

El método simplex como herramienta en la optimización de recursos de una empresa agroindustrial

The simplex method as a tool in the optimization of resources of an agro-industrial enterprise

Verónica Ramírez Cortés; Miguel Ángel Vázquez Alamilla;
Adriana Mercedes Ruiz Reynoso

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es evaluar la asignación óptima de los recursos de una empresa agroindustrial dedicada a producción de nopal en salmuera en tres presentaciones, a través del método simplex de programación lineal usando la metodología de investigación de operaciones. Como herramienta tecnológica se utiliza el complemento *Solver* de la hoja de cálculo de Excel. El tema es relevante ya que, en México, se identifica alta mortalidad de empresas en sus primeros años sobre todo en las micro y pequeñas, mientras que, las que permanecen en un mercado dinámico y competitivo manifiestan problemáticas con relación a la toma de decisiones que garantice una asignación eficiente de recursos. De los principales hallazgos destaca la construcción de un modelo matemático aplicando el método simplex para calcular el nivel de producción óptimo que minimice los costos de producción, resultando útil su aplicación para contribuir en la toma de decisiones de los empresarios.

Palabras clave: Optimización de recursos; Minimización; Costos; Método simplex.

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the optimal allocation of resources of an agroindustrial enterprise dedicated to the production of nopal in brine in three presentations, through the simplex method of linear programming using the operations research methodology. As a technological tool, the Solver complement of the Excel spreadsheet is used. The issue is relevant since, in Mexico, high mortality of companies is identified in their first years, especially in micro and small ones, while those that remain in a dynamic and competitive market manifest problems in relation to decision-making that ensure efficient allocation of resources. The main findings include the construction of a mathematical model applying the simplex method to calculate the optimal production level that minimizes production costs, its application being useful to contribute to the decision-making of entrepreneurs.

Keywords: Resource optimization; Minimization; Costs; Simplex method.



INFORMACIÓN:

<http://doi.org/10.46652/rjn.v7i34.980>
ISSN 2477-9083
Vol. 7 No. 34, 2022. e210980
Quito, Ecuador

Enviado: septiembre 20, 2022
Aceptado: noviembre 13, 2022
Publicado: noviembre 27, 2022
Publicación Continua
Sección General | Peer Reviewed



AUTORES:

Verónica Ramírez Cortés
Universidad Autónoma del Estado de México - México
vramirez@uaemex.mx

Miguel Ángel Vázquez Alamilla
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo - México
vazqueza@uah.edu.mx

Adriana Mercedes Ruiz Reynoso
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo - México
amruizr@uaemex.mx

Conflicto de intereses

Los autores declaramos que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento

N/A

Nota

El trabajo de investigación se deriva de la vinculación de investigadores de la Red Internacional de Estudios en las Organizaciones (RIEEO) con el sector empresarial.

ENTIDAD EDITORA



1. Introducción

En México se ha reconocido la importancia que tienen las Micro, Pequeñas y Medianas empresas (PYMES), no solo bajo un contexto económico sino también como potencializadoras de desarrollo social. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el 99.8 por ciento de las unidades económicas son PYMES, de ellas, el 95 por ciento son microempresas, 4 por ciento pequeñas y el resto medianas, promueven significativamente el empleo al registrar de cada 1000 trabajadores a 684 en este sector y generan el 52.2 por ciento de los ingresos en el país (INEGI, 2020), sin embargo, múltiples estudios refieren las diferentes problemáticas que las aquejan, destacando los financieros, administrativos, laborales, de gestión entre otros.

Palomo (2005), menciona que en los estudios empresariales deben distinguirse dos enfoques, el externo, en el que se abordan temas de índole macroeconómico, no obstante, no pueden intervenir en la solución, mientras que, en el enfoque interno se identifican problemas como la rotación de personal, carencia de organización y administración de los recursos, rezago tecnológico, ausencia de capacitación del personal administrativo y productivo, falta de personal especializado en la toma de decisiones financieras y contables, entre otras.

Al respecto, Ramírez et al. (2018), mencionan que, la situación macroeconómica reflejada con los indicadores agregados tales como inflación, desempleo, tipo de cambio, tasas de interés, así como, los precarios programas gubernamentales de apoyo empresarial, las han convertido en empresas de subsistencia que no generan oportunidades de estabilidad y crecimiento a sus propietarios. Por otro lado, refieren como resultados de su investigación que a los microempresarios no les interesa capacitarse ni a su personal operativo ni al directivo ya que consideran que la responsabilidad y la experiencia son los elementos claves que mantienen con éxito a las empresas.

Six Sigma Implementation (2022), identifica que las PYMES enfrentan problemas similares con relación al control interno, en sus inventarios por la falta de planeación, en compras incurriendo en costos por almacenaje o mermas por caducidad; carencia de una estructura organizacional definida, falta de normatividades, políticas, manuales de procedimientos y de organización reflejando un pobre desempeño. Por otro lado, el desconocimiento de los componentes del mercado sea competencia, clientes, estructura del mercado e inclusive técnicas mercadológicas las posiciona en un ambiente vulnerable. Otro problema identificado es que no planean adecuadamente sus niveles de producción ni administran eficientemente sus recursos provocando un deficiente nivel de productividad y, por consecuencia obtienen altos costos de operación incidiendo en la pérdida de competitividad.

Lo anterior fundamenta la importancia de aplicar el método simplex de programación lineal para obtener resultados que contribuyan en la toma de decisiones a fin de mejorar no solo su posicionamiento en el mercado, también los niveles de producción, minimización de costos y, por consiguiente, los niveles de rentabilidad. El estudio se particulariza en una empresa agroindustrial ubicada en el nororiente del Estado de México, en el municipio de Axapusco que inició sus operaciones de emprendimiento en 2006 como una alternativa de comercialización del nopal, principal producto agrícola que se cultiva en la región. Según Ramírez et al. (2015), la producción de nopal tunero, nopal verdura y xoconostle continúa siendo una alternativa viable de actividad económica en términos de empleo e ingresos para las familias, durante todo el año, e inclusive para migrantes de estados aledaños en temporada de cosecha.

Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017), México se ubica entre los 15 países principales productores de nopal, cultivándolo en 27 estados de la República Mexicana, distinguiéndose el estado de México como uno de los principales productores. Dado de lo anterior, la alta competencia durante la temporada de cosecha que no se corresponde con la demanda y el corto ciclo de vida del producto hacen relevante la operación de dicha empresa como una opción para agricultores de la zona con la finalidad de ampliar su mercado, garantizar fuentes de empleo y como consecuencia propiciar el desarrollo de la localidad.

Con base a la problemática planteada, el objetivo de la investigación es evaluar la asignación óptima de los recursos de una empresa agroindustrial dedicada a producción de nopal en salmuera en tres presentaciones. Se inicia con la revisión de literatura sobre la investigación de operaciones especificando el uso de la programación lineal y el método simplex; posteriormente se describe el proceso productivo semiautomatizado y, finalmente se modela el problema para obtener los resultados.

2. Marco teórico

Hillier & Lieberman (2010), refieren que el estudio de la investigación de operaciones tiene como propósito identificar soluciones óptimas y no parciales o subóptimas, aunque sean lo mejor para uno de los componentes, es decir, los objetivos deben coincidir con los de toda organización. Para Moya (2003); citado en Flores y Flores (2021), es la aplicación de técnicas cuantitativas bajo una metodología científica con la finalidad de obtener una respuesta a los problemas que implican la toma de decisiones que enfrentan los empresarios, considerándola una herramienta clave para las organizaciones en la reducción de costos y maximización de rentabilidad económica.

Al respecto, Taha (2017), menciona que para implementar la investigación de operaciones se deben aplicar las siguientes fases:

- Definición del problema implica el alcance del problema de decisión a estudiar, el propósito es identificar la descripción de las alternativas posibles, determinar el objetivo de estudio y especificar las limitaciones del sistema modelado.
- Construcción del modelo convirtiendo la definición del problema en relaciones matemáticas para valorar si se ajusta al modelo de programación, en caso contrario, se evaluaría alguna otra técnica.
- Solución del modelo considerando el uso de algoritmos de optimización bien definidos, es importante analizar el comportamiento de la solución óptima, cuando no se puede estimar con precisión los parámetros del modelo se suele usar el análisis de sensibilidad.
- Validez del problema consiste en analizar si los resultados tienen sentido con la realidad actual o histórica, en caso contrario, se debe contrastar la realidad con los datos obtenidos.
- Implementación, conlleva a traducir y analizar los resultados para notificar a los tomadores de decisión, las instrucciones para operarlos.

Una de las técnicas más usadas es la programación lineal entendida como el método que permite la solución de problemas en situaciones que involucran la toma de decisiones. Se caracteriza por identificar una función objetivo con una o más variables de decisión que tienden a identificar la maximización o minimización como en la producción, transporte, costos, asignación, entre otros, destacando que toda organización tiene capacidades y recursos limitados (Anderson et al., 2016).

En este sentido, Taha (2017), destaca que la técnica de la investigación más importante es la programación lineal para determinar cantidades óptimas. Se integra, por uno modelo matemático formado por un conjunto de restricciones que se busca satisfagan a las variables de decisión considerando una función objetivo para optimizar el uso de recursos sometidos a evaluación. Autores como Ortiz & Caicedo (2015), agregan que se optimizan las operaciones a través de la programación lineal, la cual, es una herramienta para la toma de decisiones, puesto que se ajustan a la realidad del problema y brindan respuestas óptimas de acuerdo con el objetivo planteado, permitiendo minimizar o maximizar el mismo. Tanto los recursos materiales, técnicos y humanos deben operar con optimización propiciando procesos sostenibles y rentables para la empresa.

Autores como Sydsaeter y Hammond (1996), consideran que se hace uso de la programación lineal en problemas de decisión económica y su importancia en la práctica es alta para comprender problemas complejos de optimización a través de una función lineal sujeta a restricciones en forma de desigualdades de igual forma lineales. Señalan que, desde su origen en los años 40 trajo como resultado desarrollo de teorías; en la actualidad con el uso de las tecnologías tiene alta aplicabilidad y fácil acceso, sin embargo, a pesar de impartirse en diversos programas educativos de nivel superior su aplicabilidad en las pymes mexicanas es aún reducido.

En resumen, un modelo de programación lineal debe considerar tres componentes básicos: las variables de decisión, el objetivo de optimizar y las restricciones que los resultados a obtener deben satisfacer; respecto a la meta de la función objetivo sea a minimizar o maximizar se puede expresar de la siguiente forma con C_1, \dots, C_n constantes:

$$Z = C_1 X_1 + \dots + C_n X_n$$

O utilizando la notación sumatoria:

$$Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

Donde:

Z = Función objetivo lineal.

C_j = Precio o costo, según sea el modelo.

X_j = Actividad o proceso.

Según Alvarado (2009), hay tres tipos básicos de restricciones: de “mayor que” (\geq), “menor que” (\leq) o de igualdad ($=$) y, estas se pueden clasificar según su naturaleza en:

- Restricciones de recursos o entradas: pueden incluirse terreno, capital, mano de obra e instalaciones, materias primas, proveedores.
- Restricciones externas: esta clase puede incluir asignaciones gubernamentales de superficie de terreno, límites de crédito asignado a los productos u obligaciones de tipo legal.
- Restricciones subjetivas: estas restricciones las impone el propio operador. Los límites pueden ser complejos de definir, no obstante, deben ser reales y significativos en el proceso de planificación.

Continuando con el mismo autor, destaca que a menudo las restricciones impuestas provienen de los propios objetivos de la empresa. Entre estas limitaciones pueden citarse, el nivel de crédito que el planeador está dispuesto a utilizar, el principal motivo es el deseo poco explícito de evitar problemáticas en términos de deuda. Restricciones por el riesgo del nivel de las actividades que presentan aspectos ligados al uso de recursos materiales y técnicos, capacidad instalada, así como, volumen de producción que abastezca la demanda. Y restricciones respecto a lo que el operador considere deseable por razones no propiamente de ingresos directos.

Toda función objetivo está sujeta a m restricciones en forma de desigualdad, expresadas de la siguiente forma donde los elementos a_{ij} y b_k son constantes y se supone explícitamente que $x_1 \geq 0, \dots, X_n \geq 0$ denominando a esto como restricción de no negatividad.

$$a_{11}x_{11} + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_{11} + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

.....

$$a_{m1}x_{11} + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

Sydsaeter y Hammond (1996), refieren que no hay disparidad entre los problemas de maximización y minimización porque la solución óptima (x_1^*, \dots, x_n^*) que pretende la minimización en la función objetivo descrita anteriormente y que está sujeta a las restricciones; también máxima a $-z$ y minimiza $z = -\max(-z)$. Un n -vector (x_1, \dots, x_n) que verifica las restricciones es denominado flexible. Coinciden con Munguía y Protti (2005), al considerar tres supuestos básicos de un modelo de programación lineal: 1) la proporcionalidad haciendo referencia a que la contribución a la función objetivo y los recursos empleados en cada restricción son proporcionales al valor de las variables de decisión; 2) la aditividad implica que el valor de la función objetivo y los recursos empleados se calculan al sumar la contribución de dicha función y los recursos empleados para todas las variables de decisión y 3) la divisibilidad de las variables deben ser continuas y de no negatividad, además, los coeficientes tecnológicos deben ser constantes y conocidos.

La solución se puede obtener a través del método gráfico, algebraico o simplex. La restricción respecto a los dos primeros es que se limita a dos variables de decisión, mientras que, en simplex no existen límites. En esta investigación se hace uso del método simplex que consiste en un procedimiento iterativo, es decir, se comprueba si existe un cambio que mejore el resultado de la solución actual, en caso contrario, detiene el proceso ya que se ha llegado al óptimo. En 1947 se reconoció a George D. Dantzig por el desarrolló del procedimiento de solución conocido como algoritmo simplex, matemático de la fuerza aérea, asignado a trabajar en problemas de logística de naturaleza militar identificando muchos problemas relacionados con los recursos limitados, sus conocimientos se extendieron rápidamente al sector industrial (Render et al., 2012).

3. Metodología

La presente investigación se realizó bajo un enfoque mixto la cual según Hernández, Fernández y Baptista (2014), logra una perspectiva más amplia y profunda del fenómeno estudiado con la profundización y el incremento de evidencias se obtiene mayor seguridad a las conclusiones. Según Anderson, Sweeney & Williams (2016), los enfoques cuantitativos para la toma de decisiones pueden reconocerse indistintamente como investigación de operaciones, ciencias de la decisión, o ciencias de la administración, considerándose una disciplina que consiste en aplicar métodos analíticos que apoyen el proceso de la toma de decisiones mejorando los cursos de acción. Se combina el método cualitativo ya que se estudió el proceso de producción, se observaron conductas laborales del personal operativo y se conocieron las condiciones de demanda del producto, por la parte cuantitativa, se utilizó la disciplina matemática, la metodología de investigación de operaciones y se hizo uso del complemento Solver de la hoja de cálculo de Excel Microsoft.

3.1 Proceso productivo

La empresa de giro agroindustrial inició sus operaciones de nopal procesado para el mercado nacional, el objetivo básico fue añadir valor agregado al nopal cosechado en el municipio de Axapusco garantizando una opción de venta a los agricultores de la región. Para realizar esta etapa del estudio, la empresa permitió el acceso al área de productiva en horario laboral en diferentes días de la semana durante un mes, proporcionó cédulas de registros de tiempo promedio por trabajador en cada etapa del proceso, previo a la visita de instalaciones se tuvo una reunión con el total de trabajadores operativos para notificarles sobre la visita. En la Figura 1 se muestra que el proceso productivo implica diferentes etapas en las que debe cumplir con los estándares de calidad y sanidad solicitados a la empresa.

Figura 1. Proceso productivo del nopal en salmuera.



Fuente: Elaboración propia con base a datos proporcionados por la empresa.

La adquisición de nopal, principal materia prima es variable durante el año, esto depende de tres principales factores, el periodo de producción agrícola, el número de pedidos que tenga la empresa y al averiarse la maquinaria impactando significativamente en la producción. El proceso productivo se resume a continuación:

Etapa 1. Recepción. El proveedor lleva el nopal a las instalaciones de la empresa para hacer la inspección con base a las características solicitadas en cuanto a limpieza, frescura y cantidad de kilos requeridos, bajo la supervisión del departamento de calidad.

Etapa 2. Lavado. Se analiza el nopal separando el oxidado para ser desechado. Una vez seleccionado se revisa y limpia para pasarlo a contenedores de forma manual.

Etapa 3. Desinfección. Se traslada el nopal lavado a una tina con agua e hipoclorito de sodio, dejando reposar por un par de minutos, posteriormente, se coloca en cajas de plástico para la siguiente etapa.

Etapa 4. Picado. Se coloca el nopal en la mesa de trabajo y se hacen cortes con cuchillo manual y con parrilla cortadora, cuidando que los cortes sean uniformes.

Etapa 5. Escalde. El nopal picado se coloca en las marmitas de vapor con agua caliente y la cantidad de vapor necesaria para cocerlo, controlando los tiempos de inicio y término, al igual que la temperatura; una vez cocido se enjuaga con agua fría, posteriormente, se coloca en cajas de plástico para su traslado.

Etapa 6. Embolsado. Se deben solicitar las bolsas dependiendo la presentación, se coloca sobre el disco de embolsado esperando unos minutos a que filtre el líquido producido por el nopal, una vez terminado el filtrado, se comienzan a llenar las bolsas manualmente con ayuda de un cucharón, esto para facilitar una mayor precisión en el peso, posteriormente se colocan en cajas de plástico.

Etapa 7. Pesado. Se pesan las bolsas de forma individual por una persona con el objetivo de verificar el peso, considerando un margen de error de entre 5 y 10 gramos.

Etapa 8. Preparación de salmuera. Se colocan las cantidades necesarias de cada ingrediente para que se mezclen en un recipiente. En una marmita se agrega agua caliente y la solución preparada para hervirla.

Etapa 9. Adición de líquido. Una vez pasado el tiempo de reposo de la salmuera se debe agregar a cada bolsa, para que sea agitada y se disperse de manera uniforme.

Etapa 10. Sellado. El encargado en turno deberá alinear las bolsas en la plataforma de la banda transportadora asegurando que la mayor parte del aire y espuma no interfiera con el sellado; deberá colocar la bolsa en la banda de teflón y guiarla para asegurar que el sellado se realice correctamente, resaltando que debe tener precaución para evitar accidentes. Verifica la calidad del sellado a la salida de la maquina selladora y antes de entrar a la etapa de pasteurización. Un ayudante supervisa la calidad del sello y, en caso de no cumplir con los criterios, las bolsas se segregan en una caja de plástico para recuperar el producto y realizar nuevamente el sellado.

Etapa 11. Pasteurización. El operador activa el cronómetro controlando tiempos de la hora de entrada y de salida de cada rack y temperaturas de pasteurización, posteriormente, se colocan en cajas de plástico cuidadosamente.

Etapa 12. Secado. El operario seca las bolsas y revisa nuevamente el producto que no tengan burbujas, sello frágil, nopal atorado, fuga, mal sellado, bajo peso o sello quemado, de lo contrario, se separan las bolsas en las cajas y se registra en un formato.

Etapa 13. Codificado. Se coloca la bolsa con el sello interno en dirección contraria al codificador con la parte frontal hacia arriba para colocarla en la banda transportadora, el propósito es que el sensor del codificador pueda censarlas. Se revisa que el código impreso corresponda con la fecha y lote indicado en la papeleta de identificación de tarimas de lo contrario corregirlo.

Etapa 14 Empacado. Se toma el corrugado para armar la caja, las bolsas que van saliendo del codificador se colocan para la presentación. El encargado realiza la última verificación, antes de entregarlo a la transportista que distribuye a los clientes. Se pega la etiqueta con código y lote en la esquina superior derecha.

Realizada la observación de campo del proceso productivo se apreciaron factores que es relevante destacar:

- En algunas etapas de producción se identifican altos niveles de merma comenzando por el traslado del nopal, es decir, tiran el producto por falta de equipo pertinente y el trabajador no tiene suficiente cuidado. Se desperdicia aproximadamente el 50 por ciento del líquido producido por no tener las condiciones para el llenado de bolsas.
- El representante de la empresa señala que un problema es el alto nivel de rotación de personal operativo debido a la carga de trabajo, no les gusta adquirir responsabilidad o se molestan por señalarles áreas de oportunidad, se sienten incómodos al estar vigilados, entre otros.
- El producto con mayor comercialización es la presentación de 500 gramos en cubo, seguido de la presentación de 5000 gramos y, el nopal cambrey es una presentación que tiene poco posicionamiento en el mercado, sin embargo, con fines de diversificar su presentación, han asumido este reto.
- Se identifican tiempos muertos en algunas etapas dentro del proceso productivo.

3.2 Uso de la metodología de investigación de operaciones

Definición del Problema. La empresa objeto de estudio se ubica en la región nororiente del estado de México, municipio de Axapusco, región agrícola que cosecha principalmente, nopal verde, nopal tunero y xoconostle. La agroindustria opera un proceso productivo semi artesanal, con maquinaria antigua limitando un proceso eficiente e incrementando sus costos operativos y le impide incrementar su producción. Actualmente, oferta tres presentaciones: nopal en cubo con presentación de 500 gramos y 5000 gramos, así como, la presentación de nopal cambrey, éste último es entero y pequeño. El objetivo es identificar el óptimo nivel de producción evaluando la productividad por cada etapa del proceso con la finalidad de minimizar sus costos.

Con relación al proceso de producción se identificó lo siguiente:

- Operan dos turnos, el matutino de 9.5 horas y el segundo con siete horas.
- En el proceso de selección del nopal en promedio se reduce el 10 por ciento por mal estado del producto, para el caso de nopal cambray por el corte requerido se llega a perder en promedio el 15 por ciento.
- El nopal como masa drenada llega a perder en promedio el 45 por ciento de su peso respecto al peso de nopal crudo.
- Se considera un aprovechamiento del 80 por ciento de la capacidad instalada con relación a la obtención del producto drenado.
- Debe producir por lo menos 2 714 bolsas de 500 gramos de nopal en cubo al día, siendo este su principal producto de comercialización, sin embargo, el directivo manifiesta que en muchas ocasiones no satisface a todos sus clientes y en otras debe almacenar su producto, el nopal cambray hasta el momento representa poca demanda y requiere mayor tiempo durante de su preparación, el cliente realiza pedidos especiales para la presentación de 5 000 gramos.

Los coeficientes de productividad se muestran en la siguiente tabla basados en el tiempo representado en minutos que invierte cada trabajador según el tipo de producto elaborado.

Tabla 1. Coeficientes productivos por etapa de producción.

Etapa de producción	X_1	X_2	X_3	Disponibilidad semanal (min)
	Tiempo en minutos			
Recepción y selección	0.0048	0.0484	0.0051	300
Lavado	0.1364	1.3636	0.1364	2,400
Desinfección	0.1364	1.3636	0.1364	1,200
Picado	0.2045	2.0455	0.1705	4,800
Escalde	0.1461	1.4610	0.1461	3,000
Embolsado	0.1000	0.6666	0.1000	3,000
Pesado	0.0667	0.2000	0.0500	3,000
Adición de líquido	0.1500	0.9999	0.1500	3,000
Sellado	0.0500	0.1000	0.0500	3,000
Pasteurización	0.0528	0.3333	0.0333	3,000
Secado y limpieza	0.1000	0.1666	0.1000	3,000
Codificado	0.1000	0.1000	0.1000	3,000
Empacado	0.0667	0.1333	0.0667	3,000
Demanda	1.0000			21,714

Fuente: Elaboración propia con base a datos reportados por la empresa.

La construcción del modelo matemático implica el uso de las siguientes variables de decisión:

X1 = presentación de nopal en cubo 500 gramos

X2 = presentación de nopal en cubo 5 000 gramos

X3 = presentación de nopal cambray 500 gramos

Dado que el propósito es minimizar los costos a través de la combinación óptima de producción, se plantea la siguiente función objetivo:

$$\text{F.O. (Minimizar): } \$ 15.59X_1 + \$ 143.23X_2 + \$ 17.82X_3 = Z^*$$

La siguiente etapa es identificar las restricciones de decisión ya que nos permiten identificar las capacidades de la empresa sean técnicas, de operación, mano de obra y en este caso, atender una producción de por lo menos 21 714 unidades de la presentación de 500 gramos de nopal en cubo. Por lo tanto, la F.O está sujeta a las siguientes restricciones:

$$\begin{array}{rccccccc} 0.0048 & X_1 & + & 0.0484 & X_2 & + & 0.0051 & X_3 & \geq & 300 \\ 0.1364 & X_1 & + & 1.3636 & X_2 & + & 0.1364 & X_3 & \geq & 2,400 \\ 0.1364 & X_1 & + & 1.3636 & X_2 & + & 0.1364 & X_3 & \geq & 1,200 \\ 0.2045 & X_1 & + & 2.0455 & X_2 & + & 0.1705 & X_3 & \geq & 4,800 \\ 0.1461 & X_1 & + & 1.4610 & X_2 & + & 0.1461 & X_3 & \geq & 3,000 \\ 0.1000 & X_1 & + & 0.6666 & X_2 & + & 0.1000 & X_3 & \geq & 3,000 \\ 0.0667 & X_1 & + & 0.2000 & X_2 & + & 0.0500 & X_3 & \geq & 3,000 \\ 0.1500 & X_1 & + & 0.9999 & X_2 & + & 0.1500 & X_3 & \geq & 3,000 \\ 0.0500 & X_1 & + & 0.1000 & X_2 & + & 0.0500 & X_3 & \geq & 3,000 \\ 0.0528 & X_1 & + & 0.3333 & X_2 & + & 0.0333 & X_3 & \geq & 3,000 \\ 0.1000 & X_1 & + & 0.1666 & X_2 & + & 0.1000 & X_3 & \geq & 3,000 \\ 0.1000 & X_1 & + & 0.1000 & X_2 & + & 0.1000 & X_3 & \geq & 3,000 \\ 0.0667 & X_1 & + & 0.1333 & X_2 & + & 0.0667 & X_3 & \geq & 3,000 \\ 1 & X_1 & & & & & & & \geq & 21,714 \end{array}$$

Donde $X_1, X_2, X_3 \geq 0$

4. Resultados

Para obtener la solución al modelo matemático planteado se hizo uso del recurso informático de la hoja de cálculo de Microsoft Excel a través de su complemento Solver. Es un complemento permite encontrar un valor óptimo para una fórmula en una celda, denominada objetivo, la cual está sujeta a restricciones o limitaciones en los valores de otras celdas de variables de decisión, Solver ajusta los valores de las celdas para que cumplan con los límites de las celdas de restricción para obtener el resultado deseado en la celda objetivo sea para minimización o maximización (Microsoft, 2022).

La solución óptima del modelo se ha obtenido al someter la función objetivo y restricciones planteadas con base a los datos proporcionados por la empresa obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2. Solución de modelo matemático de minimización de la función objetivo.

Etapas	Productividad (Producto/minutos)			Óptimo		Disponibilidad semanal
	x_1	x_2	x_3			
Recepción y selección	0.0048	0.0484	0.0051	300	≥	300
Lavado	0.1364	1.3636	0.1364	8,460	≥	2,400
Desinfección	0.1364	1.3636	0.1364	8,460	≥	1,200
Picado	0.2045	2.0455	0.1705	12,690	≥	4,800
Escalde	0.1461	1.4610	0.1461	9,064	≥	3,000
Embolsado	0.1000	0.6666	0.1000	6,119	≥	3,000
Pesado	0.0667	0.2000	0.0500	4,017	≥	3,000
Adición de líquido	0.1500	0.9999	0.1500	9,178	≥	3,000
Sellado	0.0500	0.1000	0.0500	3,000	≥	3,000
Pasteurización	0.0528	0.3333	0.0333	3,225	≥	3,000
Secado y limpieza	0.1000	0.1666	0.1000	5,992	≥	3,000
Codificado	0.1000	0.1000	0.1000	5,975	≥	3,000
Empacado	0.0667	0.1333	0.0667	4,000	≥	3,000
Demanda	1.0000			59,498	≥	21,714
Función objetivo	x_1	x_2	x_3	Z^*		
	.5 kg en cubo	5 kg en cubo	.5 kg cambray	Costo mínimo		
	\$ 15.59	\$ 143.23	\$ 17.82	\$ 963,983		
Variables de decisión	.5 kg cubos	5 kg en cubos	.5 kg cambray			
	59,498.1	254.2	-			

Fuente. Elaboración propia con base a datos proporcionados por la empresa.

5. Discusión

Derivado de los cálculos obtenidos se puede deducir que, para minimizar el costo de producción es pertinente dejar de producir la presentación de nopal cambray en 500 gramos, únicamente producir 254 unidades a la semana de la presentación de 5 000 gramos de nopal en cubo e impulsar a 59 498 unidades de la presentación de 500 gramos en cubo, es decir, se debe reorientar la producción para optimizar los recursos y minimizar los costos. Los resultados coinciden con las mermas que se identifican durante el proceso productivo, para el embolsado de la presentación de 5000 gramos, se visualizó mayor desperdicio al tirar tanto el nopal como el líquido complementario durante su adición a la bolsa, se infiere que, por su tamaño, es más difícil para los trabajadores sellar, codificar, revisar y secar, por lo tanto, los márgenes de error son más altos.

Respecto al nopal cambray apenas incursiona al mercado, no tiene clientes definidos y durante el proceso de producción se pierde más nopal durante la selección y cortado por la presentación que requiere, esto eleva el costo de producción y, por ende, afecta en el margen de ganancia. Para lograr el nivel de producción obtenido en la función objetivo, la empresa debe revalorar el número de personas asignadas en cada etapa del proceso, según los resultados obtenidos como se muestran en la tabla.

Tabla 3. Mano de obra actual y requerida según los resultados del modelo para minimizar costos.

Etapas	Óptimo	Disponibilidad semanal (min)	Óptimo semanal (horas)	Óptimo diario (horas)	Mano de obra actual por turno	Mano de obra requerida por turno
Recepción y selección	300	≥ 300	5	1	1	1
Lavado	8,460	≥ 2,400	141	28	2	1.7
Desinfección	8,460	≥ 1,200	141	28	1	1.7
Picado	12,690	≥ 4,800	212	42	4	2.6
Escalde	9,064	≥ 3,000	151	30	1	1.8
Embolsado	6,119	≥ 3,000	102	20	2	1.2
Pesado	4,017	≥ 3,000	67	13	2	0.8
Adición de líquido	9,178	≥ 3,000	153	31	1	1.9
Sellado	3,000	≥ 3,000	50	10	2	0.6
Pasteurización	3,225	≥ 3,000	54	11	1	0.7
Secado y limpieza	5,992	≥ 3,000	100	20	1	1.2
Codificado	5,975	≥ 3,000	100	20	4	1.2
Empacado	4,000	≥ 3,000	67	13	2	0.8

Fuente: Elaboración propia con base a datos otorgados por la empresa.

Se visualiza en la tabla anterior que la empresa debe valorar el tiempo asignado de su personal en cada etapa de producción para hacer eficiente su proceso productivo; coincide con lo observado durante la visita de campo al identificarse tiempos muertos entre cada etapa de producción, así como, poco interés en realizar las actividades evitando el desperdicio de la materia prima. Las

Para fortalecer la investigación y la consecuente toma de decisiones es necesario complementar los resultados obtenidos con información financiera de la empresa y profundizar sobre las causas o factores que provocan las mermas reflejadas en los niveles de productividad. Aunque son pocas las investigaciones en las que se visualiza la aplicación de la programación lineal en los problemas de la empresa, destaca el trabajo de Aldás Salazar et al. (2018), en el que se plantea el uso de PL a través de un modelo de minimización de costos en los inventarios concluyen que, las cantidades específicas de cada materia prima permite reducir sus costos por el manejo de inventario, este estudio contribuyó a la empresa para tener un mejor control de inventario, además, le permitió reconsiderar sus políticas y toma de decisiones para mejorar su productividad, el flujo de sus materiales y productos terminados.

6. Conclusión

La construcción del modelo matemático configurado con las variables de decisión, función objetivo, restricciones y cumpliendo con los supuestos básicos permitieron obtener una solución viable para la empresa utilizando el método simplex de programación lineal. Comprobando su fácil aplicación para el sector empresarial y la importancia que tiene para la solución de problemas complejos para la toma de decisiones.

Como bien se mencionó, se hizo uso de la hoja de cálculo de Excel Microsoft, este recurso es de fácil accesibilidad y su aplicabilidad es sencilla. Se verificó con base a las condiciones reportadas por la empresa que puede optimizar sus recursos reorientado su área de producción cumpliendo con el objetivo de la presente investigación, identificar un nivel óptimo de producción que permita minimizar los costos de producción. Con los resultados obtenidos se corrobora la fundamentación teórica que ha dado sustento a la presente investigación.

Es relevante reconocer que los modelos matemáticos tienen limitaciones ya que no se incluyen todas las variables dada la situación real de la empresa, por otra parte, el tiempo de visitas técnicas era limitado, así como la información que proporcionó el área de producción y administración para la determinación de los coeficientes matemáticos. La implementación de resultados debe efectuarse con un adecuado seguimiento y monitoreo permanente e inclusive complementar el estudio con otras técnicas, no solo en el área productiva, por el contrario, es conveniente involucrar al área de administración financiera para robustecer la información de la toma de decisión.

Referencias

- Aldás, D. S., Reyes Vásquez, J., Morales Perrazo, L., & Sánchez Sánchez, S. (2018). Optimización de costos de inventarios con algoritmo de programación lineal. Caso aplicado industria de producción de suelas. *INNOVA Research Journal*, 3(2.1), 77–83. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n2.1.2018.670>
- Alvarado Boirivant, J. (2009). La programación lineal aplicación de las pequeñas y medianas empresas. *Revista Reflexiones*, 88(1), 89-105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72912559007>
- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2016). *Métodos cuantitativos para los negocios*. Cengage Learning.
- Flores Tapia, C. E., y Flores Cevallos, K. L. (2021). Método simplex de programación lineal aplicado a una empresa distribuidora de mobiliario. *Revista entorno*, 71, 22-33. <https://doi.org/10.5377/entorno.v0i71.11509>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª edición). Mc Graw Hill.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Investigación de operaciones* (5ª edición). McGraw Hill.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2020, Información para la actualización e incorporación de unidades económicas al DENU; datos a noviembre de 2020*. <https://cutt.ly/01rIiE1>
- Munguía Ulloa, L., y Protti Quesada, M. A. (2005). *Investigación de Operaciones*. Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Ortiz Triana, V., & Caicedo Rolón, A. (2015). Procedimiento para la programación y control de la producción de una pequeña empresa. *Revista Ingeniería Industrial*, 14(1), 89-104. En Procedimiento para la programación y control de la producción de una pequeña empresa. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/1917>
- Palomo González, M. A. (2005). Los procesos de gestión y la problemática de las PYMES. *Revista Ingenierías*, VIII(28), 25-31. <https://cutt.ly/x1rTTtu>

- Ramírez Abarca, O., Figueroa Hernández, E., y Espinosa Torres, L. E. (2015). Análisis de rentabilidad de la tuna en los municipios de Nopaltepec y Axapusco, Estado de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 36, 1199-1210. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14132408006>
- Ramírez Cortés, V., Méndez Guevara, L.C., Hernández Bonilla B. E., y Sandoval Trujillo, S. J. (2018). El desempeño empresarial factor clave en la competitividad de las microempresas. *Revista VinculaTégica*, 2, 14-21. <https://cutt.ly/p1rYnQo>
- Render, B., Stair R. M., & Hanna, M. E. (2012). *Métodos cuantitativos para los negocios*. Pearson Educación.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2017). *Medidas para garantizar la producción y abasto de alimentos en México*. <https://www.gob.mx/siap>
- SIX SIGMA IMPLEMENTATION. (2022). *Problemas comunes en las Pymes*. <https://cutt.ly/m1rOu-Cq>
- Sydsaeter, K., y Hammond, P. J. (1996). *Matemáticas para el análisis económico*. Prentice Hall.
- Taha, H. (2017). *Investigación de operaciones*. Pearson Educación.

AUTORES

Verónica Ramírez Cortés. Doctora en Investigación Educativa, maestra en Economía Regional y licenciada en Economía. Profesora de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma del Estado de México, adscrita al Centro Universitario UAEM Valle de Teotihuacán, miembro de la Red Internacional de Estudios en las Organizaciones y del Cuerpo Académico Administración contable-financiera.

Miguel Ángel Vázquez Alamilla. Maestro en ciencias en Ingeniería Administrativa, maestro en Comunicación Académica y licenciado en Ingeniería Industrial Mecánica. Profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, adscrito a la Escuela Superior de Tlahuelilpan miembro de la Red Internacional de Estudios en las Organizaciones y del grupo de investigación Competitividad responsable de las organizaciones.

Adriana Mercedes Ruiz Reynoso. Doctora en alta dirección, adscrita como Profesor de Tiempo Completo a la Universidad autónoma del Estado de México, en el Centro Universitario UAEM Valle de México, una de las actividades es el área de investigación en el uso de las TIC en la educación y actualmente coordinadora de la Licenciatura en Administración. Líder del cuerpo académico de Informática y tecnología en las organizaciones y miembro de la Red Internacional de Estudios en las Organizaciones.