

Transportation model for cost optimization in the aggregate planning of a fishing company

Moreto-Febre Lesly Patricia, Ingeniera Industrial¹, Clavijo-Salas Claudia Lucia, Ingeniera Industrial¹, Castillo-Martínez Williams Steward, Maestro en Gerencia de Industrias Agropecuarias y Pesqueras¹, Olivos-Jiménez Luis Marcelo, Magíster en Psicología Educativa¹ y Miñan-Olivos Guillermo Segundo, Magíster en Gestión Pública²

¹Universidad César Vallejo, Perú, lesly.moreto.1@gmail.com, claud.clavijo@gmail.com, wcastillom@ucv.edu.pe, lolivos@ucv.edu.pe

²Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c20342@utp.edu.pe

Abstract– The general objective of this study was to apply a transportation model to optimize costs in the aggregate planning of a fishing company. The research was applied with a quantitative approach, seeking to determine whether a transportation model optimizes production costs in a fishing company. The research design was pre-experimental with pre-test and post-test. The results determined that the lowest mean percentage error was 30.1% and the lowest mean absolute error was 147.8 MT using a series decomposition with a multiplicative model. Likewise, conventional aggregate planning strategies were analyzed, obtaining a cost of \$206,573.48 dollars for the leveling strategy, \$195,091.7 dollars for the overtime strategy and \$138,621.6 dollars for the demand tracking strategy, which was the lowest among all the heuristic strategies. Subsequently, a linear programming analysis with a transportation model was able to optimize costs, reaching an amount of \$136,694 dollars. Therefore, it was concluded that the transportation model had a positive impact on the optimization of production costs of a fishing company.

Keywords-- aggregated planning, production, optimal strategy, costs, linear programming

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.65>
ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Modelo de transporte para la optimización de costos en el planeamiento agregado de una empresa pesquera

Moreto-Febre Lesly Patricia, Ingeniera Industrial¹, Clavijo-Salas Claudia Lucia, Ingeniera Industrial¹, Castillo-Martínez Williams Esteward, Maestro en Gerencia de Industrias Agropecuarias y Pesqueras¹, Olivos-Jiménez Luis Marcelo, Magíster en Psicología Educativa¹ y Miñan-Olivos Guillermo Segundo, Magíster en Gestión Pública²

¹Universidad César Vallejo, Perú, lesly.moreto.1@gmail.com, claud.clavijo@gmail.com, wcastillom@ucv.edu.pe, lolivos@ucv.edu.pe

²Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c20342@utp.edu.pe

Resumen— El presente estudio tuvo por objetivo general aplicar un modelo de transporte para optimizar los costos en el planeamiento agregado de una empresa pesquera. La investigación fue aplicada con un enfoque cuantitativo, buscando determinar si un modelo de transporte optimiza los costos de producción en una empresa pesquera. El diseño de la investigación fue preexperimental con preprueba y postprueba. Los resultados determinaron que el menor error porcentual medio era de 30.1% y el error absoluto medio más bajo de 147.8 TM utilizando una descomposición de series con modelo multiplicativo. Asimismo, se analizaron estrategias convencionales de planeamiento agregado obteniendo para la estrategia de nivelación un costo de \$ 206,573.48 dólares, con la estrategia de sobretiempos un costo de \$195,091.7 dólares y finalmente para la estrategia del seguimiento de la demanda un valor monetario de \$138,621.6 dólares siendo esta la menor entre todas las estrategias heurísticas. Posteriormente, un análisis con programación lineal con modelo de transporte logró optimizar los costos llegando a un monto de \$136,694 dólares. Por lo expuesto, se concluyó que el modelo de transporte tuvo un impacto positivo en la optimización de costos de producción de una empresa pesquera.

Palabras clave— planeamiento agregado, producción, estrategia óptima, costos, programación lineal

I. INTRODUCCIÓN

La incertidumbre en el comportamiento de los mercados ha generado que las empresas de nivel cada vez se preocupen más por contar con sistemas de información confiables que les permitan una adecuada toma de decisiones, lo cual se evidencia en los avances tecnológicos enfocados a la predicción de escenarios futuros que las empresas solicitan cada vez con mayor necesidad [1]. Ante dicha realidad, la planeación agregada resulta una herramienta de ingeniería de suma importancia ya que permite establecer planes de producción en corto y mediano plazo para lograr la satisfacción de los requerimientos pronosticados generando a su vez un impacto positivo en la gestión de costos. Con la aplicación de un plan agregado de producción se define cuanto puede una empresa producir, cuando realizar la producción, con qué mano de obra y con cuánto de inventario debe contar. A pesar de ello, muchas empresas no toman en cuenta que la planeación es una etapa importante en los niveles estratégicos, tácticos y operativos; y en ese sentido, no apuestan por

herramientas tecnológicas o estrategias profesionales que les proporcionen una ventaja comparativa en el mercado que se desarrollan [2].

El principal objetivo de la planeación agregada es brindar la solución requerida en el más corto tiempo posible para dar respuesta rápida a los clientes, para lo cual la empresa tiene que estar disponible para producir cualquier tamaño de requerimiento solicitado, teniendo la materia prima, la mano de obra y los insumos para llevar acabo satisfactoriamente el proceso de producción [3]. Existen diversas estrategias para un plan agregado, por ejemplo, la estrategia denominada de caza o persecución, si es bien empleada, llega a ser muy rentable, sin embargo, a largo plazo podría convertirse en no tan buena estrategia. Por otro lado, se menciona que la planeación agregada sirve para sacarle el mayor provecho al tiempo en la mano de obra empleada, solo así se puede conseguir un tiempo adecuado en todos los procesos que generan valor agregado al producto final para los clientes, además al elaborar el programa de actividades para la producción, se consigue conducir de forma adecuada los tiempos de producción y los materiales que se emplean, del mismo modo la maquinaria empleada cumple un rol importante durante el desarrollo de los procesos, puesto que solo estando en las mejores condiciones se lograra cumplir con los requerimientos solicitados de manera inmediata [4].

Durante la elaboración de la planificación agregada, es importante considerar la real descripción de cada una de las actividades, la materia prima y las maquinarias a emplear para los procesos, todo lo mencionado es vital para tener el control y poder proporcionar el adecuado soporte para garantizar el máximo aprovechamiento del producto terminado en el cliente [5]. En efecto se debe trabajar con la programación real para tener total control sobre los posibles cambios y evitar futuros problemas de stock u otros temas en almacén o planta a fin de dar el mejor servicio y/o producto a los clientes; sin olvidar medir el desempeño y los costos, los cuales son piezas claves para que las solicitudes requeridas se cumplan a cabalidad, logrando así el crecimiento y expansión de las organizaciones empresariales [6].

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.65>
ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Por otro lado, el fin de un plan agregado es la disminución de costos; y, específicamente, su impacto se relaciona a los costos de producción. Se hace referencia a los costos de producción cuando las operaciones de una empresa son de tipo industrial, es decir, la empresa lleva a cabo la transformación de materia prima en un producto terminado con valor agregado. Los elementos que se incluyen en el costo de producción son: la materia prima, la mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación. La materia prima se refiere al material que se puede asociar directamente al producto terminado y que se puede identificar con suma facilidad en el producto obtenido. La mano de obra directa se refiere al salario que se les paga a los trabajadores que participan directamente en la transformación de la materia prima. Los gastos indirectos de fabricación son aquellos gastos que se asocian de manera indirecta al proceso productivo pero que no se pueden identificar fácilmente en el producto terminado; entre ellos se puede mencionar como ejemplos: el inmueble donde se ubica la fábrica, gastos inherentes a la maquinaria, entre otros [7].

Otro aspecto importante de un plan agregado es el pronóstico. La finalidad del pronóstico es la de predecir cantidades o requerimientos futuros, gracias a datos históricos e información pasada; para lo cual existen varios tipos de predicciones según el análisis requerido; es decir, de acuerdo con el tiempo que se busca programar según el modelo agregado para actividades que se realizarán en el mediano plazo; a fin de cumplir con las solicitudes de todos los clientes [8]. El pronóstico es aplicado en las empresas para disminuir el grado de incertidumbre en la siguiente producción a realizarse, por lo que es vital que estos sean validados para comprobar su efectividad además de ser monitoreados rigurosamente los también llamados antecedentes exactos útiles para el futuro [9].

Los pronósticos más importantes son los cuantitativos y cualitativos, siendo este último capaz de realizarse desde una data no especificada, por lo cual es una predicción ideal para ser aplicada en una empresa que por ejemplo no cuenta con información histórica de alguno de sus procesos, estos se llevan a cabo mediante múltiples preguntas realizadas a los colaboradores y clientes [10].

Una vez que se ha determinado el pronóstico adecuado, se debe diseñar una estrategia que permita satisfacer la posible demanda en el horizonte de tiempo analizado. Entre los aspectos que se deben articular, se tiene en cuenta el número de trabajadores necesarios para las operaciones productivas. En función a las horas hombre disponibles se determina los niveles de producción a los cuales se puede llegar utilizando sobretiempos, manteniendo un nivel constante de la fuerza laboral o utilizando un sistema de contratación y despido. En ese sentido, se pueden generar diversos niveles de producción según la gestión de las horas hombre lo que a su vez. En conjugación con las ventas estimadas, también genera

distintos niveles de inventarios que se asocian a los costos de manutención del producto terminado en los almacenes. Para hallar una solución idónea ante distintas alternativas, se utiliza un método heurístico que compara distintos planes agregados en relación con los costos que estos generan. Sin embargo, esta metodología no siempre representa una solución óptima por lo que en otros casos se recurre a la programación lineal para hallar una solución donde se determine el menor de los costos posibles [11].

II. METODOLOGÍA

A. Tipo y diseño de investigación

Con respecto al tipo de estudio se consideró una investigación aplicada puesto que se puso en práctica todos los conocimientos teóricos relacionados con planeamiento agregado para la reducción de costos de producción en una empresa pesquera. Por consiguiente, el nivel que delimitó hasta dónde se llegó con la investigación, fue explicativo, pues se tuvo el control experimental de las variables. En correspondencia con ello, se utilizó un diseño de preprueba – post prueba con un solo grupo, con el que se trabajó en la investigación; además se determinó la causa de los fenómenos y se generó un sentido de entendimiento. Se considera como una investigación de enfoque cuantitativo cuando se tiene una relación numérica entre las variables de dicha investigación [12]. Por su contrastación, fue experimental, pues tuvo como objetivo estudiar, detallar las variables y verificar su interrelación, asimismo, dio a conocer lo que no se debe hacer y lo que se debía realizar [13]. En correspondencia a lo mencionado, se analizaron los costos de producción para determinar si existía una variación significativa a través de una prueba t de Student ($p < 0.05$). El análisis inferencial se llevó a cabo mediante SPSS 28 utilizando una simulación para el cálculo de la significancia (p valor).

B. Población, muestra y muestreo

La población es el conjunto de todos los casos que están relacionadas con determinadas especificaciones. Asimismo, la población se puede definir como “un conjunto de unidades de sujetos tales como personas o seres vivos de distintas especies que habitan en un lugar determinado ya sea manera finita o infinita, así como objetos tales como procesos, máquinas o periodos, en los que estamos interesados a dar estudio” [14]. En ese sentido, la población estuvo constituida por todos los meses de producción a partir del año 2018 de la empresa.

La muestra es cualquier subconjunto del universo. Desde la estadística pueden ser probabilísticas o no probabilísticas [15]. También se podría definir como un subconjunto de las unidades de la población sobre las cuales se recolectan datos de una porción de la totalidad de la población que se considera representativa. Para la presente investigación, la muestra estuvo compuesta por los meses de producción de la empresa correspondiente al periodo de enero a julio del 2021 ya que en

ese sentido se estuvo cumpliendo con los criterios de mediano plazo necesarios para un planeamiento agregado. Por otro lado, el periodo seleccionado como muestra permitió la comparación con información de otros años de producción.

El muestreo utilizado fue no probabilístico por conveniencia ya que los meses seleccionados no correspondieron a ningún método aleatorio y fueron elegidos a criterio de los investigadores. El muestreo por conveniencia es una técnica de muestreo no probabilístico y no aleatorio utilizada para crear muestras de acuerdo con la facilidad de acceso, la disponibilidad de las personas de formar parte de la muestra, en un intervalo de tiempo dado o cualquier otra especificación práctica de un elemento particular.

C. Procedimiento

La investigación incluyó 5 etapas, tal como se puede observar en la Figura 1: diagnóstico situacional de la empresa, costeo inicial, diseño de estrategia de producción (planes agregados), aplicación de estrategia optimizada y costeo final de producción.

D. Optimización de costos aplicando programación lineal mediante modelo de transporte

El modelo de transporte, en problemas de planeamiento agregado, se basa en la suposición preliminar de que puede considerarse orígenes y destinos para balancear la demanda total a la oferta total. En ese sentido, se estipula puntos de abastecimiento para cada periodo a_i , un punto de demanda D_j y otro para el inventario final que se necesita. En concordancia con ello, se establecieron variables de decisión y parámetros del modelo:

x_{ij} = Producción total en el periodo i (1,2,3 ...) para la demanda del periodo j (1,2,3 ...)

c_{ij} = Costo de Producción unitario en el periodo i (1,2,3 ...) para la demanda del periodo j (1,2,3 ...)

b_{ij} = Unidades a producir en el periodo i (1,2,3 ...) para la demanda del periodo j (1,2,3 ...)

a_i = Capacidad de producción en el periodo i (1,2,3 ...)

D_j = Demanda pronosticada para el mes j ($i = 1,2,3 \dots$)

De la misma manera, en la Ecuación 1 se puede evidenciar la función objetivo establecida con sus respectivas restricciones:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{m=12} \sum_{j=1}^{n=12} c_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n=12} b_{ij} &\leq a_i \quad \forall i = 1,2,3, \dots, n \\ \sum_{i=1}^{n=12} b_{ij} &= D_j \quad \forall j = 1,2,3, \dots, m \\ a_{ij}, b_{ij}, x_{ij} &\geq 0 \quad \text{para toda } i \text{ y } j \end{aligned} \quad (1)$$

La solución optimizada se obtuvo mediante el uso de QM for Windows en su módulo de planeamiento agregado, opción modelo de transporte sin permitir escasez.

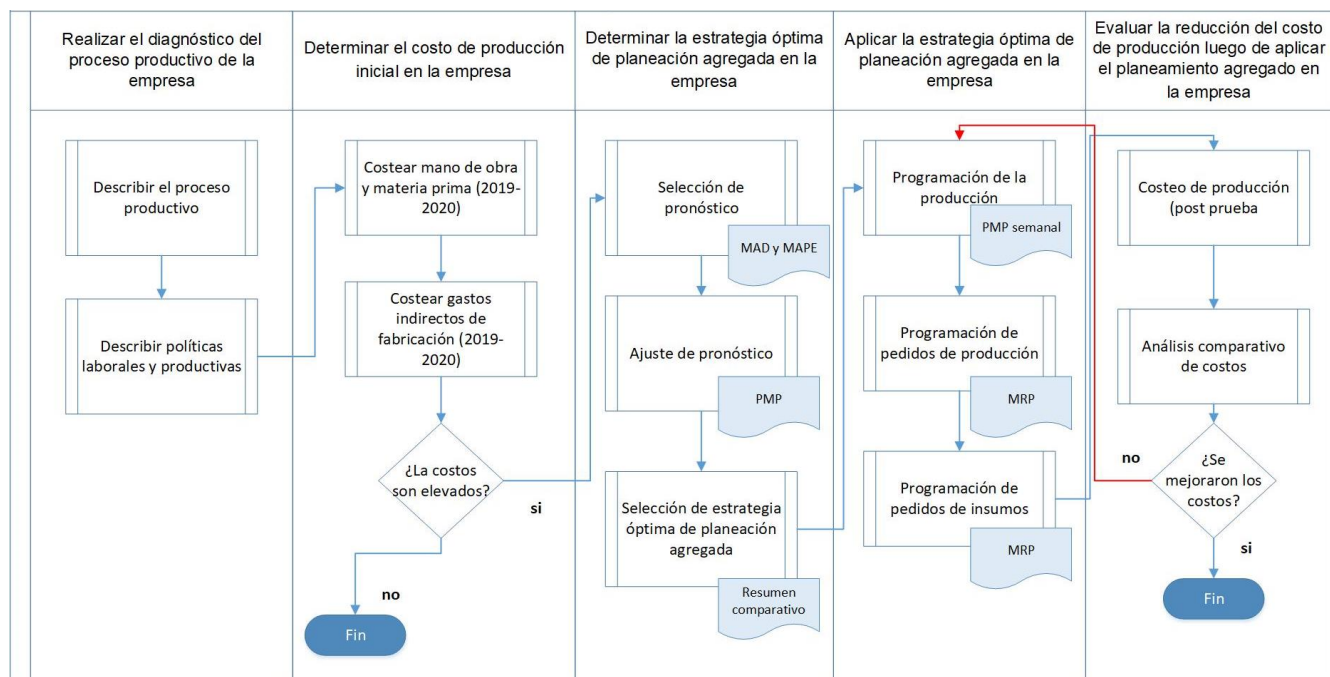


Fig. 1 Procedimiento de investigación para la aplicación de planeamiento agregado en una empresa pesquera

III. RESULTADOS

Un diagnóstico inicial permitió identificar una variación elevada de las ventas y por ende de la producción. Asimismo, a pesar de que la producción ha tenido un volumen promedio similar al volumen de ventas, se han mantenido niveles de inventario en un 29.5% respecto al promedio de producción. En el caso de los costos, se determinó que la mano de obra directa y la materia prima representaban el 92% del costo directo de fabricación. Asimismo, los costos directos, durante el 2020, fluctuaron entre los 2705 y 3003 dólares por cada tonelada producida. La distribución de los gastos indirectos de fabricación demostró que la depreciación de maquinaria e inmueble generó la mayor cantidad de gastos durante el 2020.

En menor medida, los gastos por energía eléctrica y mantenimiento también han sido un rubro importante de los gastos indirectos. De la misma manera, se estableció que, durante el 2020, los gastos indirectos fluctuaron entre los 105 y 284 dólares por cada tonelada producida. En los últimos meses se observaron costos más bajos debido al incremento de la producción.

Posteriormente, se analizaron distintos métodos cuantitativos y a través de la Figura 2 se presentan los 4 métodos con menor margen de error: Promedio móvil de 2 periodos (Fig. 2.1), Método de Winters (Fig. 2.2), Descomposición de series con modelo multiplicativo (Fig. 2.3) y Suavizado exponencial doble (Fig. 2.4).

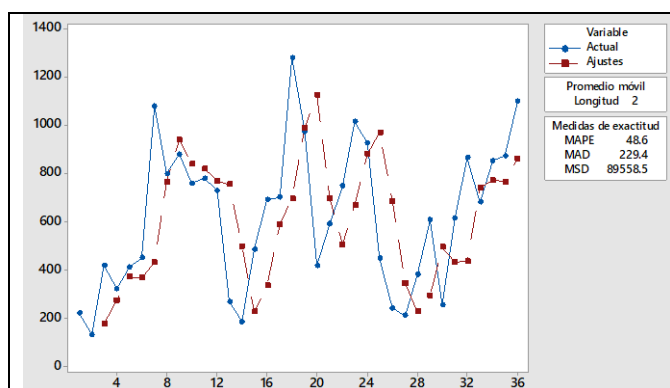


Fig. 2.1

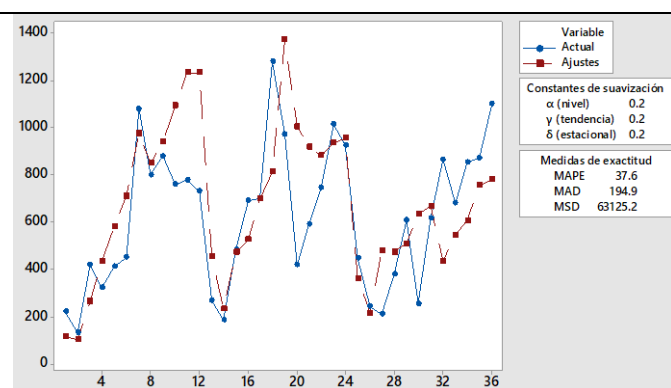


Fig. 2.2

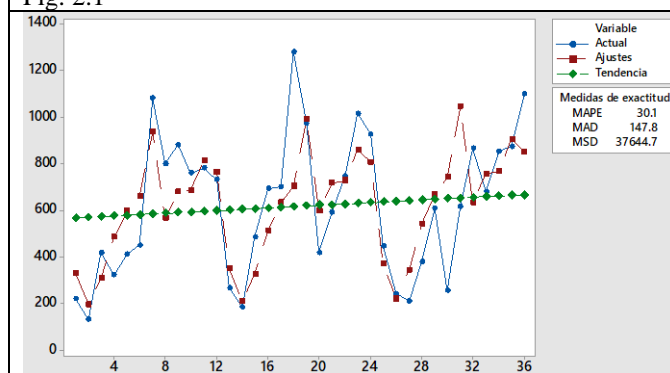


Fig. 2.3

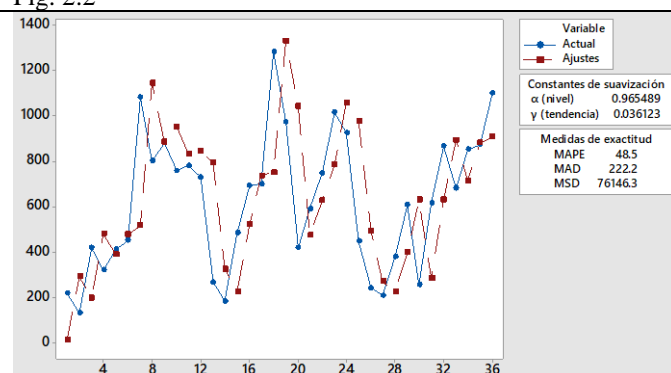


Fig. 2.4

Fig. 2 Evaluación de pronósticos de la demanda en función a las ventas históricas de la empresa

Fuente: Minitab 18

El uso del promedio móvil con dos periodos presenta un error porcentual medio (MAPE) del 48.6% y un error absoluto medio (MAD) de 229.4 toneladas. El método de suavizado exponencial doble utilizó como constantes de suavización un α igual a 0.965 y un valor de 0.036 para γ (tendencia), sin embargo, el margen de error porcentual medio alcanzó el 48.5% mientras que el error absoluto medio fue de 222.2 toneladas. Por otro lado, para el Método de Winters se empleó un valor de 0.2 para las constantes de nivel(α), tendencia (γ) y estacional (δ); con lo que se logró reducir el MAPE a 37.6% y

el MAD a 194.9 toneladas. La descomposición de series con modelo multiplicativo hizo uso de una tendencia lineal más la aplicación de índices estacionales para cada mes, con lo cual se obtuvo el menor error porcentual medio (30.1%) y el error absoluto medio más bajo (147.8 TM)

Una vez que se seleccionó el método de pronóstico más adecuado, se procedió a proyectar la demanda para el año del 2021. En la Figura 3 se muestra el comportamiento pronosticado de la demanda y su tendencia.

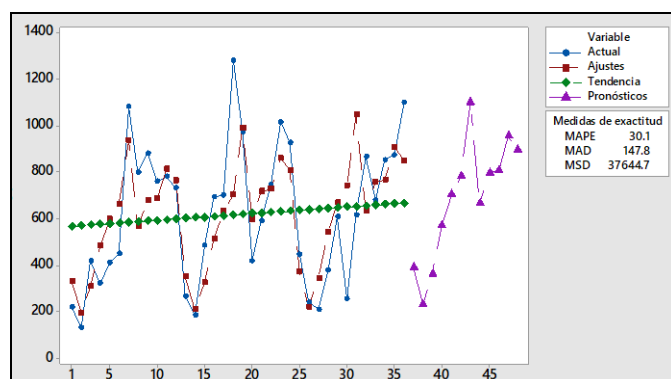


Fig. 3 Ventas proyectadas (2021) de la empresa, utilizando descomposición de series con modelo multiplicativo

Fuente: Minitab 18

Como siguiente etapa de la investigación, se procedió con la evaluación de planes agregados de producción y selección de aquel con el menor costo de producción. Se analizaron 4 métodos: persecución, nivelación, horas extras y programación lineal con método de transporte.

En la Tabla I se puede observar los costos calculados para la elaboración de los planes agregados. El plan agregado de nivelación consideró los costos de mano de obra en tiempo ordinario, los costos por unidad en inventario y los costos por unidad faltante de inventario. La estrategia con sobretiempos aplicó los costos de mano de obra en tiempo ordinario, costos de mano de obra en tiempo extraordinario, los costos por unidad en inventario y los costos por unidad faltante de inventario. La estrategia de seguimiento a la demanda hizo uso de los costos de mano de obra en tiempo ordinario, costos de contratación y costos de despidos. Para el caso de modelo de transporte se tomó en cuenta los costos de mano de obra en tiempo ordinario y los costos de mano de obra en tiempo extraordinario.

TABLA I
COSTOS APLICADOS PARA EL CÁLCULO DE PLANES AGREGADOS

Costos	Dólares
Costos de contratación (dólares por tonelada)	4.43
Costo de despidos (dólares por tonelada)	20.58
Costo por unidad en inventario (dólares por tonelada)	8.83
Costo por unidad faltante de inventario (dólares por tonelada)	187.12
Costo de mano de obra en tiempo ordinario (dólares por tonelada)	14.37
Costo de mano de obra en tiempo extraordinario (dólares por tonelada)	18.55

Para aplicar una estrategia de nivelación (Tabla II), en primer lugar, se calculó el número de trabajadores necesarios para cubrir la demanda pronosticada. Para ello, se utilizaron los siguientes datos: demanda pronosticada = 8252.98 toneladas, horas hombre por tonelada producida = 13.25 y días laborables al año = 251. Y en base a los datos recopilados se aplicó la siguiente ecuación: $(\text{demanda} \times \text{horas hombre}) / (\text{días laborables} \times 8) = 54.45 \approx 55$ trabajadores. Al considerar una fuerza nivelada de 55 trabajadores para todos los meses del 2021 se estimó una producción anual de 8283 toneladas. En la Tabla II, se observa que nivelar la producción generaría 116,583.8 dólares en pagos al personal por tiempo ordinario, 63,796.66 dólares por costos de inventario y 26,193.02 dólares por pedidos no cumplidos. El costo total del plan agregado de producción fue de 206,573.5 dólares.

Como una segunda alternativa, se evaluó la posibilidad de cumplir con la demanda a través de una estrategia que mantenga una fuerza laboral constante (Tabla III) y que haga uso de sobre tiempos para los meses con ventas altas. Para llevar a cabo dicho plan, se consideró una fuerza laboral constante de 49 trabajadores y se estableció un máximo de 4 horas extras por cada día hábil de la semana y 12 horas para los fines de semana, según cada mes. Se determinó las 4 horas extras ya que al utilizar 3 horas la capacidad de producción extra se reducía en un 25%, si se utilizaba 2 en un 50% y si se utilizaba 1 hora, en un 75%. La producción en tiempo ordinario, con 49 trabajadores, equivale a 7379.40 toneladas anuales. Asimismo, se estableció las horas extras disponibles por cada mes, las cuales sumaban un total de 1628 horas para todo el 2021, por cada trabajador. Al tomar en cuenta el rendimiento de producción de la mano de obra, se estimó un volumen productivo de 5982.90 toneladas, utilizando solo el tiempo extra. En la Tabla 2, se puede observar que la estrategia propuesta generaría 106,042.0 dólares por pagos de mano de obra en tiempo ordinario y 16,186.73 dólares por pagos de sobretiempos. Asimismo, el costo por inventario tendría un valor de 72,679.64 dólares. El costo total del plan agregado con sobretiempos alcanzaría los 195,091.7 dólares.

Para el caso de la estrategia de seguimiento de la demanda (Tabla IV), se planteó que la producción sea igual a las ventas y se modifique los niveles de producción mediante la contratación y despido de personal. El costo de reducir la producción por despidos se calculó en 20.58 dólares por tonelada; mientras que, el costo de incrementar la producción se estimó en 4.43 dólares. En la Tabla IV, se puede observar que mediante la estrategia de seguimiento de la demanda se generaría 118,580.9 dólares por el concepto de pago al personal en tiempo ordinario. El incremento de la producción mediante contratos generaría 5,116.3 dólares mientras que la reducción de producción por despidos representaría un costo de 13,427.42 dólares. El costo total de un plan de seguimiento de la demanda alcanzaría los 138,621.6 dólares.

TABLA II
COSTOS APLICANDO UNA ESTRATEGIA DE NIVELACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Periodo	Demanda	Capacidad de tiempo regular	Producción en tiempo regular	Inventario	Escasez	Aumento de unidades	Disminución de unidades
Enero	390.82	660	660	269.18	0	0	0
Febrero	232.57	660	660	696.61	0	0	0
Marzo	363.16	759	688	1021.45	0	28	0
Abril	570.24	660	660	1111.21	0	0	28
Mayo	703.41	693	688	1095.8	0	28	0
Junio	780.5	693	688	1003.3	0	0	0
Julio	1099.48	660	660	563.82	0	0	28
Agosto	664.46	693	688	587.36	0	28	0
Septiembre	796.19	726	687	478.17	0	0	1
Octubre	806.39	660	660	331.78	0	0	27
Noviembre	952.47	693	687	66.31	0	27	0
Diciembre	893.29	726	687	0	139.98	0	0
Total	8252.98	8283	8113	7225	139.98	111	84
			\$14.37	\$8.83	\$187.12	\$0.00	\$0.00
Subtotal costos			\$116,583.80	\$63,796.66	\$26,193.02	\$0.00	\$0.00
Costo total	\$206,573.48						

Fuente: QM for Windows

TABLA III
COSTOS APLICANDO UNA ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN CON SOBRETIEPOS

Periodo	Demanda	Producción de tiempo regular	Producción de tiempo extra	Inventario	Escasez	Aumento de unidades	Disminución de unidades
Enero	390.82	588	100	297.18	0	0	0
Febrero	232.57	588	100	752.61	0	0	0
Marzo	363.16	676.2	11.8	1077.45	0	88.2	0
Abril	570.24	588	100	1195.21	0	0	88.2
Mayo	703.41	617.4	70.6	1179.8	0	29.4	0
Junio	780.5	617.4	70.6	1087.3	0	0	0
Julio	1099.48	588	100	675.82	0	0	29.4
Agosto	664.46	617.4	70.6	699.36	0	29.4	0
Septiembre	796.19	646.8	40.2	590.17	0	29.4	0
Octubre	806.39	588	99	470.78	0	0	58.8
Noviembre	952.47	617.4	69.6	205.31	0	29.4	0
Diciembre	893.29	646.8	40.2	0	98	29.4	0
Total	8252.98	7379.4	872.6	8231	98	235.2	176.4
		\$14.37	\$18.55	\$8.83	\$187.10	\$0	\$0
Subtotal costos		\$106,042.00	\$16,186.73	\$72,679.64	\$183.34	\$0	\$0
Costo total	\$195,091.7						

Fuente: QM for Windows

TABLA IV
COSTOS APLICANDO UNA ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN DE SEGUIMIENTO A LA DEMANDA

Periodo	Demanda	Capacidad de tiempo regular	Producción en tiempo regular	Escasez	Aumento de unidades	Disminución de unidades
Enero	390.82	390.82	390.82	0	0	0
Febrero	232.57	232.57	232.57	0	0	158.25
Marzo	363.16	363.16	363.16	0	130.59	0
Abril	570.24	570.24	570.24	0	207.08	0
Mayo	703.41	702.41	702.41	1	132.17	0
Junio	780.5	780.5	780.5	1	78.09	0
Julio	1099.48	1099.48	1099.48	1	318.98	0
Agosto	664.46	664.46	664.46	1	0	435.02
Septiembre	796.19	796.19	796.19	1	131.73	0
Octubre	806.39	806.39	806.39	1	10.2	0
Noviembre	952.47	952.47	952.47	1	146.08	0
Diciembre	893.29	893.29	893.29	1	0	59.18
Total	8252.98	8251.98	8251.98	8	1154.92	652.45
			\$14.37	\$187.12	\$4.43	\$20.58
Subtotal costos			\$118,580.90	\$1,496.96	\$5,116.30	\$13,427.42
Costo total	\$138,621.6					

Fuente: QM for Windows

<div> <div> FILE EDIT VIEW TAYLOR MODULE FORMAT TOOLS SOLUTIONS HELP EXIT FULL SCREEN EDIT DATA </div> </div>														
INSTRUCTION: There are more results available in additional windows. These may be opened by using the SOLUTIONS menu in the Main Menu.														
Shortages														
<input checked="" type="radio"/> Not allowed <input type="radio"/> Backordered														
macron planeamiento PL solution														
Optimal cost = \$124,327	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Excess Capacity	Capacity
Enero RegTime	390.82												197.18	588
Enero Overtime													514.5	514.5
Febrero RegTime		232.57											355.43	588
Febrero Overtime													470.4	470.4
Marzo RegTime			363.16										313.04	676.2
Marzo Overtime													514.5	514.5
Abril RegTime				570.24									17.76001	588
Abril Overtime													470.4	470.4
Mayo RegTime					617.4									617.4
Mayo Overtime					86.01								443.1901	529.2
Junio RegTime						617.4								617.4
Junio Overtime						163.1							322	485.1
Junio RegTime							588							588
Junio Overtime							511.48						3.02002	514.5
Agosto RegTime								617.4						617.4
Agosto Overtime								47.06					438.04	485.1
Septiembre RegTime									646.8					646.8

Fig. 4 Costos aplicando una estrategia de producción optimizada con programación lineal (modelo de transporte)

Fuente: QM for Windows

Para el caso de la estrategia con programación lineal con método de transporte, se planteó que la producción sea igual a las ventas y se modifique los niveles de producción mediante uso de sobretiempos o inventario (Figura 4). Los costos de producción se optimizaron hasta llegar a un monto de 124,327 dólares, lo cual a su vez representa un costo mucho menor en comparación con los planes previamente diseñados.

Una vez que todos los costos fueron calculados se procedió a elaborar una tabla comparativa para seleccionar la

estrategia con el menor costo (Tabla V). El modelo de transporte estimó un costo de 124,327 dólares, sin embargo, también evidenció un exceso de capacidad para los primeros meses los cuales no sumaban al costo total. Para el presente estudio se consideró que dicho exceso debía ser costado ya que era personal contratado que no iba a ser despedido. A pesar de ello, el costo por modelo de transporte resultó ser el más económico por lo cual se decidió seguir dicha estrategia de producción.

TABLA V
COMPARACIÓN DE COSTOS POR CADA ESTRATEGIA DE PLAN AGREGADO

Costos/Planes agregados	Nivelación	Sobretiempos	Seg de la demanda	Mod. Transporte
Producción de tiempo regular	\$ 116,584	\$ 106,042	\$ 118,581	\$ 90,944
Producción de tiempo extra		\$ 16,187		\$ 33,383
Inventario	\$ 63,797	\$ 72680		
Escasez	\$ 26,193	\$ 183	\$ 1,497	
Contratos			\$ 5,116	
Despidos			\$ 13,427	
Capacidad no utilizada				\$ 12,368
Totales	\$ 206,573	\$ 195,092	\$ 138,622	\$ 136,694

Una vez seleccionada la estrategia, el plan agregado se implementó durante los meses de febrero a junio del 2021 y se realizó un seguimiento al comportamiento de los costos de producción. En la Figura 5 se puede observar que en el mes de febrero se obtuvo un 11.83% de reducción de costos en lo que representa el 2020, 585.46 dólares menos para el mes de febrero y en el mes de marzo se disminuyó de 2943.15 a 2407.52 dólares. Para los meses de mayo y junio la reducción fue de 13.24% y de 22.08%, respectivamente. La reducción global se determinó en 16.97%.

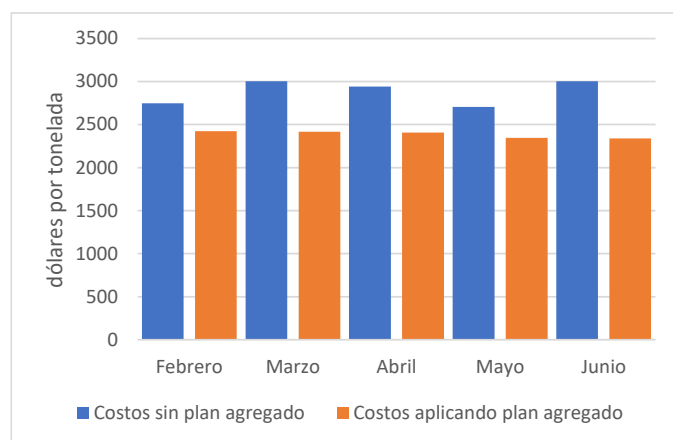


Fig. 5 Efecto sobre los costos de mano de obra directa, materia prima e insumos. Comparación 2020 - 2021

Por otro lado, en la Figura 6 se muestra la reducción de los gastos indirectos de fabricación con un 4.29% para los meses de febrero, marzo y abril. Para los meses de mayo y junio se pudo determinar una reducción de 26.12% y de 52.80%, respectivamente. Con una reducción de 40.62 dólares por tonelada en lo que va la aplicación de la estrategia óptima.

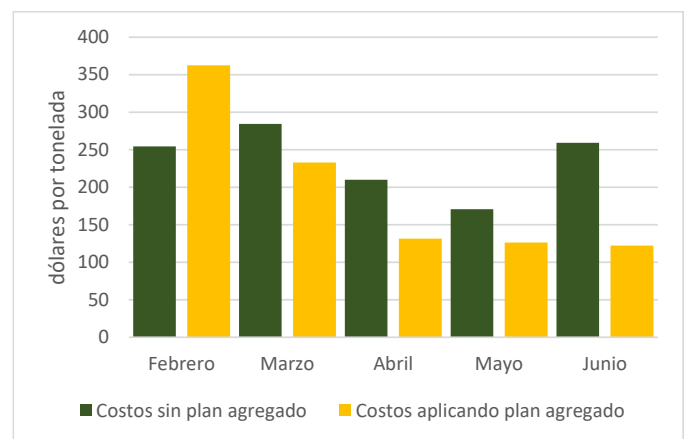


Fig. 6 Efecto sobre los gastos indirectos de fabricación. Comparación 2020 - 2021

Finalmente, la diferencia económica obtenida fue sometida a un análisis inferencial para determinar su significancia. Se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes que comparó la diferencia entre los costos sin

planeamiento agregado y los costos obtenidos utilizando el plan agregado seleccionado. La muestra empírica era de 5 meses por lo que se recurrió a la simulación de datos para estimar un mayor grado de confiabilidad en los resultados. El software estadístico SPSS 28 desarrolló una simulación de muestreo con 999 muestras a partir de la información ingresada y determinó una significancia bilateral de 0.010, es decir, se puede afirmar que existe una diferencia significativa entre los costos sin planeamiento agregado y los costos obtenidos utilizando el plan agregado seleccionado con una probabilidad de error del 1% en dicha aseveración.

TABLA VI
COMPARACIÓN DE COSTOS POR CADA ESTRATEGIA DE PLAN AGREGADO

Diferencia de medias	Sig. Bilateral	Intervalo de confianza al 95%	
		Inferior	Superior
534,07	0,010 ^a	332,1 ^a	705,5 ^a

Nota: a. Basado en 999 muestras simuladas en SPSS 28

VI. CONCLUSIONES

Los resultados permitieron concluir que la aplicación del planeamiento agregado redujo los costos de producción en la empresa pesquera que fue objeto de estudio.

El análisis de costos permitió determinar que los costos directos de producción representaban un volumen importante en el coste total, un 46% que incluía la materia prima y la mano de obra. Respecto a los costos indirectos, se identificó que los gastos indirectos de fabricación, durante el 2020, fluctuaron entre los 105 y 284 dólares por cada tonelada producida.

La estrategia óptima de producción en el mediano plazo se obtuvo mediante la optimización de los costos a través de la utilización de programación lineal con un modelo de transporte. El plan optimizado alcanzó los 136,694 dólares.

La implementación de la estrategia óptima de producción permitió a su vez implementar herramientas de control de la producción y mejorar, de esta manera, la gestión de los costos y la administración de las operaciones de la empresa.

Finalmente se pudo concluir que la planeación agregada tuvo un impacto positivo en la reducción de los costos de producción de la empresa estudiada. Se obtuvo un 16.97% de reducción de costos directos y un 18.36% en cuanto a gastos indirectos de fabricación. Asimismo, se pudo comprobar que dicha diferencia era estadísticamente significativa.

REFERENCIAS

[1] Caicedo, Álvaro Junior; Alvarado, Angélica María Criado; Ramón, Kerly Jorliedhy Morales. Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmeccánica. *Scientia et technica*, 2019, vol. 24, no 3, p. 408-419.

[2] Zuluaga, Carlos Alberto Castro. Planeación de la producción. Universidad EAFIT, 2020.

[3] Ortiz, Alberto. Aplicación del Algoritmo de Búsqueda Gravitacional para Optimizar un Problema de Planeación Agregada de la Producción. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 2020, vol. 8, no 15, p. 1-6.

[4] Bendul, Julia. The design space of production planning and control for industry 4.0. *Computers in Industry*, 2019, vol. 105, p. 260-272.

[5] Ebert, Ronald. Aggregate planning with learning curve productivity. *Management Science*, 2016, vol. 23, no 2, p. 171-182.

[6] Goodman, David. A goal programming approach to aggregate planning of production and work force. *Management Science*, 2017, vol. 20, no 12, p. 1569-1575.

[7] Rojas, María. Contabilidad de costos en industrias de transformación. México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos, 2015. 287 pp.

[8] Pérez, Erik; González, Fernando y Duarte, Carlos. Aplicación de series de tiempo en la realización de pronósticos de producción. Fuentes: El reventón energético, 2016, vol. 14, no 1, p. 79-88.

[9] Delgadillo, Olivia. Pronósticos y series de tiempo de rendimientos de granos básicos en México. *Acta universitaria*, 2016, vol. 26, no 3, p. 23-32.

[10] Song, Jin; Lim, Byunghwan y Joo, Sangwon. Evaluation of rainfall forecasts with heavy rain types in the high-resolution Unified Model over South Korea. *Weather and Forecasting*, 2019, vol. 34, no 5, p. 1277-1293.

[11] Monsalve, Gisela. Planificación de operaciones de manufactura y servicios. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano, 2018, 195 pp.

[12] Gómez, Marcelo. Introducción a la metodología de la investigación científica. Córdoba: Editorial Brujas, 2015. 189pp.

[13] Hernández, Roberto, Fernandez, Carlos y Baptista, Pilar. Metodología de la investigación. 6ª. ed. México: McGraw-hill, 2014. 599 pp.

[14] Robles, Blanca. Población y muestra. *Revista Pueblo Continente*, 2019, vol. 30, no 1, p. 245-247

[15] Baena, Guillermina. Metodología de la investigación. México: Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V., 2014. 144p.