

Refrigerated fleet optimization model for anchovies in a Peruvian fishing company

Javier Alvarado, Ingeniero¹, Fanny Blass, Ingeniero², Gian Vargas, Ingeniero³, and Wilmer Atoche, Magister⁴
^{1,2,3,4}Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú,
jalvarado@pucp.edu.pe, fblas@pucp.edu.pe, gian.vargas@pucp.pe, watoche@pucp.edu.pe

Abstract– This paper shows a linear programming model whose main objective is the conversion of conventional fleets to refrigerated fleets with Refrigerated Sea Water system (RSW), in order to guarantee a better quality in the preparation of anchoveta fishmeal. Likewise, the proposed optimization model contemplates the maximization of profits associated with the increase in the raw materials quality in refrigerated fleets. refrigerated fleets with the RSW system, complying with the costs established for said objective.

Keywords-- Linear programming, refrigerated fleet, optimization, quality.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Modelo de optimización de flotas refrigeradas anchoveteras en una empresa pesquera peruana

Javier Alvarado, Ingeniero¹, Fanny Blass, Ingeniero², Gian Vargas, Ingeniero³, and Wilmer Atoche, Magister⁴
^{1,2,3,4}Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú,
jalvarado@pucp.edu.pe, fblas@pucp.edu.pe, gian.vargas@pucp.pe, watoche@pucp.edu.pe

Abstract– This paper shows a linear programming model whose main objective is the conversion of conventional fleets to refrigerated fleets with Refrigerated Sea Water system (RSW), in order to guarantee a better quality in the preparation of anchoveta fishmeal. Likewise, the proposed optimization model contemplates the maximization of profits associated with the increase in the raw materials quality in refrigerated fleets. refrigerated fleets with the RSW system, complying with the costs established for said objective.

Keywords– Linear programming, refrigerated fleet, optimization, quality.

Resumen– El presente artículo muestra un modelo de programación lineal que tiene como objetivo primordial la conversión de flotas convencionales a refrigeradas con sistema de agua de mar refrigerada (RSW por sus siglas en inglés), a fin de garantizar una mejor calidad en la preparación de harina de pescado de anchoveta. Asimismo, el modelo de optimización propuesto contempla la maximización de las utilidades asociado al incremento de calidad de la materia prima y de la harina de pescado en flotas refrigeradas con sistema RSW, cumpliendo con los costos establecidos para dicho objetivo.

Palabras Claves—Programación lineal, flota refrigerada, optimización, calidad.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el Perú es uno de los principales productores de harina de pescado a nivel mundial, la cual es obtenida luego de retirarle todo el contenido de agua y gran parte de sus grasas y aceites al pescado, quedando luego de este proceso la proteína como parte sólida, la cual es secada y luego molida al grado de una harina.

La harina de pescado en el Perú se fabrica a partir de la anchoveta (*Engraulis ringens*), que es la única especie permitida por el Ministerio de la Producción para este fin. La talla mínima de captura permitida para este recurso es de 12 cm. En otras partes del mundo, como Estados Unidos, se elabora harina de pescado en base a menhaden (30 cm), en Noruega se utiliza el capelán (19 cm) y en Dinamarca se produce a partir del arenque (20 cm).

La harina de pescado está compuesta por: proteína entre 60% y 72% , grasa entre 5% y 12% y un máximo de humedad del 9%; lo que le otorga estabilidad y permite almacenarla y manipularla por un tiempo prolongado dentro de los estándares de la Organización Mundial de Ingredientes Marinos (IFFO) por sus siglas en inglés.

El principal uso de la harina de pescado es la formulación de alimentos balanceados para el desarrollo de actividades, como acuicultura (la principal), avicultura, ganadería, entre otros. De este modo, los nutrientes de la anchoveta son aprovechados por los consumidores a través del consumo de otras carnes que han sido alimentadas con estos ingredientes.

A la fecha, el Perú es el primer productor mundial de harina de pescado, seguido de Tailandia, China, Chile y Estados Unidos, según el último Anuario Estadístico de IFFO. La Sociedad Nacional de Pesquería agrupa a las principales empresas productoras de este ingrediente marino, las que representan el 75% de la producción nacional. Del 2008 a la fecha, las distintas empresas asociadas han invertido importantes sumas de dinero para la mejora de la calidad de la harina de pescado, principalmente en la refrigeración de embarcaciones y el proceso de secado.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE



Fig. 1 Zonas y flotas del litoral peruano. (Oceana 2023)

II. ESTADO DEL ARTE

- En enero de 2009 entró en vigor un nuevo régimen de gestión de cuotas individuales de barcos (CIB) en la mayor pesquería del mundo de una sola especie, la de la anchoveta peruana. Hasta el 2009 la pesquería se gestionaba mediante un sistema regulado de acceso abierto con claros síntomas de carrera por el pescado. Con este nuevo régimen el estado peruano logro detener la carrera por el pescado, reduciendo el número de barcos que participan en esta pesquería y se prolongó la duración de cada temporada de pesca. Además, la implementación de las CIB ha mejorado la rentabilidad de las empresas pesqueras, dando a la producción un valor añadido en la cadena de valor de la anchoveta peruana. La mayor rentabilidad se da por dos aspectos fundamentales, el primero se refiere al uso de menor número de barcos para lograr los mismos volúmenes de pesca y por la mejor calidad de harina lograda al refrigerar la anchoveta, lo que significa mayor valor añadido al producto final que es la harina de pescado. [3]
- El pescado es un alimento perecedero, por lo que es necesario emplear varias estrategias de almacenamiento para aumentar su vida útil, garantizando su seguridad y calidad desde la captura hasta el consumo. A pesar de los avances en las modernas tecnologías de almacenamiento del pescado, la refrigeración y la congelación siguen siendo los métodos de conservación más utilizados a bordo. La presente revisión pretende resumir las estrategias para aumentar la vida útil del pescado fresco (refrigerado) y congelado, ya sea entero, eviscerado o en filetes, lo que implica la evaluación de diferentes condiciones tradicionales de refrigeración y congelación de distintas especies de pescado capturadas en diferentes lugares. Aunque hay otros factores que influyen en la vida útil del pescado, como la especie y el estrés sufrido durante la captura, el tiempo y la temperatura de almacenamiento y la cantidad de hielo son algunos de los más importantes. Además, la forma de almacenar el pescado (entero, en filetes o eviscerado) también contribuye a la calidad final del producto. En la mayoría de los estudios, el pescado entero refrigerado y congelado presenta una vida útil más larga que el conservado

eviscerado y en filetes. Sin embargo, hay que tener en cuenta otros factores relacionados con el organismo, el método de captura y el transporte hasta la industria de preparación y transformación para prolongar la vida útil. [4]

La refrigeración y la congelación del pescado siguen siendo los métodos de conservación más utilizados a bordo. Se trata de métodos para mantener la calidad del pescado mediante bajas temperaturas, que incluyen el almacenamiento refrigerado entre 0 °C y 4 °C o el almacenamiento congelado entre -18 °C y -40 °C. La refrigeración del pescado puede consistir en la aplicación de la tecnología de súper enfriamiento -1°C, que permite que los productos estén menos disponibles para los procesos de deterioro, debido a la congelación de la menor parte del contenido de agua del producto (5-30%). Este método permite evitar el uso de hielo externo alrededor del producto, con la consiguiente reducción del peso y el coste del transporte, así como una vida útil más larga que la de los alimentos refrigerados debido a la reducción de la actividad microbiana. [4]

Durante el almacenamiento del pescado, compuestos volátiles como el amoníaco (NH₃) y la trimetilamina (TMA), son producidos por procesos autolíticos y bacterianos, dando lugar a un olor amoniacal y fuerte a pescado, típico del pescado deteriorado. La determinación del nitrógeno volátil total (TVBN) para evaluar la frescura del pescado tiene en cuenta todos los compuestos nitrogenados volátiles de la muestra, es decir, los niveles de NH₃, TMA y ácido dimetilamínico (DMA) que aumentan a lo largo del proceso de deterioro. Este es el método de análisis para medir la frescura que se usa en la industria pesquera de anchoveta peruana. [4]

- Hoy en día, debido a que la empresa no se considera un ente cerrado sino un sistema abierto, las empresas se han visto en la necesidad de integrar toda la cadena de valor del producto, desde el abastecimiento de la materia prima, hasta la adquisición por parte del cliente final (Croom, Romano, & Giannakis, 2000; Jack & Raturi, 2002), lo que ha provocado que la competencia sea entre cadenas de suministro; por tal motivo, el diseño de redes de distribución se convierte en un factor determinante a la hora de obtener ventajas competitivas en un entorno saturado de incertidumbre y riesgo. Sin embargo, una buena localización de los agentes dentro de la red de distribución permite lograr un mayor nivel de servicio al cliente, a la vez que se reducen costos asociados a distancia y tiempos de operación (Ardalan, Karimi, Naderi, & Khamseh, 2016). Mousazadeh, Torabi, y Zahiri (2015) desarrollan un modelo de programación lineal entera mixta bi-objetivo [Mixer Integer Linear Programming, MILP] para un problema de diseño de redes de cadena de suministro farmacéutica. El modelo ayuda a tomar varias decisiones sobre cuestiones estratégicas tales como la apertura de los centros de fabricación de productos farmacéuticos y los centros de distribución, teniendo en cuenta que el material óptimo fluye sobre un horizonte de planificación a mediano plazo. Su objetivo es

minimizar al mismo tiempo los costos totales y las demandas insatisfechas. [7]

De este modo, se establece los objetivos principales del presente caso, los cuales son: reducir costos y darle mayor valor al producto y de esta forma maximizar la utilidad. Otro objetivo secundario es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por la menor descomposición de la materia prima.

III. PROBLEMÁTICA

A. Descripción de la Problemática

La empresa CFG-Copeinca cuenta con dos procedimientos importantes enfocados a la calidad de la materia prima y por ende a la calidad de la harina después del proceso de fabricación de este producto. El primer proceso tiene que ver con la extracción de la materia prima, en este se califica al barco en dos tipos, los que tienen RSW y los que no tienen o los llamados convencionales. Para los que no tienen bodega refrigerada hay recomendaciones operativas para que estos barcos no se queden en zona de pesca con la materia prima con más de 12 horas de haberlas capturado, esto permite rescatar algo de calidad SP+P y para los barcos que tienen sistema de RSW hay instrucciones detalladas para preservar el pescado en temperaturas de hasta -1°C, conocido como súper enfriamiento, lo que permite a estos barcos pescar más tiempo y lograr mejores rendimientos. [1]

En el otro proceso que es la producción de la harina y aceite de pescado, se usa el análisis de la materia prima mediante la medición de TVBN, para lo cual todas las plantas cuentan con equipos de gran capacidad que analizan este complejo parámetro en segundos en la cantidad de muestras que sean necesarias. Estos datos optimizan el proceso de producción con la finalidad de obtener el máximo de calidad de harina.

Los procedimientos mencionados son: GAC-COR-003 Manual de BP sanitarias y de calidad - embarcaciones V04, y GAC-PRO-004 Muestreo y Evaluación de Materia prima V07. [1]

La empresa CFG-Copeinca ha crecido por medio de la compra de otras empresas y de fusiones. En la actualidad, su flota anchovetera está compuesta de 47 barcos, de los cuales solo 21 de ellos cuentan con bodegas refrigeradas mediante el sistema RSW, las otras 26 embarcaciones tienen bodega sin refrigerar, llamadas convencionales.

¿Cómo funciona el sistema RSW?

Los barcos llenan las bodegas con el 25% de agua de mar y luego la enfrían en la planta de RSW (sistema de refrigeración en circuito cerrado compuesto por compresor de amoníaco, condensador y evaporador), el agua colectada en las bodegas se recircula por el evaporador y bodega hasta que la temperatura inicial baja de entre 18 a 20 °C hasta -1°C. En estas condiciones

las bodegas reciben la pesca, la mezcla sube a 12°C y nuevamente el agua se recircula por el evaporador hasta que la mezcla agua pescado llegue a -1°C. Este proceso minimiza la descomposición del pescado, logrando que dure de 48 a 52 horas, tiempo suficiente para procesarla y lograr calidades de harina super prime (SP) y prime (P) al 100%.

Con los barcos convencionales la pesca solo dura entre 10 a 12 horas y con esa materia prima se puede lograr a lo más el 40% de harina prime y 10% de super prime; pasado ese tiempo solo se logra harina estándar.

Si se considera el precio promedio de las harinas SP + P y se compara con el promedio de las harinas de menor calidad agrupadas en la calidad estándar, la diferencia entre ellas llega hasta \$ 200.00 dólares por tonelada. Por tanto, la mayor ganancia de la empresa se da cuando se logra el mayor porcentaje de producción de harina SP + P versus las agrupadas de tipo estándar. En conclusión, se logra mayor valor agregado al producto.

B. Análisis de Datos

Razones por las cuales la flota anchovetera industrial peruana tiene pocos barcos con bodegas refrigeradas

Antes del 2,009 la cuota nacional de pesca de anchoveta era una sola para repartirse entre todas las empresas, por ende, las empresas con mayor cantidad de bodega neta eran las que lograban la mayor cuota. La refrigeración de la anchoveta usa 25% de agua en la bodega, lo cual significa 25% menos de pescado, eso en el sistema de cuota única era inviable, porque implicaba traer un cuarto de bodega de agua en vez de pescado. En este escenario en el Perú se producía 30% de harina SP+P y 70% de harina estándar.

A partir del año 2,009, se promulgó la ley de cuotas individuales, con lo cual todas las empresas dieron de baja hasta el 40% de su flota (Copeinca dio de baja a más de 35 barcos quedándose solo con 47), los cuáles eran suficientes para pescar la cuota propia equivalente al 16.9% de la cuota nacional.

En consecuencia, recién a partir del año 2,009 se empezó a refrigerar la anchoveta, dado que rápidamente los armadores del sector pesquero observaron que se producía una mejor calidad de harina. Las empresas han ido implementando plantas de refrigeración en sus respectivos barcos que, en su mayoría, no contaban con el sistema RSW, en este entorno CFG Copeinca ha logrado a la fecha 21 barcos con este sistema. En la actualidad, el Perú ha pasado a producir 70% de harina SP+P y sólo 30% de harina estándar, porcentajes opuestos a los logrados antes de la ley de cuotas.

El reto de CFG-Copeinca y de las otras empresas es aumentar la cantidad de embarcaciones con bodega refrigerada, para lo cual se debe buscar el número óptimo de acuerdo a la

estrategia de negocio de cada empresa; hay un límite de comercio de harina SP+P ya que la harina estándar también es requerida por los clientes. Nuestra empresa desea lograr una producción de 80% de harina SP+P y 20% de estándar para poder cumplir con los compromisos con los clientes. Los promedios actuales son 67% de SP+P y 33% de estándar.

Para este fin se contemplaron diversos datos en un periodo de tiempo de análisis equivalente a dos temporadas de pesca de anchoveta, cabe resaltar que durante un año se dan dos de estas temporadas, respetando siempre los límites establecidos por el estado peruano, la cuota de cada empresa, la veda de pesca, entre otras.

Los datos que se contemplaron principalmente fueron:

- Cantidad de cada tipo de embarcación (con y sin sistema de refrigeración)
- Costos involucrados para la fabricación de harina
- Costos de venta de la harina
- Costos de operaciones por cada tipo de embarcación
- Cantidad de pesca permitida por temporada
- Cantidad de pesca calidad SP+P y estándar extraída por cada tipo de barco
- Precio de venta por cada tipo de harina

Estos datos fueron usados para determinar la cantidad óptima de barcos que deben contar con el sistema de refrigeración para así poder obtener una máxima ganancia y cumplir también con la meta propuesta de la empresa de tener una producción de 80% de harinas SP+P y 20% de harina estándar.

IV. METODOLOGÍA

La metodología que se empleó fue la Programación Lineal, Dantzig y Thapa (1997) definen a la programación lineal como una técnica de minimización o maximización de una función objetivo lineal de variables sujetas a restricciones (sean igualdades o desigualdades). En este caso específico se han considerado las restricciones dadas por los datos mencionados y el valor de respuesta que se obtuvo sirve como una base para mejorar la situación de la empresa CFG Copeinca.

- *Programación Lineal:*

Según Martínez, López & Vertiz (2014), la programación lineal constituye una de varias herramientas importantes que influyen en la formación de ingenieros y administradores, gracias a que esta posee diversas aplicaciones en la práctica, por ejemplo, en los sectores industrial, económico y militar, entre otros; así como en áreas como mercadotecnia, finanzas, administración de la producción y más. Algunos de los problemas que se han estudiado mediante el empleo de esta son, entre otros, programación de la producción, selección de

medios publicitarios, planeación financiera, presupuestos de capital, transporte, ubicación de plantas, mezcla de productos y asignación de personal. [8]

Asimismo, Pérez & Merino (2013), detalla en su artículo que la programación lineal es una técnica matemática que permite la optimización de una función objetivo a través de la aplicación de diversas restricciones a sus variables, siendo lo que lo hace un modelo compuesto que consta de una función objetivo y sus restricciones, constituyéndose todos estos componentes como funciones lineales en las variables en cuestión.[9]

Uno de los grandes ejemplos del gran aporte de la programación lineal ocurrió durante la segunda guerra mundial. A pesar de que se mantuvo en secreto, esta metodología fue utilizada como mecanismo principal para poder gestionar y planificar todos los gastos, a fin de gestionar mejor los recursos propios y reducir lo máximo posible los costos del ejército.

Cabe resaltar que el objetivo primordial de la programación lineal es optimizar, ya sea minimizar o maximizar funciones lineales en varias variables lineales con restricciones lineales, optimizando de este modo el objetivo también lineal. Los resultados y el proceso de optimización se convierten en una base cuantitativa del proceso de toma de decisiones frente a las situaciones planteadas.



Fig. 2 Representación del modelo de PL

V. DESARROLLO DEL MODELO

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo principal para la empresa es incrementar o maximizar la producción a un 80% de harina SP+P y 20% de estándar. Considerando que en la actualidad la proporción de producción es de 67% de SP+P y el 33% de estándar, lo cuál es el resultado de las operaciones de pesca de sólo 21 barcos con RSW y 26 barcos convencionales, se determinó mediante la Programación Lineal Entera la cantidad óptima de barcos con RSW (Refrigeración de agua de mar) para lograr el objetivo planteado.

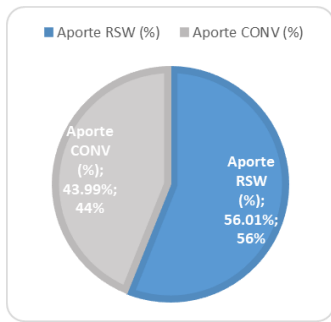


Fig. 3 Aporte de pesca según tipo de barco (Copeinca 2022).

De la cuota anual de pesca nacional de 4.5 millones de toneladas de anchoveta, CFG-Copeinca tiene el 16.9% de participación de esta, por tanto, al año la empresa debe pescar 760,500 toneladas con los 47 barcos.

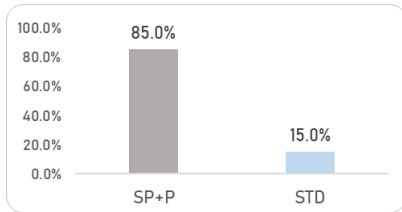


Fig. 4 Aporte de calidad de flota RSW (Copeinca 2022)

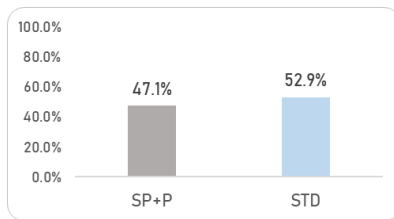


Fig. 5 Aporte de calidad de flota Convencional (Copeinca 2022)

De los porcentajes de aporte de cada tipo de flota se obtuvo los valores en toneladas de pesca de la flota con RSW y el promedio obtenido por cada barco y lo mismo se hizo para la flota convencional.

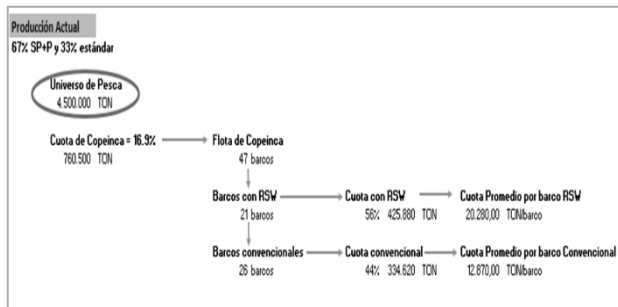
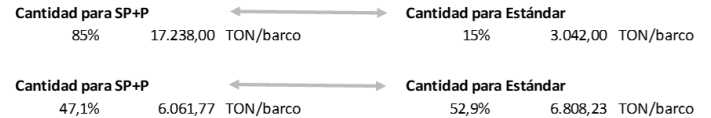
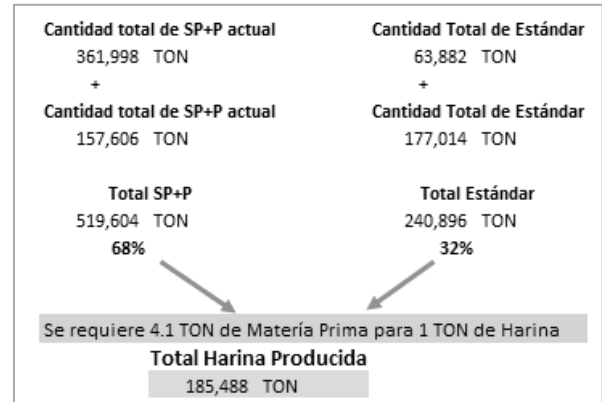


Fig. 6 Pesca anual por tipo de barco

Aporte de cada tipo de barco de pesca SP+P y de estándar:



Se observa, en la representación precedente, la cantidad total de las toneladas obtenidas en cuanto a los dos tipos de harina de pescado almacenadas por las flotas convencionales y las refrigeradas con sistema RSW.



En la siguiente tabla 1, se presentan los datos exactos obtenidos de la data histórica en relación a los ingresos anuales de CFG Copeinca, en la cual se visualiza la cantidad de toneladas de harina de pescado de ambos tipos de acuerdo a las flotas asignadas para el transporte a los centros de distribución, así como también los ingresos totales por flota convencional y con sistema RSW.

Tabla 1. Ingresos Anuales (Copeinca 2022)

Ingresos anuales		
Ítems	Descripción	Variables
1	Pesca Total	
2	Pesca SP+P flota RSW (Ton)	17,238.00 X1
3	Pesca estándar flota RSW (Ton)	3,042.00 X1
4	Pesca SP+P flota Convencional (Ton)	6,061.77 X2
5	Pesca STD flota Convencional (Ton)	6,808.23 X2
6	Ratio Peso de pesca vs peso de harina	4.1
7	Harina SP+P de flota RSW (ton)	4,204.39 X1
8	Harina STD de flota RSW (ton)	741.95 X1
9	Harina SP+P flota Convencional (ton)	1,478.48 X2
10	Harina STD flota Convencional (Ton)	1,660.54 X2
11	Precio Harina SP+P (\$/ton)	1,712
12	Precio Harina STD (\$/ton)	1,518
13	Ingreso por Harina SP+P de flota RSW (\$)	7,197,916 X1
14	Ingreso por Harina STD de flota RSW (\$)	1,126,282 X1
15	Ingreso Total por flota RSW	8,324,198 X1
16	Ingreso por Harina SP+P de flota convencional (\$)	2,531,159 X2
17	Ingreso por Harina STD de flota convencional (\$)	2,520,706 X2
18	Ingreso Total por flota Convencional	5,051,864 X2

Tabla 2. Costos Anuales (Copeinca 2022)

Costos Anuales	Valores
1 Costo variable flota RSW (\$/Ton)	76.2
2 Costo fijo flota RSW (\$/Ton)	54.3
3 Costo total flota RSW (\$/Ton)	130.5
4 Costo total flota RSW (\$)	2,646,540 X1
5 Costo variable flota convencional (\$/Ton)	67.5
6 Costo fijo flota convencional (\$/Ton)	48.2
7 Costo total flota convencional (\$/Ton)	115.7
8 Costo total flota convencional (\$)	1,489,059 X2
9 Costos de producción y ventas	
10 Costo de producción de harina (\$/Ton)	196
11 Costo de ventas de harina (\$/Ton)	58

La tabla 2, muestra los costos anuales en dólares por tonelada empleados para cada una de las flotas, ya sean para las embarcaciones convencionales o refrigeradas. Siendo estos valores los factores principales para definir nuestra función objetivo en relación a la maximización de utilidades obtenidas por flota, de acuerdo al siguiente detalle económico:

Utilidad por flota RSW (\$)	\$ 4,421,287	X1
Utilidad por flota Convencional (\$)	\$ 2,765,493	X2

Planteamiento del modelo de PL

Definición de variables:

X1: Número de barcos con sistema RSW

X2: Número de barcos convencionales

Con una flota total de 47 barcos para el presente estudio, se planteó el siguiente modelo de PL.

Función Objetivo (Maximizar Utilidades)

$$\text{MAX } 4421287X1 + 2765493X2$$

Cantidad de Barcos

$$X1 + X2 \leq 47$$

$$X1 > X2$$

$$X1 > 21$$

$$X2 < 26$$

Pesca total

$$20,280 * X1 + 12,870 * X2 = 760,500$$

Harina SP+P

$$17,238 * X1 + 6,061.77 * X2 = 608,400$$

Harina Estándar

$$3,042 * X1 + 6,808.23 * X2 = 152,100$$

Rango de Existencia

$$X1, X2 \geq 0$$

X1, X2 son enteros

Finalmente, se propuso el siguiente modelo de optimización de PL, en el cual se tomó en cuenta cada uno de los datos necesarios para el cumplimiento de las restricciones establecidas por la alta gerencia, además de los valores en dólares y toneladas acompañados de las variables establecidas para obtener el resultado final del presente modelo, haciendo uso de uno de los softwares más utilizados para este tipo de problemas de toma de decisiones.

Uso de Lindo:

(Mata, 2015) Es un intuitivo programa o software para resolver problemas de optimización matemática, en particular de programación lineal (continuos, enteros y binarios).

Es por ello, que al tratarse de un problema de programación lineal, se optó por emplear el software LINDO, a fin de obtener una respuesta más acertada.

```

MAX      4421287 X1 + 2765493 X2
SUBJECT TO
2)      X1 + X2 <= 47
3)      X1 - X2 >= 0
4)      X1 >= 21
5)      X2 <= 26
6)      20280 X1 + 12870 X2 <= 760500
7)      17238 X1 + 6061.77 X2 <= 608400
8)      3042 X1 + 6808.23 X2 <= 152100
END
GIN      2
    
```

Fig. 7 Formulación del modelo de PL en LINDO

VI. RESULTADOS

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	0.1636051E+09	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	32.000000	-4421287.000000
X2	8.000000	-2765493.000000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	7.000000	0.000000
3)	24.000000	0.000000
4)	11.000000	0.000000
5)	18.000000	0.000000
6)	8580.000000	0.000000
7)	8289.839844	0.000000
8)	290.160156	0.000000
NO. ITERATIONS=	13	
BRANCHES=	4	DETERM. = 1.000E 0

Fig. 8 Resultados del modelo de PL en LINDO

El modelo fue planteado y resuelto en LINDO, en la Fig. 8 se resumen los principales resultados del modelo. Se observa como solución óptima en cumplimiento con las restricciones establecidas, siendo $X1 = 32$ y $X2 = 8$. Es decir, se necesitan 32 barcos con RSW y solo 8 convencionales.

Se tiene que esta propuesta logra dar el resultado del incremento del número de barcos con bodega refrigerada para mejorar la calidad y traslado de las toneladas de harina de pescado producidas de la pesca de la anchoveta.

VII. CONCLUSIONES

- El resultado determino que con solo 40 barcos, 32 con RSW y 8 convencionales, se puede lograr las metas de utilidad y cantidad de harina de alta calidad, pero la realidad es que no todos los años se pesca igual, se recomienda trabajar con 10 barcos convencionales de tal manera se tenga un factor de seguridad ante cualquier emergencia.
- Si bien es cierto, la conversión de un barco tradicional a uno con RSW es una inversión alta, se evidencia que la utilidad supera el costo de esta transformación.
- Aumentando la cantidad de barcos con RSW se dejarían de usar barcos convencionales debido a que se tiene una cantidad fija de MP que se puede pescar por temporada.
- Los resultados reflejan la utilidad de la metodología en una aplicación real. Esta es una herramienta practica para mejorar la toma de decisiones.

REFERENCIAS

- [1] CFG-COPEINCA <https://www.linkedin.com/company/copeinca/?originalSubdomain=pe>. <https://www.facebook.com/CFGInvestmentCopeincaOficial/>. GAC-PRO-004 Muestreo y Evaluacion de Materia prima v.07 y GAC-COR-003 Manual de BP sanitarias y de calidad - embarcaciones V04
- [2] Instituto Del Mar del Peru, IMARPE, <https://www.gob.pe/imarpe>
- [3] TVETERAS, S., PAREDES, C. E., & PEÑA-TORRES, J. (2011). Individual Vessel Quotas in Peru: Stopping the Race for Anchovies. *Marine Resource Economics*, 26(3), 225–232. <https://doi.org/ezproxybib.pucp.edu.pe/10.5950/0738-1360-26.3>.
- [4] Quality assessment of chilled and frozen Fish—Mini review. (2020). *Foods*, 9(12), 1739. <https://doi.org/10.3390/foods9121739>
- [5] Dantzig, G. & Thapa, M. (1997) *Linear Programming 2: Theory and extensions* (1a. ed.). Nueva York, USA: Springer.
- [6] Pesca de Anchoveta – Zonas y Flotas del Litoral Peruano <https://peru.oceana.org/blog/hacia-el-manejo-integral-de-la-pesca-de-anchoveta-por-primera-vez-se-da-cuota-para-el-consumo/>
- [7] Paredes, A. M., Peláez, K. A., & Alarcón, D. R. (2016). Diseño de una red de distribución de productos perecederos teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad. *Ingenium*, 10(28), 11-17 <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/789/Diseño%20de%20una%20red%20de%20distribución%20de%20productos%20percederos%20teniendo%20en%20cuenta%20criterios%20de%20sostenibilidad.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- [8] Martínez, I., López F., & Vertiz G. (2014). *Investigación de Operaciones: Serie Universitaria Patria U.2* (pg. 34)
- [9] Pérez, J., & Merino, M., (2013). *Definición de programación lineal*. <https://definicion.de/programacion-lineal/>