

Modelo de optimización de procesos productivos para microempresas del departamento del Chocó, Colombia¹

Optimization Model in Production Processes, Based on the Available Industrial Supply of the Chocó Department

Modelo de otimização nos processos de produção, baseado no fornecimento industrial disponível do departamento de Chocó

<https://doi.org/10.15332/24631140.7802>

Artículos de investigación

Jhon Neifer Hurtado Cuesta²

Julia Marisol Chaverra Molina³

Herman Jair Mosquera Chaverra⁴

Lubin Delgado Arroyo⁵

Recibido: 12 de noviembre del 2021

Revisado: 13 de abril del 2022

Aceptado: 02 de mayo del 2022

Citar como:

Hurtado Cuesta, J. N., Chaverra Molina, J. M., Mosquera Chaverra, H. J. y Delgado Arroyo, L. (2022). Modelo de optimización de procesos productivos para microempresas del departamento del Chocó, Colombia. *SIGNOS, Investigación en Sistemas de Gestión*, 14(2). <https://doi.org/10.15332/24631140.7802>



¹ Artículo resultado de investigación.

² Fundación Universitaria Claretiana. Correo electrónico: herman.mosquera@uniclaretiana.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1881-8604>

³ Fundación Universitaria Claretiana. Correo electrónico: julia.chaverra@uniclaretiana.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9733-0676>

⁴ Fundación Universitaria Claretiana. Correo electrónico: jhurtado@miuniclaretiana.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6512-8836>

⁵ Fundación Universitaria. Correo electrónico: ubin.delgadoa@utch.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6361-0111>

Resumen

El objetivo de la investigación de la que se deriva este artículo se orientó a diseñar un modelo matemático que pudiera ser aplicado en pequeñas empresas productoras del Chocó. Este modelo se basó en la observación del funcionamiento real de los procesos de producción, lo que permitió recolectar información relevante. Posteriormente, los datos se procesaron y analizaron mediante diferentes programas computacionales. Se diseñó y ejecutó una macros automatizada desde Excel para determinar el modelo apropiado y, finalmente, se determinaron los cambios para la mejora del proceso de producción que contribuya a maximizar los beneficios económicos de la actividad productiva de las microempresas de la región.

Palabras clave: programación lineal, modelo de optimización, procesos, industria, producción.

Abstract

The project was carried out with the purpose of designing a mathematical model that can be applied to the production system of the region, which estimated the optimal best production scenario for small production companies in Chocó and was based on observing the actual functioning of the production process of the different products in order to collect relevant information; Afterwards, it was processed and analyzed with the different existing computer programs, where automated macros were designed and executed in Excel to determine the appropriate model and finally, to determine the changes for the improvement in the production process that will contribute to maximize the economic benefits obtained from its productive activity.

Keywords: linear programming, optimization model, processes, industry, production.

Resumo

O projeto foi realizado visando projetar um modelo matemático que possa ser aplicado ao sistema de produção da região; o projeto estimou o melhor cenário de produção para pequenas empresas de produção em Chocó baseado na observação do funcionamento real do processo de produção dos diferentes produtos, a fim de coletar informações relevantes; Posteriormente, foi processado e analisado com os diferentes programas de computador existentes, onde macros automatizadas foram projetadas e executadas em Excel para determinar o modelo apropriado e, finalmente, determinar as mudanças para a

melhoria do processo de produção que contribuirão para maximizar os benefícios econômicos obtidos da atividade produtiva.

Palavras-chave: programação linear, modelo de otimização, processos, indústria, produção.

Introducción

El proyecto del que se deriva este artículo se orientó al diseño de un modelo de programación lineal para la optimización de procesos productivos para pequeñas empresas, basado en la oferta industrial disponible del departamento del Chocó. El modelo se desarrolló en el programa Solver, un paquete agregado de Microsoft Excel que sirve para optimizar modelos matemáticos; resuelve problemas lineales, no lineales y enteros, y determina la manera óptima para lograr el objetivo deseado (Sproles, 2018).

La herramienta de análisis Solver utiliza el método simplex, que permite maximizar utilidades, facilita la toma de decisiones y genera el mayor beneficio en la empresa productora chocoana. Como medida adicional, se puede automatizar y grabar un conjunto de acciones para ejecutarlas todas las veces que el usuario lo necesite, con el fin de obtener los datos necesarios: inversión total, cantidad óptima de cada producto, costos de producción, variables de costos, productos fabricados, utilidades, márgenes de ganancia y utilidad máxima, presupuestos, etc. Para el buen funcionamiento de Solver, se deben definir y registrar adecuadamente la información: nombre del producto, margen de utilidad, valor o componente de los costos, valor monetario por unidad del producto y valor presupuestado.

El sector industrial del departamento del Chocó presenta un panorama desalentador, debido al alto número de empleos informales reportados cada año en los estudios de organismos estatales como el Dane. La informalidad se concentra en los sectores de comercio y reparación de vehículos, administración pública y defensa.

En la Cámara de Comercio departamental existen aproximadamente 317 empresas inscritas. De estas, el 44 % son de comercio, es decir, 139 empresas; el 37 % son de transformación, 118 empresas de elaboración o fabricación de un producto), y el 19 %, 60 empresas prestan algún servicio.

Este proyecto ejecutó el modelo de programación lineal a microempresas transformadoras del Chocó, para demostrar la eficacia del sistema de evaluación de costos de producción. Se trata de un sistema planificado que refleja el mayor

beneficio posible. Para el desarrollo del proyecto, se aplicaron encuestas en dos empresas en el marco de la fase de recolección de información sobre costos y procesos de producción, costos fijos, variables externas e internas

El modelo matemático propuesto se enfocó en la maximización de utilidades, teniendo incidencia directa sobre el sistema financiero y económico de la empresa, específicamente en la disponibilidad económica, desempeño operacional, optimización de recursos y aumento de la productividad. Se obtuvieron buenos resultados e incremento de ingresos para microempresas, gracias a la programación lineal (Confederación Colombiana de Cámaras de Comercio, 2019).

Metodología

Para la implementación del proyecto, se plantearon cuatro fases.

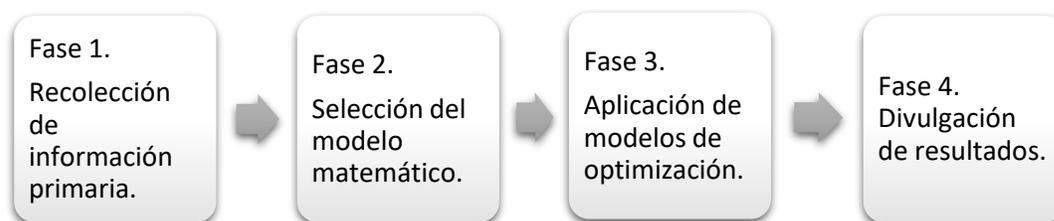


Figura 1. Fases del proyecto

Fuente: elaboración propia.

Situación empresarial local: el departamento del Chocó presenta un panorama desolador, en materia empresarial e industrial, debido al alto número de empleos informales que se evidencia en estudios presentados por organismos estatales como el Dane. Esas investigaciones ratifican la hipótesis acerca de la concentración de actividades en el sector terciario de la economía, con lo cual se identifica que sus habitantes son, en su mayoría, consumidores y poco productores. Esto a pesar de poseer una gran biodiversidad que no ha sido suficientemente estudiada y contar con diversos recursos para generar el valor y abrir nuevos mercados con productos de la región.

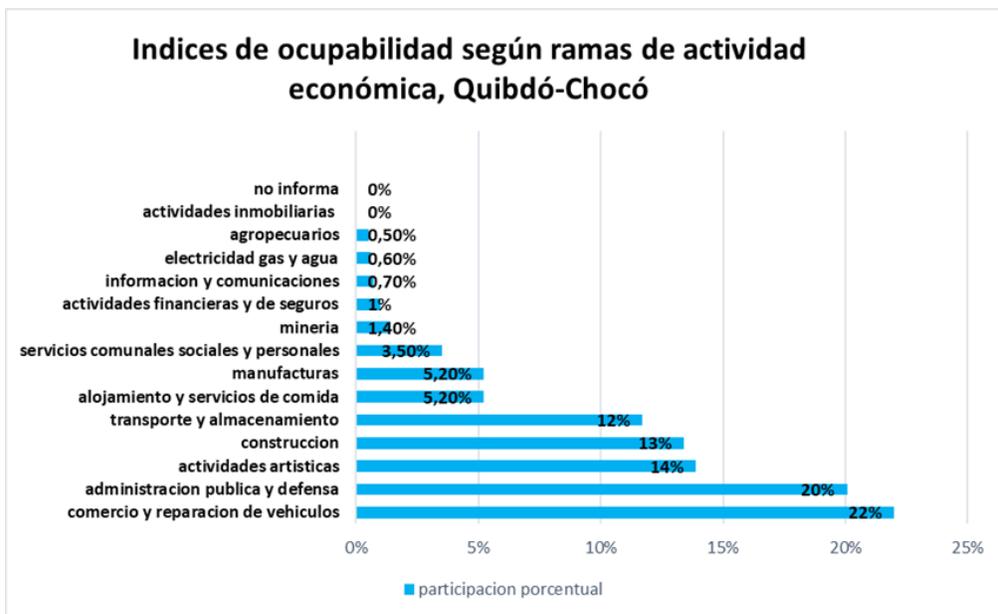


Figura 2. Índices de ocupación laboral según actividades económicas en Quibdó

Fuente: Gran Encuesta Integrada de Hogares Dane (2019-2021) (Dane, 2021).

Actividades empresariales desempeñadas en el departamento del Chocó

Para la recolección de información base, se acudió a la Cámara de Comercio, entidad que brinda la información primaria verídica que relaciona sobre las empresas del departamento. La base de datos de esa entidad permitió identificar cuáles y cuántas están constituidas, de acuerdo con su actividad económica. Se reportó un total de 317, registradas según los criterios representados en las tablas 2 y 3:

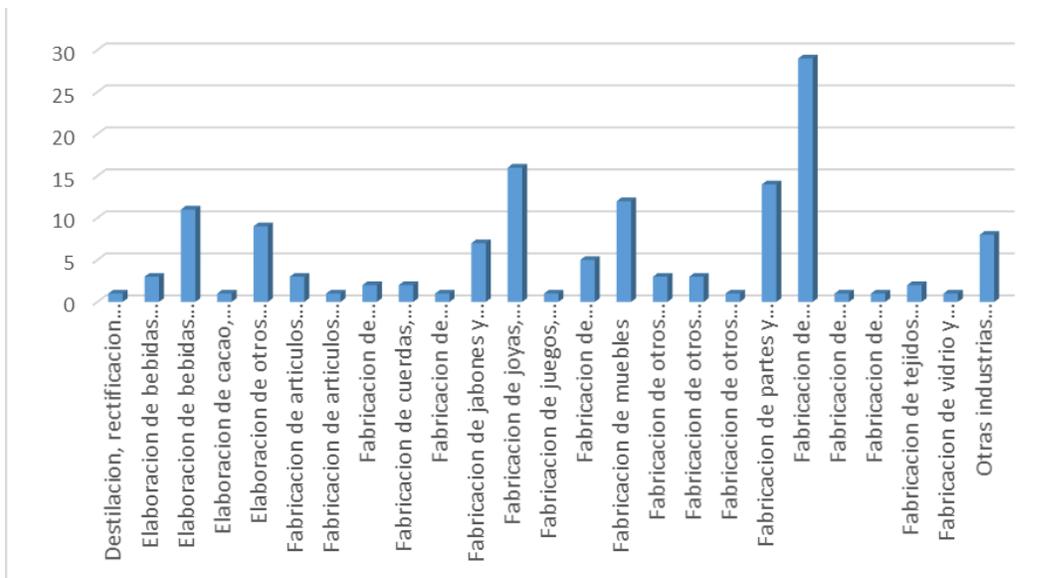


Figura 3. Relación de subcategorías de empresas productivas del sector manufacturero registradas ante Cámara de Comercio del Chocó

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta la gráfica de distribución porcentual de las empresas del departamento, registradas ante la Cámara de Comercio, según la actividad productiva ofertada.

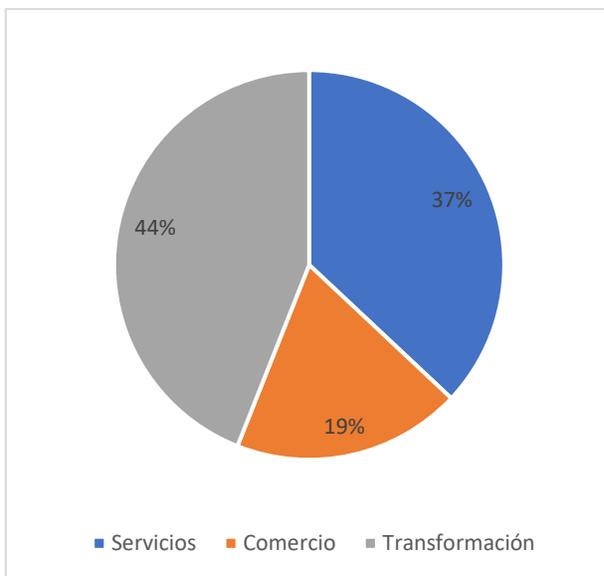


Figura 4. Distribución porcentual de empresas registradas en Cámara de Comercio del Chocó, según sector económico.

Fuente: elaboración propia.

Selección final de empresas productivas

Con base en la revisión de oferta de empresas productivas disponibles objeto de estudio, se seleccionaron ocho, teniendo en cuenta criterios y variables como:

- La materia prima de la región, con una ponderación de 30 %, es uno de los factores más importantes para el proyecto. Existen pocas industrias manufactureras y su objetivo se orienta a la transformación de materias primas como: borajó, popocho, cacao, albahaca, árbol del pan, cúrcuma etc. Frutos obtenidos directamente de la naturaleza.
- El sistema básico de producción documentado tiene una ponderación del 20 % de la calificación. Incluye aspectos de creación y diseño de formatos o documentos, conforme a las funciones propias de cada entidad. Se agrega el registro en la Cámara de Comercio.
- El factor producto representa un 30 % de la calificación. Este se refiere a la información precisa de productos ofertados, como la tabla nutricional, el empaquetado, el sistema de calidad, los registros calificados, entre otros.
- La comunicación tiene una ponderación del 5 % de la calificación. Este factor contempla aspectos como: el intercambio de información sobre los datos que caracterizan a la empresa, líneas de contacto de la empresa con futuros clientes, estrategias sólidas de marketing, entre otras.
- La operatividad actual de la empresa se refiere a la vigencia de la prestación del servicio hacia la comunidad y el logro de objetivos, con una ponderación del 15 %.

Los valores de calificación para las empresas en esta evaluación son de 1 o 5, donde 1 representa el incumplimiento de lo deseado para el proyecto de optimización y, 5 indica que cumple con las variables deseadas del proyecto.

Posterior al análisis y asignación de calificación para las empresas estudiadas, se estableció que las empresas Vamos Mujeres de San Francisco de Icho y Selvacéutica son las más idóneas para realizar el proceso de investigación y prueba de resultados. Ambas adquirieron una calificación acumulada de 25 puntos de 25 posibles.

La Asociación Vamos Mujeres de San Francisco de Ichó es una organización dedicada a los procesos de transformación de materias primas propias de la región del Chocó. Su fuerte para la transformación es el popocho, un alimento rico en hierro, vitaminas A, B1, B2, C, potasio, hierro, zinc. El producto principal es bastante innovador y de buen impacto en el mercado, debido que presenta un alto valor nutricional, especialmente para los niños (Invima, 2014).

Por su parte, la empresa Selvacéutica se caracteriza por transformar productos, a base de frutas típicas de la región. Cuenta con un registro de alta calidad en sus cinco líneas de producción. Se fundamenta en el conocimiento ancestral y científico con productos biocosméticos y fitoterapia, para curar a través de las especies vegetales y sus derivados. Sus productos utilizan materias primas de origen natural, no son perjudiciales para la salud, apuestan al desarrollo de las comunidades locales, defienden la conservación y el uso sustentable de los ecosistemas.

Tabla 1. Criterios de ponderación para la evaluación de empresas manufactureras del Chocó

Variables	Criterio de selección						
	Asociación Vamos mujeres de San Francisco de Ichó	Selvacéutica	Refrescos del Litoral	Jugos Masái S.A.S	Helados Fríos	Galletas Chocoana	Delicias Meraki
Materia prima de la región	30 %	5	5	1	5	5	5
Sistema básico de producción documentado	20 %	5	5	5	5	5	5
Producto	30 %	5	5	1	5	5	1
Comunicación	5 %	5	5	5	1	5	1
Operatividad actual de la empresa	15 %	5	5	1	1	5	1
Puntuación		25	25	13	17	25	17

Fuente: elaboración propia.

El modelo matemático propuesto tiene en cuenta múltiples investigaciones, entre estas (Carranza y Moncada, 2019; Lafora et ál., 2016). Para reconocer las necesidades primordiales de las microempresas en la región, el modelo matemático establece las utilidades generadas por unidad fabricada y la cantidad óptima a producir, lo que permite identificar la máxima utilidad posible por la actividad productiva (Sanders, 1978; Viveros y Salazar, 2010).

Función objetivo: maximizar utilidades generadas por tipo de producto.

Variables de decisión: unidades que se deben generar por cada tipo de producto incluido en el portafolio de servicios.

Restricciones: presupuesto general aprobado en la empresa que se aplique, teniendo en cuenta, su estructura y cada uno de los insumos o requerimientos para realizar su actividad productiva, incluyendo los componentes de costos fijos y variables.

$$Z = \sum X_i U_i \quad (1)$$

En la ecuación (1) Z representa el resultado final de la optimización y nombra a la función objetivo. Las variables U_i , se relacionan con coeficientes numéricos, expresados en términos monetarios, correspondientes a la utilidad generada por unidad de producto, definido o suministrado por la empresa. Adicionalmente, las incógnitas X_i , reflejadas en la ecuación, hacen alusión a las cantidades ideales de los productos a fabricar en la empresa, también conocidas como variables de decisión.

El conjunto de restricciones o limitantes se asocian a los costos necesarios para la producción de la amplia gama de productos ofertados por cada empresa. En este caso se tienen en cuenta: costos fijos (nómina, servicios públicos, arrendamiento, entre otros) y costos variables (materia prima, insumos, energía, gas, y otros tipos).

Lo anterior, se expresa matemáticamente en la siguiente ecuación (2), que relaciona costos de insumo o componente con base a unidad de producto Y_i , cantidades óptimas a producir X_i , y presupuesto máximo para dicho insumo o componente del costo de producción P. La sumatoria total no debe exceder el monto presupuestado.

$$\sum Y_i X_i \leq P \quad (2)$$

En resumen, el modelo matemático propuesto se orienta a la maximización de utilidades, con incidencia directa sobre el sistema financiero y económico de la

empresa en la cual se aplique. Aporta información relevante sobre cantidad y producto, utilidades e inversión. El esquema lógico se presenta en la figura 5.

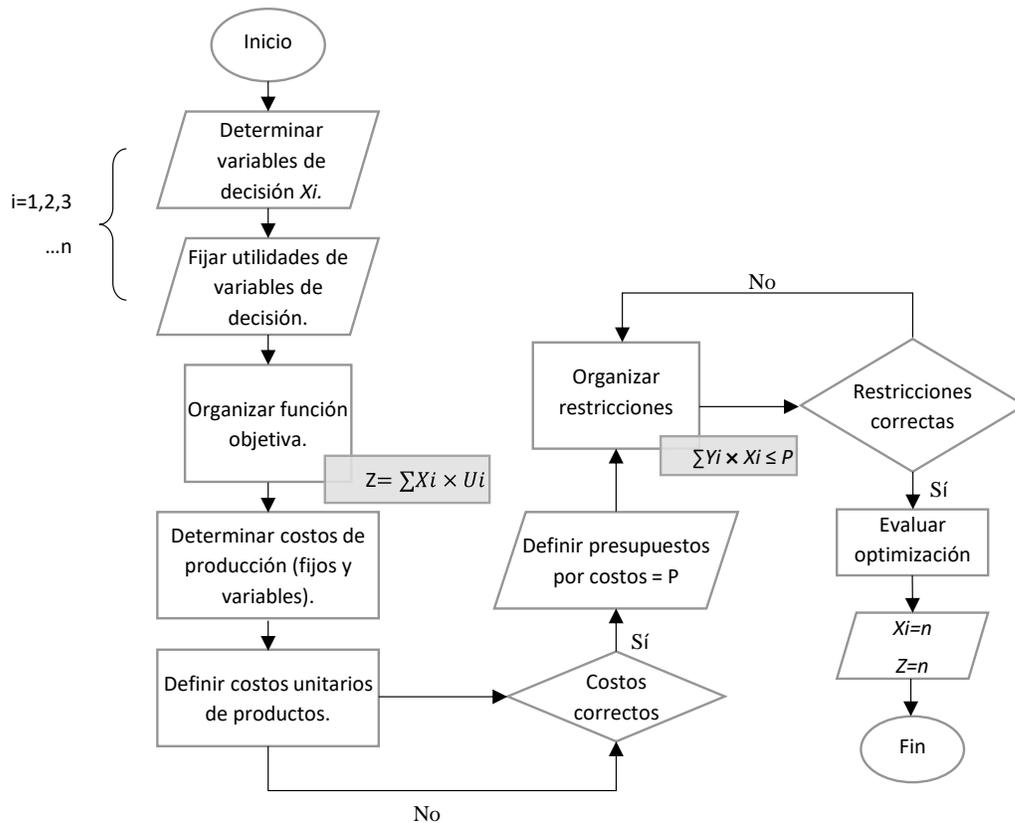


Figura 5. Modelo matemático

Fuente: elaboración propia.

El modelo matemático de programación lineal para el análisis de rentabilidad de producción se complementa con una macro automatizada, con el objetivo de simplificar su uso para empresas y realizar las evaluaciones correspondientes, que sugieran la mejor opción para producir por medio de Solver (Chase, 1967). El esquema operacional lógico se representa en la figura 6:

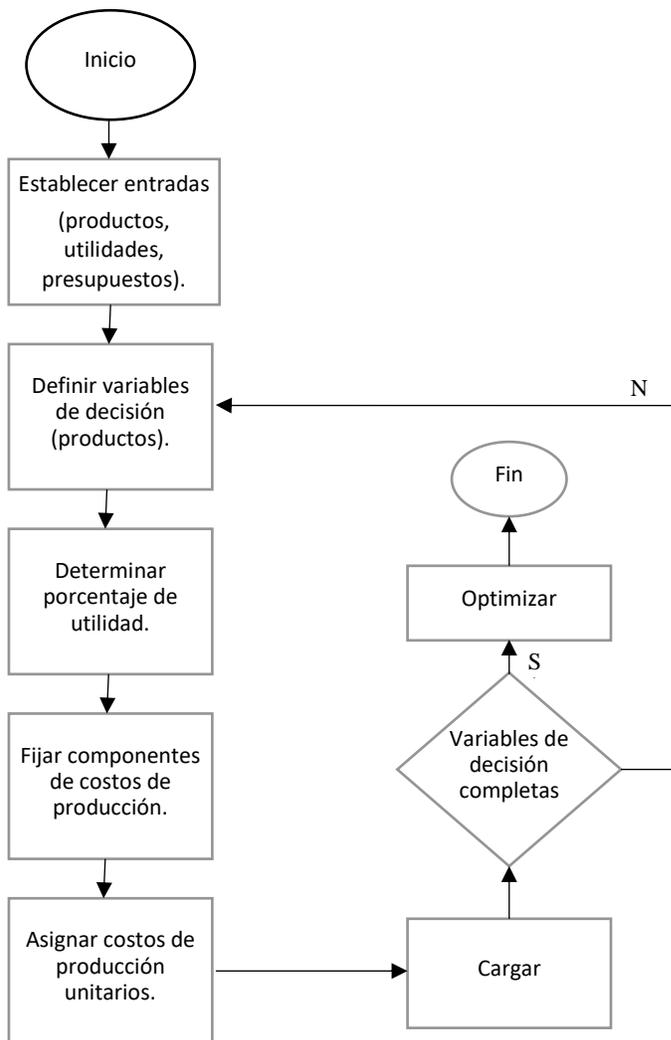


Figura 6. Macros

Fuente: elaboración propia.

Resultados

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, se creó el modelo matemático fundamentado en el método simplex clásico, el cual permite brindar una solución óptima y viable de producción. Lo anterior se resume en la función propuesta y el conjunto de restricciones que regulan el sistema matemático diseñado, que se expresa en las ecuaciones 1 y 2, ejecutadas en Excel junto con su extensión Solver. Esta es una herramienta de fácil programación y ejecución para empresas y personas. Adicionalmente, para simplificar el uso del modelo en las microempresas y brindarles una experiencia de usuario eficaz, se programó una

Tabla 3. Resumen optimización

Concepto de costo											
Disponibilidades											
Invertido											
Productos											

Fuente: elaboración propia.

Resultados: contempla la información relevante de la optimización, dado que relaciona los datos finales, obtenidos luego de la ejecución del sistema. Aporta información como: utilidades por producto, nombre de producto, cantidad ideal u óptima a producir, monto de inversión y utilidades generadas por la actividad productiva.

Tabla 4. Hoja de resultados finales

Resumen de optimización				Utilidad máxima	
Producto	Cantidad óptima	Inversión	Utilidad	Inversión total	

Fuente: elaboración propia.

El sistema programado y automatizado se desarrolla a través de una serie de pasos sencillos, que describen la forma ideal de ejecutarlo. Además, define el concepto de cada uno de los componentes en la interfaz del usuario, programada previamente desde la macro de Excel.

1. *Definir nombre de producto:* establece el nombre del producto o productos que oferta la empresa en su sistema o línea de producción.
2. *Establecer margen de utilidad:* se requieren cálculos de optimización, conocer el valor porcentual de utilidad por cada producto expresado en notación decimal, es decir con valores entre 0 y 1. En caso de no tener certeza acerca del valor decimal en el margen de utilidad, se divide el valor inicial entre 100 para obtener el porcentaje.
3. *Valores o componentes de los costos:* se relaciona con los elementos de costos fijos y variables, que intervienen en la fabricación de los productos. Con base en estos, el sistema realiza la evaluación. Es importante definir todos estos elementos que representan un valor económico para el sistema productivo.
4. *Valor monetario por unidad de producto:* el sistema define el valor monetario para producir cada unidad, de acuerdo con el cálculo de los costos fijos y variables de elaboración de cada unidad del producto.

5. *Valor presupuestado*: describe los montos económicos disponibles en la empresa para cada uno de los componentes o variables del esquema de costos. Son estos los que el sistema interpreta, al momento de ejecutar la evaluación, como limitantes en la elaboración del portafolio de productos y servicios ofertados al mercado. Por tal motivo, es necesario conocer el presupuesto para cada uno de los elementos contemplados en los costos fijos y variables.
6. *Cargar*: botón principal en la interfaz del sistema, cumple la función de copiar la información ingresada de cada producto a la hoja “resumen”. Permite consignar la información para que el sistema la analice e interprete y presente la opción más viable. Adicionalmente, al ejecutar esta acción, la información registrada en la hoja “datos” se borra, excepto las variables o componentes de los costos, para facilitar al usuario su experiencia con el sistema y simplificar las acciones realizadas.
7. *Optimizar*: posterior al ingreso de toda la información requerida acerca de los productos (márgenes de utilidad, costos de producción por unidad y presupuestos), este botón permite la ejecución del sistema y su evaluación, de acuerdo con parámetros o límites establecidos de costos disponibles para cada uno de los componentes o insumos. Este botón es el último en ser accionado, al contemplar toda la información base del sistema, redirigiendo al usuario a la última hoja de “resultados”.

Aplicación de modelo matemático

Producción de Vamos Mujeres de San Francisco de Ichó

Los resultados finales de esta microempresa son positivos. La tabla 5 destaca una eficaz utilización de recursos económicos con una inversión de \$2 178 000 y un margen de utilidad aproximado a 60.69 %, sus ganancias ascienden a \$1 322 000. La comparación entre productividad actual y productividad deseable no tienen una diferencia considerable, por lo que se considera que la empresa se encuentra en un estado de productividad óptima (figura7).

Tabla 5. Resultados optimización del popocho

Resumen de optimización				Utilidad máxima	1 321 999.83
Producto	Cantidad óptima	Inversión	Utilidad	Inversión total	2 178 000
Harina de popocho	500	2 178 000	2 643 999.65		

Fuente: elaboración propia.

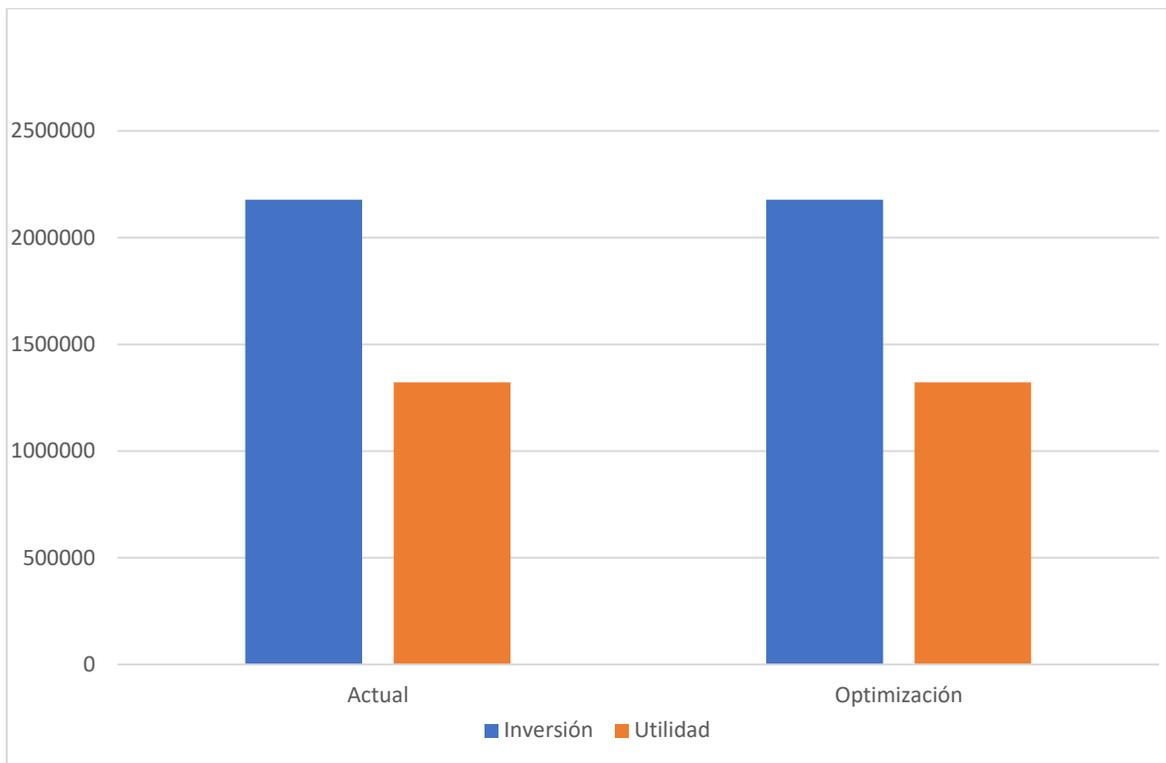


Figura 7. Resultados producción popocho

Fuente: elaboración propia.

Producción de Selvacéutica

La tabla 6 evidencia resultados positivos en la línea de producción. A partir de sugerencias para la fabricación, se desarrollaron productos con mayor impacto económico para la empresa (mascarilla de 500 gr y 220 gr) resaltan el porcentaje de utilidad de 42.87 % respecto a la inversión inicial. La utilidad bruta es \$4 957 644.98, lo que le da capacidad a la empresa de asumir las obligaciones financieras en su totalidad, relacionadas con costos fijos.

Tabla 6. Sistema productivo Selvacéutica

Producto	Costo unitario	Precio de venta	Utilidad	Margen	Unidades fabricadas	Inversión	Ganancia esperada
Mascarilla facial 220 gr	32 893	46 999	14.106	30 %	70	2 302 510	987 420
Mascarilla facial 500 gr	67 900	97 000	29.100	30 %	70	4 753 000	2 037 000
Crema corporal 220 gr	38 499	54 999	16 499	30 %	70	2 694 930	1 155 000

Producto	Costo unitario	Precio de venta	Utilidad	Margen	Unidades fabricadas	Inversión	Ganancia esperada
Aceite relajante 90 ml	25 899	36 999	11 100	30 %	70	1 812 930	777 000
Total Inversión: 11 563 370						Total Ganancias: 4 956 420	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Optimización Selvacéutica

Resumen de optimización			
Producto	Cantidad óptima	Inversión	Utilidad
		0	
Mascarilla 500 g	67.22455509	4564547.29	29 100
Aceite	0	0	11 100
Mascarilla	212.7754449	6 998 822.71	14 106
Crema corporal	0	0	16 500

Utilidad máxima	4 957 644.98
Inversión total	11 563 370

Fuente: elaboración propia.

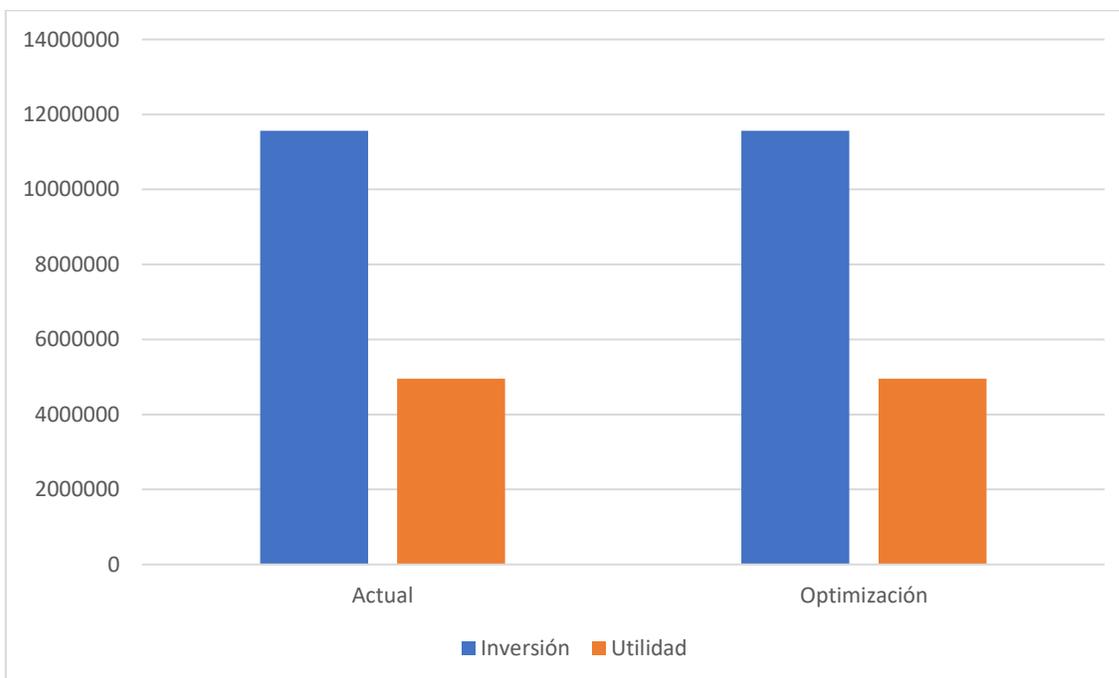


Figura 8. Resultados optimización Selvacéutica

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El análisis de optimización de los procesos de producción en las microempresas del Chocó evidenció que, con apoyo de modelos matemáticos, es posible mejorar, a partir de la planificación para la toma de decisiones orientadas al cumplimiento de los objetivos y las metas propuestas por la alta gerencia. El modelo matemático permite reconocer las características del modelo actual de producción y plantear ajustes para la optimización de resultados que contribuyan al crecimiento económico y financiero de las microempresas. Así, se define que:

- Los modelos de programación lineal son herramientas esenciales para optimizar los resultados y dar solución a los problemas de cada empresa. Se destaca el método simplex debido que posibilita el cumplimiento del objetivo establecido desde la función matemática inicial.
- La optimización sugerida, desde el modelo matemático propuesto, permitió comprobar la buena gestión de los sistemas de producción de las empresas chocoanas, especialmente de Vamos Mujeres de San Francisco de Ichó y Selvacéutica. Por lo tanto, el modelo aporta alternativas para mejorar la productividad y maximizar utilidades de operación.
- La integración de software para planificación de la producción microempresarial es un factor clave para desmitificar los paradigmas referentes a la necesidad de inversión de altos montos económicos en tecnologías útiles que aporten a la mejora de la productividad, desde la planificación hasta la ejecución. Se destaca Solver, herramienta de bajo costo y con gran facilidad de aplicación que permite obtener resultados positivos para la empresa.

Recomendaciones

Con base en los resultados de la investigación en las empresas chocoanas, se presentan las siguientes recomendaciones para optimizar el rendimiento empresarial:

- Integrar los indicadores de gestión de la producción en la práctica laboral, en cada uno de los factores que componen el sistema productivo.
- Definir actividades de acuerdo con cada especialidad del trabajador. Esto aporta a la eficiencia en el desempeño de labores en la planta de producción.
- Documentar las actividades desempeñadas mediante variables cuantificables que, a futuro, faciliten ejecutar estudios para la mejora continua de sus procesos.

- Diseñar un manual de funciones para los empleados, en el que se especifiquen actividades asignadas, con el fin de observar el progreso o falencias. Esto permite realizar talleres de capacitación que correspondan a las necesidades, fortalezcan habilidades y mejoren el rendimiento en el puesto de trabajo.
- Capacitar a los empleados en tecnologías de planificación, control y ejecución, según las actividades y los objetivos de la empresa.

Referencias

- Carranza, D. F. y Moncada, L. K. (2019). *Optimización de las utilidades en la empresa DM&E S.A.S mediante un Modelo de programación lineal que permita mejorar su rendimiento operacional* [tesis de grado]. Programa de Ingeniería Financiera, Universidad Piloto de Colombia, Girardot.
- Chase, R. (1967). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros*. University Of Southern California.
- Confederación Colombiana de Cámaras de Comercio. (2019). Dinámica de creación de empresas en Colombia. *Confecámaras, Red Cámaras Comercio*. <https://incp.org.co/Site/publicaciones/info/archivos/Dinamica-de-Creacion-de-Empresas2019-26022020.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [Dane]. (2021). *Gran encuesta integrada de hogares (GEIH)*. <https://www.dane.gov.co/index.php/178-english/sociales/cultura/2921-gran-encuesta-integrada-de-hogares>
- Lafora, J., Milagros, G., Quispe, M., Karina, A., Candiotti, S. y Mercedes, J. (2016). *Modelo de programación lineal entera para mejorar la productividad del proceso de obtención y procesamiento de la goma de tara de industria Nativa S.A.C.* [Tesis de grado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <http://hdl.handle.net/10757/621513>
- Sanders, T. (1978). Economía, educación y emigración en el Chocó: informe de un funcionario del American Universities Field Staff. *Revista Colombiana de Educación*, 17(2). <https://doi.org/10.17227/01203916.4960>
- Sproles, E. A. (2018). Tutoria Solver-Microsoft Excel. <http://www.computerworld.com/>
- Viveros, R. y Salazar, E. (2010). Modelo de planificación de producción para un sistema multiproducto con múltiples líneas de producción. *Rev. Ing. Sist.*, (24), 89-102. <https://www.dii.uchile.cl/~ris/RISXXIV/Viveros89.pdf>

Fuentes primarias

Resolución 2014041790 de de 2014 [Invima]. 11 de diciembre de 2014.