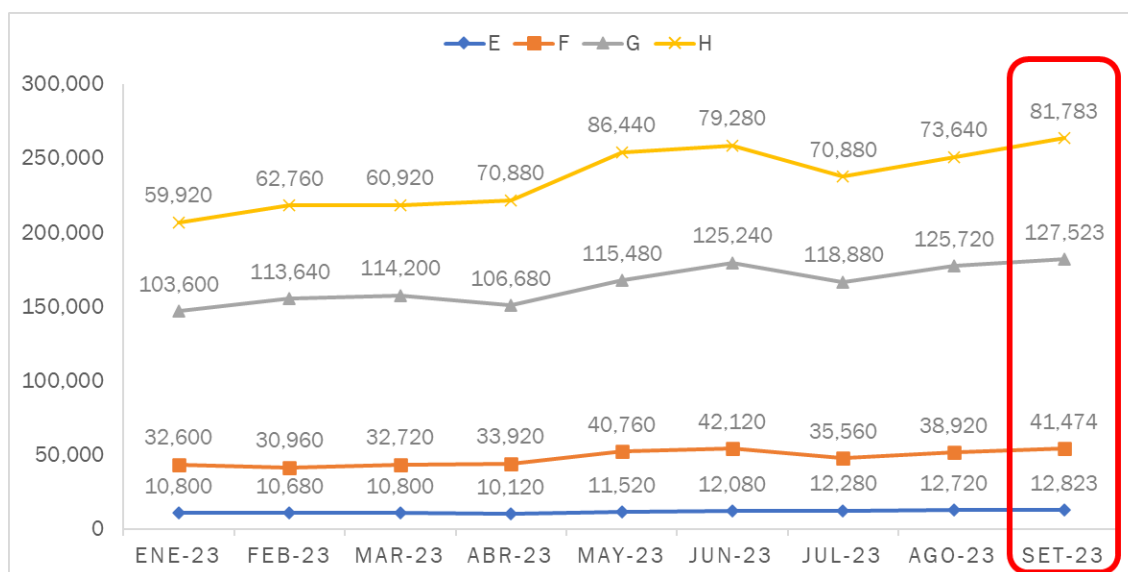
Para la demanda en las sedes, se obtuvo la demanda mensual del presente año, de enero a agosto, con el fin de realizar un pronóstico mediante regresión lineal (usando Ms. Excel) para el mes de setiembre.

Tabla 18. Demanda mensual histórica de cada sede

Sede	Ene-23	Feb-23	Mar-23	Abr-23	May-23	Jun-23	Jul-23	Ago-23
E	10,800	10,680	10,800	10,120	11,520	12,080	12,280	12,720
F	32,600	30,960	32,720	33,920	40,760	42,120	35,560	38,920
G	103,600	113,640	114,200	106,680	115,480	125,240	118,880	125,720
H	59,920	62,760	60,920	70,880	86,440	79,280	70,880	73,640
Total	206,920	218,040	218,640	221,600	254,200	258,720	237,600	251,000



Figura 8. Demanda mensual y proyección setiembre 2023 en cada sede



Los resultados del pronóstico mensual para setiembre y su respectivo pronóstico semanal (dividido entre 4) se muestran la siguiente tabla.

Tabla 19. Pronóstico mensual y semanal de cada sede

Sede	Demanda (und / mes)	Demanda (und / sem)
E	12,823	3,206
F	41,474	10,369
G	127,523	31,881
H	81,783	20,446
Total	263,603	65,902

2.5.2. Modelo de programación lineal



En base a la información recogida, se ha formulado un modelo de programación lineal que minimice los costos operacionales (compra, transporte, producción e inventarios) con las restricciones de abastecimiento, producción, demanda e inventarios.

El modelo matemático se resume en las siguientes expresiones:

Definición de variables

U, V, W, X : cantidad de tablillas transportadas del proveedor A hacia sedes en un periodo

Y : cantidad de tablillas procesadas y transportadas de planta E hacia la sedes en un periodo

I : cantidad de inventario final de tablillas procesadas en la sedes en un periodo

Función objetivo

Minimizar costos

Min Z =

Costo de materia prima: Costo unitario de materia prima * (U + V + W + X) +

Costo de transporte de proveedor a sede: Costo unitario de transporte * (U + V + W + X) +

Costo de producción: Costo unitario de producción * (U + V + W + X) +

Costo de transporte entre sedes: Costo unitario de transporte * (Y) +

Costo de inventarios: Costo unitario de inventario * (I)

Restricciones

Capacidad de abastecimiento:

Proveedor: U, V, W, X \leq Capacidad de abastecimiento de proveedor

Transbordo (Producción, Inventarios, Demanda):

Sucursal: Inventario Inicial en sede + (U + V + W + X) - (Y + Stock de seguridad en sede) = I

Inventario mínimo (stock de seguridad):

Sucursal: I \geq Stock de seguridad en sede



Capacidad de inventario:

$$\text{Sucursal: } I \leq \text{Capacidad de inventario en sede}$$

Capacidad de producción:

$$\text{Sucursal: } U + V + W + X \leq \text{Capacidad de producción en sede}$$

Restricciones de existencia:

$$U, V, W, X, Y, I \geq 0 \text{ y enteras}$$

Con el modelo matemático presentado, se ha visto conveniente realizar un modelo de programación lineal en el periodo de una semana y en un mes, con la finalidad de analizar si existe una reducción de costos a distintos alcances de plazos en la programación. Cabe precisar que el alcance de un mes, de igual realiza una programación de compra y producción de manera semanal.

A. Modelo de Programación Lineal con Alcance de una Semana

El presente modelo cuenta con 23 variables enteras positivas y 20 restricciones. El modelo se define de manera semanal, ya que de esta forma se realizan las compras con proveedores.

Definición de variables

U_i : cantidad de tablillas transportadas del proveedor A hacia la sede i en una semana

V_i : cantidad de tablillas transportadas del proveedor B hacia la sede i en una semana

W_i : cantidad de tablillas transportadas del proveedor C hacia la sede i en una semana

X_i : cantidad de tablillas transportadas del proveedor D hacia la sede i en una semana

Y_i : cantidad de tablillas procesadas y transportadas de planta E hacia la sede i en una semana

I_i : cantidad de inventario final de tablillas procesadas en la sede i en una semana

donde: $i = 1$ [E], 2 [F], 3 [G], 4 [H]

Función objetivo



Minimizar costos

Min Z =

Costo de materia prima:

$$2.70(U1 + U2 + U3 + U4) +$$

$$2.75(V1 + V2 + V3 + V4) +$$

$$2.80(W1 + W2 + W3 + W4) +$$

$$2.85(X1 + X2 + X3 + X4) +$$

Costo de transporte de proveedor a sede:

$$(0.466U1 + 0.466U2 + 0.839U3 + 1.025U4) +$$

$$(0.466V1 + 0.466V2 + 0.839V3 + 1.025V4) +$$

$$(0.380W1 + 0.380W2 + 0.684W3 + 0.835W4) +$$

$$(0.380X1 + 0.380X2 + 0.684X3 + 0.835X4) +$$

Costo de producción:

$$0.059(U1 + V1 + W1 + X1) +$$

$$0.065(U2 + V2 + W2 + X2) +$$

$$0.093(U3 + V3 + W3 + X3) +$$

$$0.125(U4 + V4 + W4 + X4) +$$

Costo de transporte entre sedes:

$$0.049Y2 + 0.427Y3 + 0.631Y4 +$$

Costo de inventarios:

$$0.005I1 + 0.011I2 + 0.013I3 + 0.011I4$$

Restricciones

Capacidad de abastecimiento:

Proveedor A: $U1 + U2 + U3 + U4 \leq 20600$

Proeedor B: $V1 + V2 + V3 + V4 \leq 20600$

Proveedor C: $W1 + W2 + W3 + W4 \leq 15800$

Proveedor D: $X1 + X2 + X3 + X4 \leq 15800$

Transbordo (Producción, Inventarios, Demanda):

Planta E: $6750 + (U1 + V1 + W1 + X1) - (Y2 + Y3 + Y4 + 3206) = I1$

Sucursal F: $3240 + (U2 + V2 + W2 + X2 + Y2) - (10369) = I2$



$$\text{Sucursal G: } 2820 + (U3 + V3 + W3 + X3 + Y3) - (31881) = I3$$

$$\text{Sucursal H: } 2630 + (U4 + V4 + W4 + X4 + Y4) - (20446) = I4$$

Inventario mínimo (stock de seguridad):

$$\text{Planta E: } I1 \geq 5000$$

$$\text{Sucursal F: } I2 \geq 3000$$

$$\text{Sucursal G: } I3 \geq 2500$$

$$\text{Sucursal H: } I4 \geq 2500$$

Capacidad de inventario:

$$\text{Planta E: } I1 \leq 65972$$

$$\text{Sucursal F: } I2 \leq 26620$$

$$\text{Sucursal G: } I3 \leq 20833$$

$$\text{Sucursal H: } I4 \leq 21990$$

Capacidad de producción:

$$\text{Planta E: } U1 + V1 + W1 + X1 \leq 35640$$

$$\text{Sucursal F: } U2 + V2 + W2 + X2 \leq 10800$$

$$\text{Sucursal G: } U3 + V3 + W3 + X3 \leq 9720$$

$$\text{Sucursal H: } U4 + V4 + W4 + X4 \leq 10260$$

Restricciones de existencia:

$$U1, U2, U3, U4, V1, V2, V3, V4, W1, W2, W3, W4, X1, X2, X3, X4, Y2, Y3, Y4, I1, I2, I3, I4 \geq 0 \text{ y enteras}$$

B. Modelo de Programación Lineal con Alcance de un Mes

El presente modelo cuenta con 92 variables enteras positivas y 80 restricciones. El modelo se define de manera mensual, sin embargo, las variables y las restricciones se definen



en periodos semanales ya que las compras con proveedores se realizan en esos rangos de tiempo.

Definición de variables

U_{ij} : cantidad de tablillas transportadas del proveedor A hacia la sede i en la semana j

V_{ij} : cantidad de tablillas transportadas del proveedor B hacia la sede i en la semana j

W_{ij} : cantidad de tablillas transportadas del proveedor C hacia la sede i en la semana j

X_{ij} : cantidad de tablillas transportadas del proveedor D hacia la sede i en la semana j

Y_{ij} : cantidad de tablillas procesadas y transportadas de planta E hacia la sede i en la semana j

I_{ij} : cantidad de inventario final de tablillas procesadas en la sede i en la semana j

donde: $i = 1$ [E], 2 [F], 3 [G], 4 [H]

$$j = 1, 2, 3, 4$$

Función objetivo

Minimizar costos

Min $Z =$

Costo de materia prima:

$$\text{Semana 1: } 2.70(U_{11} + U_{21} + U_{31} + U_{41}) + 2.75(V_{11} + V_{21} + V_{31} + V_{41}) + 2.80(W_{11} + W_{21} + W_{31} + W_{41}) + 2.85(X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41}) +$$

$$\text{Semana 2: } 2.70(U_{12} + U_{22} + U_{32} + U_{42}) + 2.75(V_{12} + V_{22} + V_{32} + V_{42}) + 2.80(W_{12} + W_{22} + W_{32} + W_{42}) + 2.85(X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42}) +$$

$$\text{Semana 3: } 2.70(U_{13} + U_{23} + U_{33} + U_{43}) + 2.75(V_{13} + V_{23} + V_{33} + V_{43}) + 2.80(W_{13} + W_{23} + W_{33} + W_{43}) + 2.85(X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43}) +$$

$$\text{Semana 4: } 2.70(U_{14} + U_{24} + U_{34} + U_{44}) + 2.75(V_{14} + V_{24} + V_{34} + V_{44}) + 2.80(W_{14} + W_{24} + W_{34} + W_{44}) + 2.85(X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44}) +$$

Costo de transporte de proveedor a sede:

$$\text{Semana 1: } (0.466U_{11} + 0.466U_{21} + 0.839U_{31} + 1.025U_{41}) + (0.466V_{11} + 0.466V_{21} + 0.839V_{31} + 1.025V_{41}) + (0.380W_{11} + 0.380W_{21} + 0.684W_{31} + 0.835W_{41}) + (0.380X_{11} + 0.380X_{21} + 0.684X_{31} + 0.835X_{41}) +$$



Semana 2: $(0.466U12 + 0.466U22 + 0.839U32 + 1.025U42) + (0.466V12 + 0.466V22 + 0.839V32 + 1.025V42) + (0.380W12 + 0.380W22 + 0.684W32 + 0.835W42) + (0.380X12 + 0.380X22 + 0.684X32 + 0.835X42) +$

Semana 3: $(0.466U13 + 0.466U23 + 0.839U33 + 1.025U43) + (0.466V13 + 0.466V23 + 0.839V33 + 1.025V43) + (0.380W13 + 0.380W23 + 0.684W33 + 0.835W43) + (0.380X13 + 0.380X23 + 0.684X33 + 0.835X43) +$

Semana 4: $(0.466U14 + 0.466U24 + 0.839U34 + 1.025U44) + (0.466V14 + 0.466V24 + 0.839V34 + 1.025V44) + (0.380W14 + 0.380W24 + 0.684W34 + 0.835W44) + (0.380X14 + 0.380X24 + 0.684X34 + 0.835X44) +$

Costo de producción:

Semana 1: $0.059(U11 + V11 + W11 + X11) + 0.065(U21 + V21 + W21 + X21) + 0.093(U31 + V31 + W31 + X31) + 0.125(U41 + V41 + W41 + X41) +$

Semana 2: $0.059(U12 + V12 + W12 + X12) + 0.065(U22 + V22 + W22 + X22) + 0.093(U32 + V32 + W32 + X32) + 0.125(U42 + V42 + W42 + X42) +$

Semana 3: $0.059(U13 + V13 + W13 + X13) + 0.065(U23 + V23 + W23 + X23) + 0.093(U33 + V33 + W33 + X33) + 0.125(U43 + V43 + W43 + X43) +$

Semana 4: $0.059(U14 + V14 + W14 + X14) + 0.065(U24 + V24 + W24 + X24) + 0.093(U34 + V34 + W34 + X34) + 0.125(U44 + V44 + W44 + X44) +$

Costo de transporte entre sedes:

Semana 1: $0.049Y21 + 0.427Y31 + 0.631Y41 +$

Semana 2: $0.049Y22 + 0.427Y32 + 0.631Y42 +$

Semana 3: $0.049Y23 + 0.427Y33 + 0.631Y43 +$

Semana 4: $0.049Y24 + 0.427Y34 + 0.631Y44 +$

Costo de inventarios:

Semana 1: $0.005I11 + 0.011I21 + 0.013I31 + 0.011I41 +$

Semana 2: $0.005I12 + 0.011I22 + 0.013I32 + 0.011I42 +$

Semana 3: $0.005I13 + 0.011I23 + 0.013I33 + 0.011I43 +$

Semana 4: $0.005I14 + 0.011I24 + 0.013I34 + 0.011I44$

Restricciones



Capacidad de abastecimiento:

- Semana 1: Proveedor A: $U_{11} + U_{21} + U_{31} + U_{41} \leq 20600$
 Proveedor B: $V_{11} + V_{21} + V_{31} + V_{41} \leq 20600$
 Proveedor C: $W_{11} + W_{21} + W_{31} + W_{41} \leq 15800$
 Proveedor D: $X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} \leq 15800$
- Semana 2: Proveedor A: $U_{12} + U_{22} + U_{32} + U_{42} \leq 20600$
 Proveedor B: $V_{12} + V_{22} + V_{32} + V_{42} \leq 20600$
 Proveedor C: $W_{12} + W_{22} + W_{32} + W_{42} \leq 15800$
 Proveedor D: $X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} \leq 15800$
- Semana 3: Proveedor A: $U_{13} + U_{23} + U_{33} + U_{43} \leq 20600$
 Proveedor B: $V_{13} + V_{23} + V_{33} + V_{43} \leq 20600$
 Proveedor C: $W_{13} + W_{23} + W_{33} + W_{43} \leq 15800$
 Proveedor D: $X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} \leq 15800$
- Semana 4: Proveedor A: $U_{14} + U_{24} + U_{34} + U_{44} \leq 20600$
 Proveedor B: $V_{14} + V_{24} + V_{34} + V_{44} \leq 20600$
 Proveedor C: $W_{14} + W_{24} + W_{34} + W_{44} \leq 15800$
 Proveedor D: $X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} \leq 15800$

Transbordo (Producción, Inventarios, Demanda):

- Semana 1: Planta E: $6750 + (U_{11} + V_{11} + W_{11} + X_{11}) -$
 $(Y_{21} + Y_{31} + Y_{41} + 3206) = I_{11}$
- Sucursal F: $3240 + (U_{21} + V_{21} + W_{21} + X_{21} + Y_{21}) -$
 $(10369) = I_{21}$
- Sucursal G: $2820 + (U_{31} + V_{31} + W_{31} + X_{31} + Y_{31}) - (31881) =$
 I_{31}
- Sucursal H: $2630 + (U_{41} + V_{41} + W_{41} + X_{41} + Y_{41}) - (20446) =$
 I_{41}



Semana 2: Planta E: $I11 + (U12 + V12 + W12 + X12) - (Y22 + Y32 + Y42 + 3206) = I12$

 Sucursal F: $I21 + (U22 + V22 + W22 + X22 + Y22) - (10369) = I22$

 Sucursal G: $I31 + (U32 + V32 + W32 + X32 + Y32) - (31881) = I32$

 Sucursal H: $I41 + (U42 + V42 + W42 + X42 + Y42) - (20446) = I42$

Semana 3: Planta E: $I12 + (U13 + V13 + W13 + X13) - (Y23 + Y33 + Y43 + 3206) = I13$

 Sucursal F: $I22 + (U23 + V23 + W23 + X23 + Y23) - (10369) = I23$

 Sucursal G: $I32 + (U33 + V33 + W33 + X33 + Y32) - (31881) = I33$

 Sucursal H: $I42 + (U43 + V43 + W43 + X43 + Y43) - (20446) = I43$

Semana 4: Planta E: $I13 + (U14 + V14 + W14 + X14) - (Y24 + Y34 + Y44 + 3206) = I14$

 Sucursal F: $I23 + (U24 + V24 + W24 + X24 + Y24) - (10369) = I24$

 Sucursal G: $I33 + (U34 + V34 + W34 + X34 + Y34) - (31881) = I34$

 Sucursal H: $I43 + (U44 + V44 + W44 + X44 + Y44) - (20446) = I44$

Inventario mínimo (stock de seguridad):

Semana 1: Planta E: $I11 \geq 5000$

 Sucursal F: $I21 \geq 3000$

 Sucursal G: $I31 \geq 2500$

 Sucursal H: $I41 \geq 2500$

Semana 2: Planta E: $I12 \geq 5000$

 Sucursal F: $I22 \geq 3000$

 Sucursal G: $I32 \geq 2500$

 Sucursal H: $I42 \geq 2500$

Semana 3: Planta E: $I13 \geq 5000$

 Sucursal F: $I23 \geq 3000$

 Sucursal G: $I33 \geq 2500$

 Sucursal H: $I43 \geq 2500$



Semana 4: Planta E: $I14 \geq 5000$
 Sucursal F: $I24 \geq 3000$
 Sucursal G: $I34 \geq 2500$
 Sucursal H: $I44 \geq 2500$

Capacidad de inventario:

Semana 1: Planta E: $I11 \leq 65972$
 Sucursal F: $I21 \leq 26620$
 Sucursal G: $I31 \leq 20833$
 Sucursal H: $I41 \leq 21990$

Semana 2: Planta E: $I12 \leq 65972$
 Sucursal F: $I22 \leq 26620$
 Sucursal G: $I32 \leq 20833$
 Sucursal H: $I42 \leq 21990$

Semana 3: Planta E: $I13 \leq 65972$
 Sucursal F: $I23 \leq 26620$
 Sucursal G: $I33 \leq 20833$
 Sucursal H: $I43 \leq 21990$

Semana 4: Planta E: $I14 \leq 65972$
 Sucursal F: $I24 \leq 26620$
 Sucursal G: $I34 \leq 20833$
 Sucursal H: $I44 \leq 21990$

Capacidad de producción:

Semana 1: Planta E: $U11 + V11 + W11 + X11 \leq 35640$
 Sucursal F: $U21 + V21 + W21 + X21 \leq 10800$
 Sucursal G: $U31 + V31 + W31 + X31 \leq 9720$
 Sucursal H: $U41 + V41 + W41 + X41 \leq 10260$



Semana 2: Planta E: $U_{12} + V_{12} + W_{12} + X_{12} \leq 35640$
 Sucursal F: $U_{22} + V_{22} + W_{22} + X_{22} \leq 10800$
 Sucursal G: $U_{32} + V_{32} + W_{32} + X_{32} \leq 9720$
 Sucursal H: $U_{42} + V_{42} + W_{42} + X_{42} \leq 10260$

Semana 3: Planta E: $U_{13} + V_{13} + W_{13} + X_{13} \leq 35640$
 Sucursal F: $U_{23} + V_{23} + W_{23} + X_{23} \leq 10800$
 Sucursal G: $U_{33} + V_{33} + W_{33} + X_{33} \leq 9720$
 Sucursal H: $U_{43} + V_{43} + W_{43} + X_{43} \leq 10260$

Semana 4: Planta E: $U_{14} + V_{14} + W_{14} + X_{14} \leq 35640$
 Sucursal F: $U_{24} + V_{24} + W_{24} + X_{24} \leq 10800$
 Sucursal G: $U_{34} + V_{34} + W_{34} + X_{34} \leq 9720$
 Sucursal H: $U_{44} + V_{44} + W_{44} + X_{44} \leq 10260$

Restricciones de existencia:

Semana 1: $U_{11}, U_{21}, U_{31}, U_{41}, V_{11}, V_{21}, V_{31}, V_{41}, W_{11}, W_{21}, W_{31}, W_{41}, X_{11}, X_{21}, X_{31}, X_{41}, Y_{11}, Y_{21}, Y_{31}, Y_{41}, I_{11}, I_{21}, I_{31}, I_{41},$

Semana 2: $U_{12}, U_{22}, U_{32}, U_{42}, V_{12}, V_{22}, V_{32}, V_{42}, W_{12}, W_{22}, W_{32}, W_{42}, X_{12}, X_{22}, X_{32}, X_{42}, Y_{12}, Y_{22}, Y_{32}, Y_{42}, I_{12}, I_{22}, I_{32}, I_{42},$

Semana 3: $U_{13}, U_{23}, U_{33}, U_{43}, V_{13}, V_{23}, V_{33}, V_{43}, W_{13}, W_{23}, W_{33}, W_{43}, X_{13}, X_{23}, X_{33}, X_{43}, Y_{13}, Y_{23}, Y_{33}, Y_{43}, I_{13}, I_{23}, I_{33}, I_{43},$

Semana 4: $U_{14}, U_{24}, U_{34}, U_{44}, V_{14}, V_{24}, V_{34}, V_{44}, W_{14}, W_{24}, W_{34}, W_{44}, X_{14}, X_{24}, X_{34}, X_{44}, Y_{14}, Y_{24}, Y_{34}, Y_{44}, I_{14}, I_{24}, I_{34}, I_{44} \geq 0$ y enteras

1.6. Consideraciones éticas

Es crucial destacar que la investigación se ha llevado a cabo con un enfoque ético y una responsabilidad sólida, tanto en el manejo de la información proporcionada por la empresa como en la presentación de los resultados obtenidos.



Asimismo, se ha garantizado la confidencialidad de los datos sensibles de la empresa y la anonimidad de las opiniones de los trabajadores que brindaron durante las entrevistas y encuestas aplicadas.

Finalmente, la transparencia y el respeto hacia los intereses de la empresa han sido prioritarios en todas las fases de la investigación, asegurando la validez y la integridad de los hallazgos presentados en este estudio.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

La presente investigación contempla la aplicación de un modelo de programación lineal en las operaciones de la empresa, con el objetivo de reducir los problemas que se identificaron en el análisis de la situación actual de la empresa. La información recogida para el diseño y aplicación del modelo de programación lineal es de enero a agosto del presente año.

3.1. Resultados del modelo de programación lineal

Con los modelos de programación lineal planteados se presentan las salidas del software Lindo, los cuales serán comparados con los costos totales de operaciones en periodos anteriores, y con ello, analizar si existe alguna mejora en la aplicación.

3.1.1. Outputs del modelo de programación lineal con alcance semanal

Las salidas del modelo de programación lineal son las siguientes:

- Las cantidades de tablillas que se compran a cada proveedor y luego son transportadas a las sedes, se muestran en las primeras cuatro filas de la tabla.
- Las cantidades de tablillas procesadas enviadas desde la planta hacia las sedes se muestran en la quinta fila de la tabla.
- Los inventarios respetan el stock de seguridad, como se muestra en la última fila de la tabla.

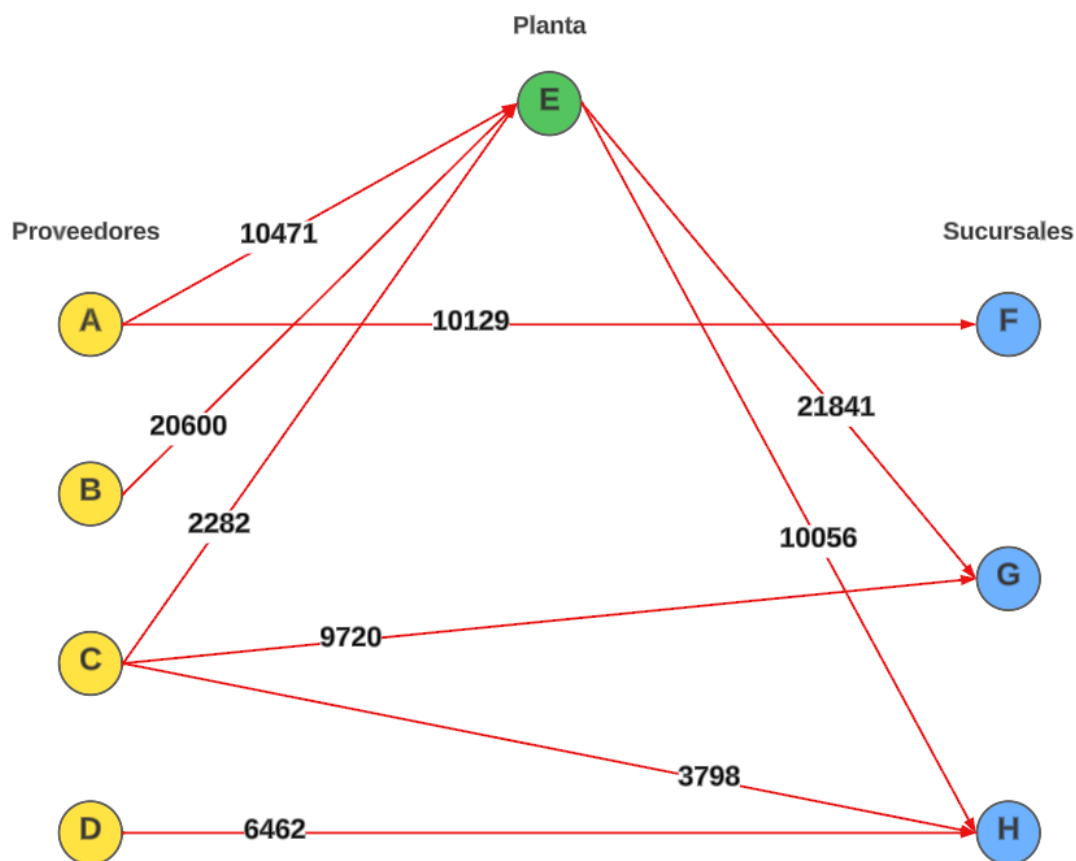
Tabla 20. Cantidades resultantes del modelo de programación lineal con alcance semanal



Asimismo, se presenta el diagrama de los flujos de materiales que se estaría realizando de manera óptima, según las salidas el modelo de programación lineal; en la cual se percibe que:

- El proveedor A atiende a dos sedes, usando toda su capacidad de abastecimiento.
- El proveedor B atiende a una sede, usando toda su capacidad de abastecimiento.
- El proveedor C atiende a tres sedes, usando toda su capacidad de abastecimiento.
- El proveedor D atiende a una sede, usando el 40% de su capacidad de abastecimiento.
- La planta E brinda parte de su producción a las sedes G y H.

Figura 9. Diagrama resultante de transbordo entre proveedores, planta y sucursales (semanal)



Con lo anterior, se obtiene un costo total de operaciones semanal de 230,810 soles, distribuidos de la siguiente manera:

- El costo de compra asciende al 76% del costo de operaciones.
- El costo de producción asciende al 2% del costo de operaciones.
- El costo de transporte de proveedores a sedes asciende al 15% del costo de operaciones.
- El costo de transporte entre sedes asciende al 7% del costo de operaciones.
- El costo de compra asciende al 1% del costo de operaciones.



Tabla 21. Costo resultante del modelo de programación lineal con alcance semanal

3.1.2. Outputs del modelo de programación lineal con alcance mensual

Las salidas del modelo de programación lineal son las siguientes:

- Las cantidades de tablillas que se compran a cada proveedor y luego son transportadas a las sedes, se muestran en las primeras cuatro filas de la tabla.
- Las cantidades de tablillas procesadas enviadas desde la planta hacia las sedes se muestran en la quinta fila de la tabla.
- Los inventarios respetan el stock de seguridad, como se muestra en la última fila de la tabla.

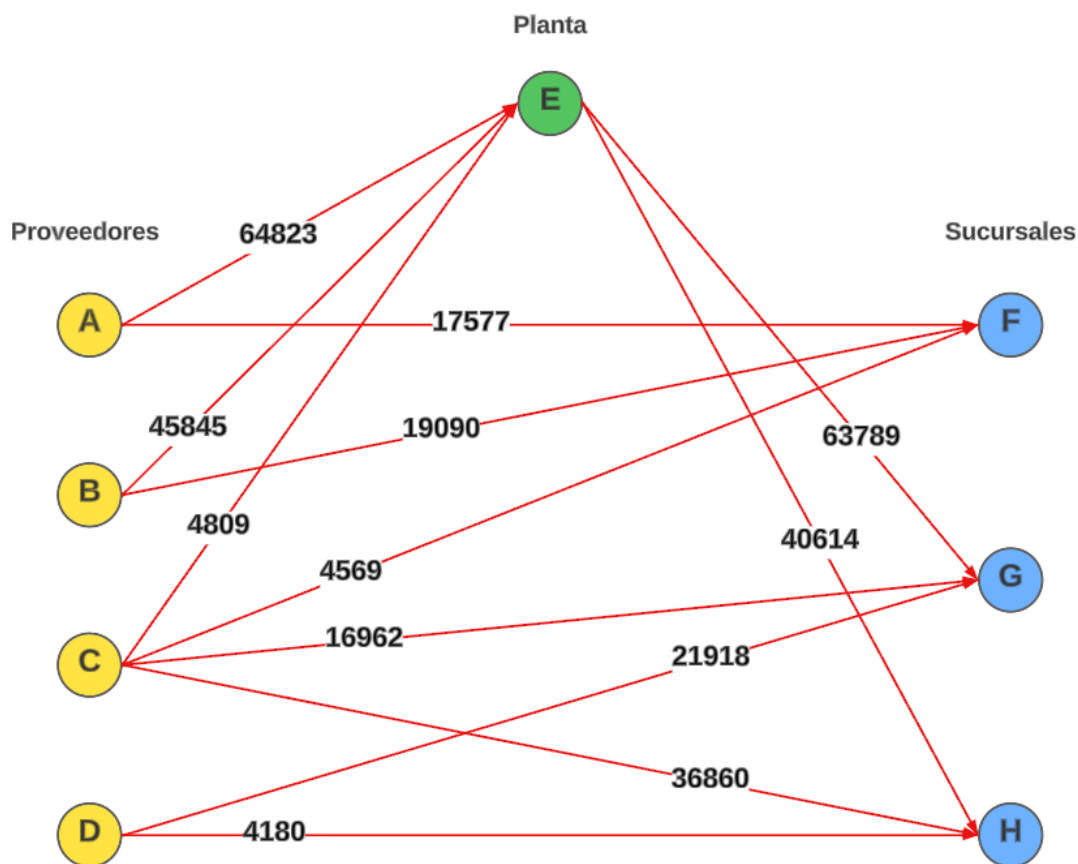


Tabla 22. Cantidades resultantes del modelo de programación lineal con alcance mensual

Asimismo, se presenta el diagrama de los flujos de materiales que se estaría realizando de manera óptima, según las salidas el modelo de programación lineal; en la cual se percibe que:

- El proveedor A atiende a dos sedes, usando toda su capacidad de abastecimiento.
- El proveedor B atiende a dos sedes, usando el 79% de su capacidad de abastecimiento.
- El proveedor C atiende a cuatro sedes, usando toda su capacidad de abastecimiento.
- El proveedor D atiende a dos sedes, usando el 41% de su capacidad de abastecimiento.
- La planta E brinda parte de su producción a las sedes G y H.

Figura 10. Diagrama resultante de transbordo entre proveedores, planta y sucursales (mensual)



Con lo anterior, se obtiene un costo total de operaciones mensual de 857,155 soles, distribuidos de la siguiente manera:

- El costo de compra asciende al 76% del costo de operaciones.
- El costo de producción asciende al 2% del costo de operaciones.
- El costo de transporte de proveedores a sedes asciende al 16% del costo de operaciones.
- El costo de transporte entre sedes asciende al 6% del costo de operaciones.
- El costo de compra asciende al 1% del costo de operaciones.

Tabla 23. Costo resultante del modelo de programación lineal con alcance mensual

3.1.3. Comparación de costos reales y costos óptimos

Como se ha podido observar, el modelo de programación lineal con alcance de un mes brinda un mejor resultado, ya que los costos totales de operaciones son menores. Por ello, se puede concluir que con una visión de más semanas permite tener más amplio el panorama de demanda y planificar mejor las compras y operaciones de la empresa. Asimismo, es preciso mencionar que, el modelo mensual se adecúa a la programación de compras real ya que las variables y restricciones están definidas de manera semanal. En ese sentido, el análisis de ahora en adelante se realizará con los resultados del modelo de programación lineal con alcance de un mes.

Con la información recogida de enero a agosto de los costos totales de operaciones (compras, transporte, producción e inventarios) se ha calculado un ratio de productividad total, en otras palabras, el ratio representa el monto total que cuesta atender una unidad.

Como se ven en la siguiente tabla, los ratios de productividad total van variando durante los meses del año, lo cual se explica por las compras en exceso que se realizan, generando costos de producción, transporte y compras no necesarios para el periodo en ejecución.



Los precios de venta unitarios son mayores a estos montos, siendo aún redituable para la empresa esta forma de trabajar, sin embargo, la aplicación del modelo de programación lineal ha permitido tener una disminución del 17% del ratio de productividad total en setiembre, obteniéndose el ratio más bajo en lo que va del año; lo cual, permitirá un mayor margen para la empresa.

Tabla 24. Comparación de costos reales y óptimos

3.2. Análisis de resultados

Los resultados brindados por la aplicación del modelo de programación lineal han sido redituables para la empresa, generando:

- Menor cantidad de material comprado, y con los proveedores de menor precio.
- Menor cantidad de traslados entre sedes y una mejor programación de pedidos.
- Menor cantidad de inventario, asegurando una cantidad mínima para eventualidades.



Con mayor detalle, las áreas de la empresa que se benefician con la aplicación de la programación lineal son las áreas de producción y almacén, lo cual se evidencia con los siguientes indicadores:

- Utilizar el 90% de la capacidad promedio de producción de las sedes, generando tiempos libres para mantenimiento preventivo de máquinas.
- Utilizar el 45% de la capacidad promedio de almacenamiento de las sedes, entendiendo que los almacenes pueden ser de menor área o se puede buscar opciones de nuevos clientes o desarrollo de nuevos productos.

Finalmente, la viabilidad económica se evidencia en el análisis de ratios que se explicó en la sección anterior, donde se ve una reducción del 17% de la ratio de productividad total con respecto al periodo anterior; y además, el costo total de setiembre representa el 92% del costo total promedio mensual de enero a agosto del presente año.

CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La aplicación de modelos matemáticos, específicamente la programación lineal, ha demostrado ser una herramienta efectiva en diversas organizaciones; lo cual se evidencia, en los beneficios obtenidos de las investigaciones revisadas en el estado del arte de la presente investigación, los cuales no son necesariamente minimización de costos (como la presenta investigación) ni maximización de ingresos o utilidades, sino que puede buscar la eficiencia de los recursos, como es el caso de (Gonzalez, 2023) que busca optimizar la asignación óptima de recursos (aulas) de una entidad educativa a través de la programación lineal.

Es relevante señalar que, en el desarrollo de esta investigación, se empleó el software Lindo para la ejecución del modelo de programación lineal, al igual que se usó en (Garay et al., 2020). No obstante, es notable que muchas de las investigaciones revisadas se limitan al uso del complemento del software Ms. Excel, como se evidencia en trabajos como el de (Muñiz et al., 2022) y (Congo, 2020) entre otros. En contraste, algunas investigaciones, como la de (Azahuanche et al., 2017) han optado por utilizar un software de programación similar al empleado en la presente investigación, como es el caso de Lingo.

Lo mencionado anteriormente está relacionado a la cantidad de variables y restricciones del modelo de programación lineal, ya que a mayor cantidad de variables es mejor realizar la programación en software más eficientes, como Lindo, Lingo o AMPL. La presente investigación presenta dos modelos de programación lineal, y la de mayor alcance cuenta con 92 variables y 80 restricciones, y por su lado, de (Azahuanche et al., 2017) cuenta con 145 variables y 121 restricciones.



Asimismo, la presente investigación se enfoca en una programación lineal que busca la minimización de costos, al igual que (Muñiz et al., 2022) sin embargo, investigaciones como la de (Abril, 2019) y (Garay et al., 2020) se centran en la maximización de los ingresos de la empresa.

Cabe precisar que, (Congo, 2020) y (Flores & Flores K.L., 2021) realizaron un modelo de transporte, considerando plantas y centros de distribución o puntos de venta, sin embargo, el modelo que se ha desarrollado en la presente investigación es un modelo de transbordo, que tiene proveedores, plantas y sucursales (puntos de venta), existiendo formas de transporte entre ellas; siendo este el motivo por el cual, la cantidad de variables mayor a las otras investigaciones mencionadas.

Con respecto a los resultados obtenidos, mayormente las investigaciones se centran en recalcar las utilidades, ingresos o costos óptimos, como en el caso (Azahuanche et al., 2017) ,que indica que alcanzaron S/. 3,209,059.00 (sin considerar sus costos fijos); o en (Muñiz et al., 2022) que muestra los ahorros en costos de S/. 92,648.00. Sin embargo, la presente investigación se centra en el cambio del ratio de productividad total, que abarca los costos totales para atender una unidad demanda, el cual evidencia una reducción del 17% con respecto al periodo anterior; esto con la finalidad de conocer si la programación lineal ha generado un impacto positivo en la empresa.

En resumen, estos casos resaltan la consistencia de los beneficios de la programación lineal, respaldando su relevancia continua para mejorar la eficiencia operativa y la viabilidad económica en diversas organizaciones.

4.2. Conclusiones



De acuerdo con el objetivo general, los resultados de la presente investigación brindan cambios en la forma de programación de las compras y producción de la empresa, lo cual ha conllevado a la reducción de costos y la optimización de los indicadores de productividad. Cabe precisar que el modelo matemático hace uso de los costos de adquisición de materia prima, producción, transporte y almacenamiento; así como las restricciones de capacidad de abastecimiento de los proveedores, demanda de clientes, y las capacidades de producción y almacenamiento de las sedes de la empresa-

Según el objetivo específico 1, el impacto de la programación lineal ha sido positiva ya que se cuenta con una menor cantidad de material comprado; lo cual ha conllevado a un uso del 90% de la capacidad de producción, siendo anteriormente más del 100% (que se cubría con horas extras o personal contratado a destajo). Adicionalmente, la menor cantidad de traslados entre sedes y optar por los costos más reducidos de compra y transporte, han permitido una reducción del 17% del indicador de productividad total, con respecto al mes anterior.

Asimismo, en línea con el objetivo específico 2, las áreas de la empresa que se benefician principalmente con la aplicación de la programación lineal son las áreas de producción y almacén, lo cual se evidencia con los indicadores de capacidad de producción total (90%) y la capacidad de almacenamiento total entre las sedes (45%), para el mes de setiembre. En el caso de la capacidad de producción, brinda información de que puede haber tiempo para usarlo en actividades de mantenimiento de las máquinas, y en el caso de la capacidad de almacenamiento, brinda información de que se puede buscar almacenes con menor área, o se puede buscar opciones de nuevos clientes o desarrollo de nuevos productos, aunque esto implique la adquisición de nuevas maquinarias, ya que la producción actual está cercana a su máxima capacidad.



Finalmente, conforme al objetivo específico 3, la viabilidad económica se evidencia en el análisis de ratios de productividad total que se explicó en la sección anterior, donde se visualiza que el ratio de productividad total para setiembre fue de 3.25 S/. / und; siendo el más bajo de los 9 meses del presente año. y representando el 92% del costo total promedio mensual de enero a agosto del presente año; lo cual generará mayores utilidades para la empresa.

4.3. Limitaciones

La empresa proporcionó información del presente año para realizar el modelo matemático de programación lineal, sin embargo, información de años anteriores no ha podido ser recogida dado que no se contaba con un registro o una base de datos de las ventas y compras realizadas en dichos periodos.

Adicionalmente, debido al tamaño de la empresa, los trabajadores cuentan con mucha actividad durante su jornada, lo cual, complicaba y retrasaba las reuniones y recojo de información, así como los documentos formales de la empresa para garantizar la confiabilidad de la información recogida.

4.4. Implicancias

La programación lineal aplicada en la presente investigación debe ser evaluada cada mes, porque los parámetros (costos, inventarios, capacidades) pueden variar debido a cambios en las políticas de la empresa o relaciones con proveedores y clientes. Es decir, la programación lineal debe ser una herramienta dinámica a través del tiempo.

En base al enfoque metodológico, los resultados indican la necesidad de implementar un modelo matemático que integre costos de compra, producción, transporte y almacenamiento, junto con restricciones de capacidad de abastecimiento de proveedores,



demandá de clientes y capacidades de producción y almacenamiento. Este enfoque ha permitido una reducción en la cantidad de material comprado, utilizando de manera óptima la capacidad de producción y reduciendo costos adicionales. Es por ello que el análisis de ratios operacionales y económicos, evidencian que este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa, sino que la solución también es económicamente viable y sostenible para la organización.

Finalmente, la investigación ha revelado importantes implicancias prácticas, como lo ha sido en la mejora de la eficiencia operativa a través de una programación más precisa de compras y producción, lo que ha llevado a una reducción significativa de costos. La optimización de la capacidad de producción ha eliminado la necesidad de horas extras y personal adicional, reduciendo costos laborales. Además, la disminución en la cantidad de material comprado y los traslados entre sedes, junto con la elección de opciones de compra y transporte más económicas, han permitido una reducción del 17% en el indicador de productividad total. Estas mejoras prácticas no solo incrementan la rentabilidad de la empresa, sino que también permiten tener recursos para actividades de mantenimiento y potencialmente para explorar nuevos mercados o desarrollar nuevos productos, con el objetivo de mejorar la posición competitiva de la empresa en el mercado.

REFERENCIAS

- Abril Torres, K. (2019). Método de programación Lineal para maximizar los ingresos de una empresa del sistema integrado de transporte público en la ciudad de Bogotá.
- ADEX, PromPerú, & WWF. (2021). *Madera peruana, un recurso para construir un país sostenible*.
- Alhuay García, C. W., & Jarata Canazas, R. A. (2020). La Gestión de Inventarios y su impacto financiero en las MYPE del Sector Industrial de fabricación de muebles de Villa el Salvador periodo 2019. *UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS*.
- Azahuanche Velásquez, G., & Pajares Terrones, J. (2017). Modelo de planeamiento y programación del abastecimiento de materia prima para la producción del concreto premezclado a través de la utilidad en la empresa Elmer Oscar Quintana S.R.L.- La Colpa.
- Baena, G. (2014). *Metodología de la Investigación*. México.
- Castillo, J. P., Mancilla Vargas, C., & Navarro, C. (2019). Comparación de modelos de optimización-simulación para la asignación de recursos en un sistema de cosecha forestal. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*.
- Castilo, J. (2016). Propuesta para la asignación de equipos en un sistema de cosecha forestal, incorporando escenarios de variabilidad. *Universidad de Desarrollo*.
- Congo Feijoó, I. (2020). Implementación de una Red de Transporte para la distribución de productos aplicando la Programación Lineal.
- Elwood S., B., & Rakesh K., S. (1987). *Administración de la producción y de las operaciones*. Limusa.
- FAO. (2018). Informe anual 2018.
- FAO. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. *Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura*.
- FAO. (2022). El estado de los bosques del mundo. *Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura*.
- Flores Tapia, C., & Flores Cevallos, K. (2021). Modelo de transporte aplicado a una empresa distribuidora de cemento. *Revista Científica de FAREM- Esteli*.
- Garay Shelyug, V., & Miranda Salazar, Y. (2020). Análisis del modelo de programación lineal para maximizar las ventas en la empresa avícola Granjas Miranda SAC en el periodo Enero - Marzo 2019. Cajamarca.
- Gonzales Valdivia, J. E., & Guerrero Febres, M. R. (2022). Informalidad y evasión tributaria en el sector Maderero en la provincia de Coronel Portillo.



González García, H. (2023). Aplicación de Programación Lineal para la asignación de horarios de una institución educativa Trujillana. Trujillo.

Hamdy A., T. (2004). *Investigación de Operaciones 7ma Edición*. México.

Hernández Sampieri et al. (2010). *Metodología de la Investigación 4ta Edición*. Mexico.

Hillier, F. G. (2002). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México.

Monje Álvarez, C. (2011). *Metodología de la Investigación cuantitativa y cualitativa*.

Ñaupas, H. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de tesis. *Tesis*.

Palma , C., & Vergara , F. (2016). A multiobjective model for the cutting pattern problem with unclear preferences.

SERFOR. (08 de Junio de 2023). *SERFOR promueve oferta de madera sostenible proveniente de bosques certificados*.

Sohngen, B. a. (2003). Optimal Control Model of Forest Carbon Sequestration. . *American Journal of Agricultural Economics*, 85.

Tersine, R. (1985). *Introducción a la organización de la Producción*. New York.

Viar Narro, A., & Muñiz Luna Victoria, M. (2022). Propuesta de mejora en mantenimiento y logística según Programación Lineal, KPI y EOQ para la reducir sobrecostos en transportes Joselito S.A.C., Moche 2021”.

Wayne L., W. (2004). *Investigación de Operaciones*. México.

Weintraub, A. (2007). *Integer Programming in Forestry*. Springer.