

Diseño de instrumento aplicado a la optimización del proceso de sardina monterrey (*Sardinops sagax*) empleando correlación morfométrica

Instrument design applied optimization of the Monterrey sardine (*Sardinops sagax*) process using morphometric correlation

Ángel E. Flores Ramírez ^a, José I. Aguilar Carrasco ^b, Roberto Arvizu Acosta ^c

Abstract:

As a basis for this research, a bibliographic review was conducted where topics such as sardines are addressed from a biological perspective, their cycles, capture methods, and statistical treatment. This documentation is necessary to relate knowledge and bring it to practical development during execution. of the Monterrey sardine process, the weightiest decision making is to determine the path that the product will take, thus originating the main objective as: establishing an instrument that uses morphometric compensation for the optimization of the Monterrey sardine (*Sardinops sagax*) process. During the realization, it was possible to establish the importance of size sampling, propose a size standard for its handling in the market, and design an instrument that relates and standardizes the morphometric characteristics of the sardine, with a 36.92% reduction in time compared to the current method.

Keywords:

Sardine, optimization, correlation, design, instrument.

Resumen:

Para darle base a esta investigación se realizó una revisión bibliográfica donde se abordan temas como la sardina desde un enfoque biológico, sus ciclos, métodos de captura y el tratamiento estadístico, esta documentación es necesaria para relacionar conocimiento y llevarlos a un desarrollo práctico durante la ejecución del proceso de sardina monterrey, la toma de decisión más importante es determinar el camino que tomará el producto, originando así el objetivo principal como: establecer un instrumento que utilice la correlación morfométrica para la optimización del proceso de sardina monterrey (*Sardinops sagax*). Durante la realización se logró establecer la importancia del muestreo de tallas, proponer un estándar de tallas para su manejo en el mercado y el diseño de un instrumento que relaciona y estandariza características morfométricas de la sardina, con una reducción de tiempos 36.92% en comparación con el método actual.

Palabras Clave:

Sardina, optimización, correlación, diseño, instrumento.

Introducción

La sardina Monterrey (*Sardinops Sagax*) forma parte de la familia *Clupeidae*, presenta una amplia distribución en la costa oriental del Océano Pacífico desde el Sur de Alaska hasta en las costas de Baja California Sur, México, siendo en esta zona donde su reproducción se ha registrado desde las aguas de la región de área de Bahía Magdalena y en el interior del Golfo de California

(SAGARPA, 2015). Esta especie puede identificarse como un producto versátil para consumo humano debido a su alto contenido graso y proteico, además puede ser transformada en harina que se utiliza como complemento alimenticio para ciertas especies animales o como fertilizante para suelos agrícolas.

^a Autor de Correspondencia, Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico Superior de Cd. Constitución, Cd. Constitución, Baja California Sur, México, <https://orcid.org/0009-0006-5924-4941>, Email: angel.fr@cdconstitucion.tecnm.mx

^b Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico Superior de Cd. Constitución, Cd. Constitución, Baja California Sur, México, <https://orcid.org/0000-0002-5498-5752>, Email: jose.ac@cdconstitucion.tecnm.mx

^c Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico Superior de Cd. Constitución, Cd. Constitución, Baja California Sur, México, <https://orcid.org/0000-0003-2010-6147>, Email: roberto.aa@cdconstitucion.tecnm.mx

La captura de esta especie se realiza en embarcaciones de entre 140 y 180 toneladas de capacidad en bodega y están equipadas con red de cerco con jareta (SADER, 2017) de forma que el producto cuenta con un control de temperatura para asegurar su calidad. En México la pesca de esta especie se ha realizado desde hace varias décadas en aguas cálidas dentro de su ruta de apareamiento, en específico dentro del Océano Pacífico y cercano a las costas de Bahía Magdalena y en el Golfo de California como se indica en la imagen 1, donde destaca la pesquería en esta última zona ya que registra los mayores volúmenes de captura, flota y planta industrial de su género, por lo que es una importante fuente de empleos directos e indirectos en la región (Gutiérrez *et al*, 2019).

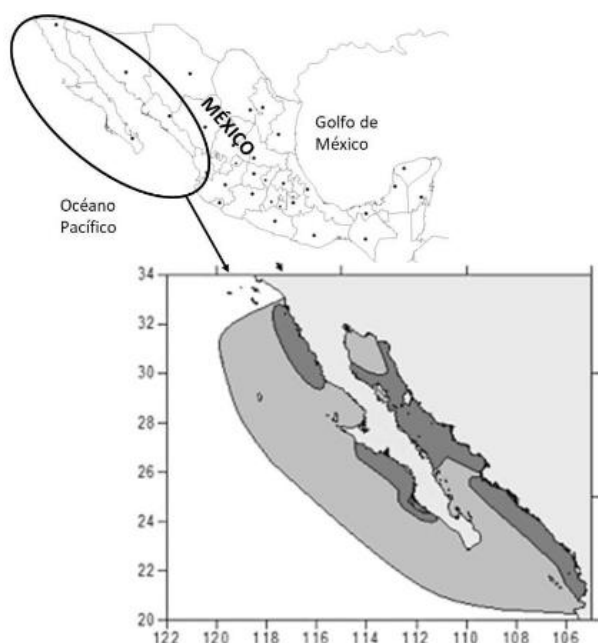


Figura 1. Zonas de pesca de especies pelágicas menores en el noroeste de México. Fuente: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5697452&fecha=03/08/2023#gsc.tab=0

Generalmente el 85% de la sardina Monterrey capturada se destina a la elaboración de harina y aceite, mientras que el 15% se destina para su consumo en presentación de forma enlatada o congelada (SAGARPA, 2015). Esta decisión está en función de la talla promedio del producto al momento de su captura, por lo que esta característica determina la ruta que tomará dentro de su procesamiento, ya que, al ser menor a 80 gramos, por lo general, es demasiado pequeña para su aprovechamiento para consumo humano, sin embargo es apta para su transformación en otro tipo de producto, además, al ser un producto perecedero sensible a las altas temperaturas es necesario que la decisión de mandar el producto a transformación en harina o consumo humano se realice lo antes posible después de su recolección en el sitio de pesca.

La calidad de un producto o servicio y su relación con la satisfacción que produce al cliente es lo que puede determinar en buena medida el éxito o fracaso de una compañía, siendo las técnicas estadísticas herramientas vitales para mantener y mejorar continuamente los procesos de control de calidad tratando de reducir la variabilidad en cuanto a las especificaciones de control (Gutiérrez, 1996). Partiendo de este precepto, en la presente investigación se plantea un modelo estadístico de regresión lineal múltiple y el diseño de un instrumento tipo regleta que permita predecir la talla de la sardina capturada en función de sus características morfológicas longitud-peso-grosor con la finalidad de hacer más dinámica la toma de decisiones, eliminar tiempos de espera, fuga de recursos y facilitar la gestión de la calidad durante su procesamiento.

Materiales y métodos

El dispositivo propuesto se basó en un análisis estadístico de regresión lineal múltiple, para darle más certidumbre al momento de realizar una medición, por lo mismo se desarrolló de acuerdo con las siguientes actividades:

Delimitación del proceso antes del dispositivo

A pesar del conocimiento previo del proceso, fue necesario establecer un estándar de la situación actual del mismo. La información respecto al flujo del proceso se obtuvo con la observación de este durante todo este análisis, por otro lado, el rango de tallas se seleccionó tomando en cuenta el criterio de las personas encargadas del control de calidad en distintas empresas sardineras de la región.

Un aproximado de los tiempos actuales de respuesta por parte del departamento de control de calidad se obtuvieron sondeando la percepción de este con una encuesta.

Recolección de datos

Para darle soporte estadístico a la recolección de datos, se realizó el cálculo de muestra basado en un análisis previo a la realización de esta investigación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Tomando este número de muestra como base se realizó la recolección de los datos para 3 variables morfológicas de la sardina monterrey (grosor, peso y longitud), utilizando el formato propuesto en el anexo 2.

Las medidas se tomaron de acuerdo con la longitud estándar o patrón de la sardina monterrey, establecidas en la NOM-003-SAG/PESC-2018.

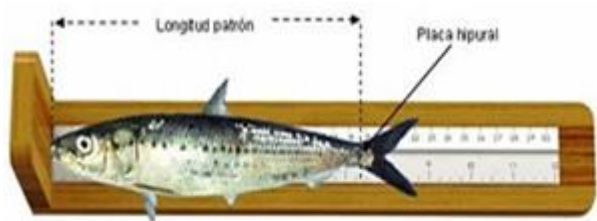


Figura 2. Forma de medir la longitud patrón según la NOM-003-SAG/PESC-2018. Fuente: Elaboración propia.

Para medir el grosor de la sardina se consideró la morfología de un pelágico menor tomando como referencia las aletas dorsal y ventral.

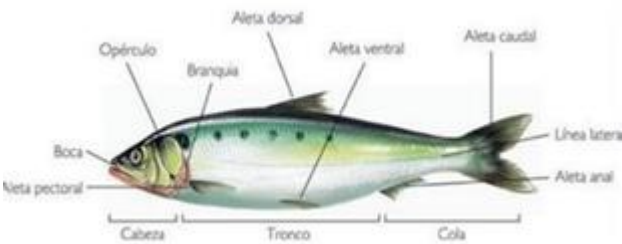


Figura 3. Morfología de un pelágico menor. Fuente: Elaboración propia.

Análisis de datos

Se relacionaron las variables longitud (X₁), grosor (X₂) y peso (Y) siguiendo la técnica para regresión múltiple formulada por (Moreno Sarmiento, 2004) y con ayuda del software Excel para todos los datos obtenidos y sus combinaciones (grosor 1, peso, longitud; grosor 2, peso, longitud), teniendo como base el siguiente razonamiento: Variable dependiente: peso de la sardina. Variables independientes: longitud, grosor transversal, grosor longitudinal.

Diseño del dispositivo

Se basó el diseño del dispositivo en la ecuación con mayor porcentaje de correlación y menor dificultad al utilizarse, empleando el software Autodesk AutoCAD 2024 para realizar la secuencia de diseño: diseño 2D, base del diseño 3D, diseño 3D con detalles y señalizaciones propias de la ecuación.

Evaluación del dispositivo

De acuerdo con lo planteado anteriormente se decidió tomar una muestra de 50 piezas para evaluar el dispositivo. Estas piezas fueron medidas y pesadas una

por una de acuerdo con el método que se pretende sustituir y de igual manera con el dispositivo, adjuntando además las acciones necesarias para el registro de las mediciones. Se comparó el tiempo total de cada prueba de acuerdo con la siguiente deducción:

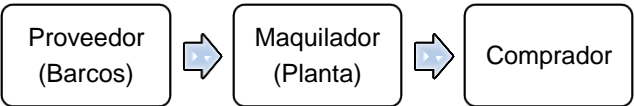
% de reducción de tiempo = 1 - $\frac{\text{Tiempo de medicion con el dispositivo}}{\text{Tiempo de medicion con el metodo actual}}$

Resultados y discusión

Entre los resultados obtenidos durante la realización del análisis se tienen:

a. Entidades involucradas

Entre las entidades involucradas en el proceso de sardina monterrey” se lograron observar 3, como se indica en la figura:



Esquema 1. Entidades involucradas en el proceso de sardina monterrey. Fuente: Elaboración propia.

Cada una de las entidades involucradas cuenta con un departamento de control de calidad que se encarga de salvaguardar sus intereses y la integridad del producto, además, las 3 entidades involucradas comparten el interés en un instrumento que optimice la toma de decisión al reducir los tiempos de ejecución del muestreo de tallas, puesto que cada una de ellas considera este análisis como fundamental e importante en el proceso de sardina monterrey.

b. Sondeo de percepción del muestreo de tallas en el departamento de calidad

De la encuesta realizada, misma que se realizó utilizando la plataforma Forms de Google (<https://forms.gle/Q6K2CT4GaoAatT9GA>), se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2. Conclusiones obtenidas de la encuesta a la percepción para personas involucradas en el control de calidad del proceso de sardina monterrey. Fuente: Elaboración propia.

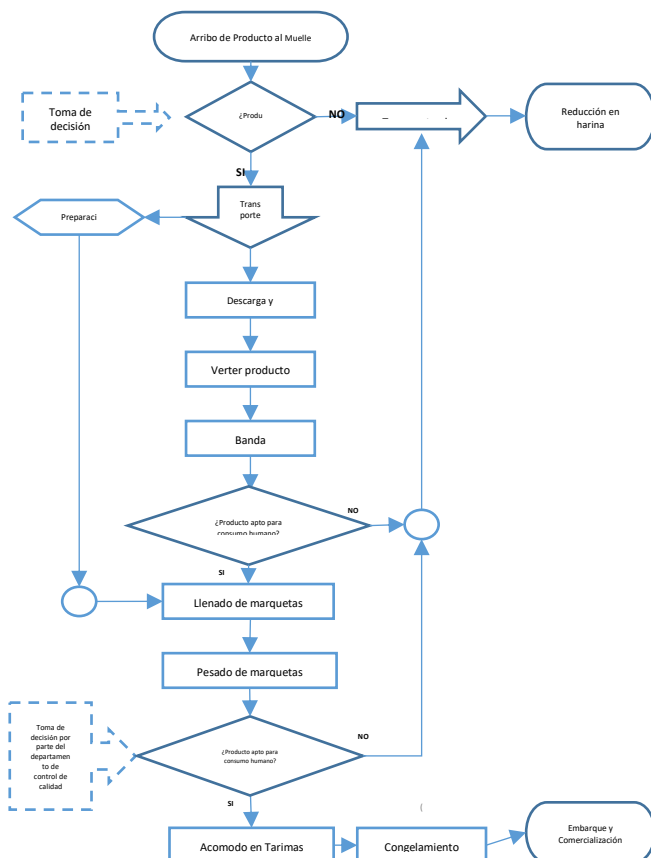
No.	Resultados
1	El 100% de los encuestados realiza al menos un muestreo de tallas por cada proceso.

2	La duración promedio de un muestreo de tallas es de 20.83 min.
3	El 100% de los encuestados considera que el muestreo de tallas es muy importante para el control de calidad.
4	El 50% de los encuestados inicia el muestreo en la recepción del producto y lo complementa durante el proceso; el 16.7% durante la recepción del producto en el muelle; el 16.7% en la planta antes del proceso y el 16.7% en la planta durante el proceso.

c. Flujo de actividades en el proceso de sardina monterrey

d.

El proceso de producción de la sardina monterrey (*Sardinops sagax*) con la implementación del uso del dispositivo se plasma gráficamente de acuerdo al Esquema 2, en el se muestran los puntos críticos de control del proceso incluyendo aquellas etapas donde es más factible la implementación del dispositivo en cuestión.



Esquema 2. Diagrama de flujo del proceso de sardina monterrey entera con la implementación del dispositivo para el control de calidad. Fuente: Elaboración propia.

d. Estándar de tallas

El estándar de tallas que se propuso utilizar y en el que está basado el instrumento es el siguiente:

Tabla 3. Estándar de tallas base para el instrumento, Fuente: Elaboración propia.

ESTÁNDAR	RANGO	
	PESO	LONGITUD
XS	< 80 gramos	150 a 173 mm
S	80 a 100 gramos	174 mm a 186 mm
M	101 a 130 gramos	187 mm a 202 mm
L	131 a 150 gramos	203 mm a 213 mm
XL	>150 gramos	≥ 214 mm

e. Base de datos

El cálculo del tamaño de muestra necesaria se realizó tomando en cuenta la experiencia y datos obtenidos previos al desarrollo de esta investigación (experiencia laboral previa) siguiendo la metodología propuesta por Fuentelsaz Gallego (2004).

Dando como resultado el tamaño de la muestra mínima de 138 piezas, pero para fines prácticos se recomienda una muestra de 15 kg, que a su vez es el peso solicitado por el cliente por cada marqueta de sardina monterrey congelada.

Tabla 4. Tamaño de muestra mínimo para el muestreo de talla por proceso. Fuente: Elaboración propia.

TAMAÑO DE MUESTRA		
PIEZAS	G	KG
138	14228.06	14.2

Se recolectaron los datos de 267 especímenes que de acuerdo con el análisis de regresión lineal realizado con el software Excel dio como resultado la siguiente ecuación:

$$Y = 1.8X_1 + 0.06X_2 - 234.188$$

Misma que tienen las siguientes estadísticas de regresión:

Tabla 5. Estadísticas de la ecuación de regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.

ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN	
Coefficiente de correlación múltiple	93.34%

Coefficiente de determinación R^2	87.13%	
R^2 ajustado	87.03%	
Error típico	9.96	
Observaciones	267	

El coeficiente de correlación de 93.34% se contrastó a lo mencionado por (Morales, 2011) donde menciona que “los valores mínimo y máximo son 0 y ± 1 podemos valorar su magnitud: .20 será intuitivamente una relación baja y .85 indicará una relación que ya podemos considerar grande”, se considera entonces que este es un análisis estadísticamente significativo, por otro lado el coeficiente de determinación R^2 nos dice que el peso está determinado por la longitud y el grosor en un 87.13%.

f. Diseño del instrumento

Para el diseño final del instrumento se utilizó el software Autodesk AutoCAD, tomando en cuenta los valores de la ecuación obtenida, la fabricación física del instrumento se materializó mediante una impresora 3D, el resultado o producto se muestra en las Figuras siguientes:

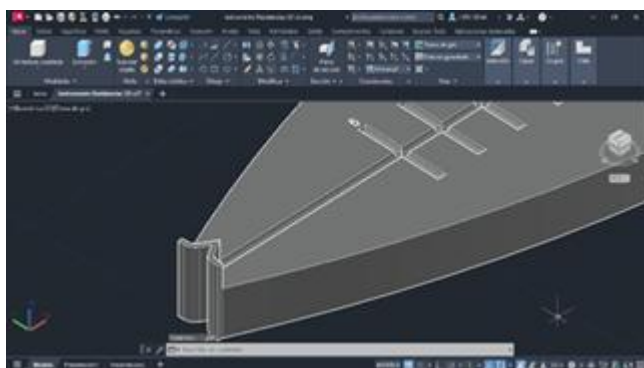


Figura 3. Vista superior del dispositivo en AutoCAD.
Fuente: Elaboración propia.

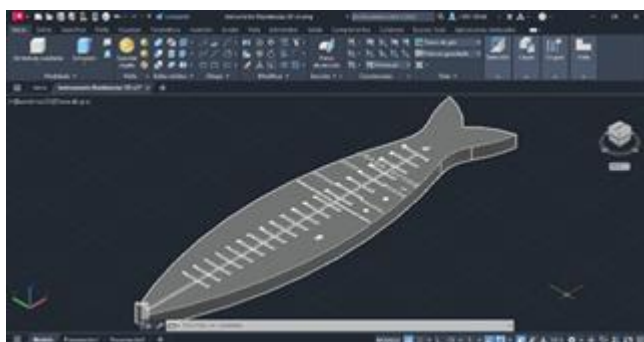


Figura 4. Sistema Poka Yoke que facilite la utilización del instrumento. Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Vista superior 3D del dispositivo en AutoCAD.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Acercamiento a los detalles del instrumento en AutoCAD. Fuente: Elaboración propia.

g. Evaluación del dispositivo

Se realizó la evaluación de los tiempos de uso para el dispositivo contra el método actual (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) donde se obtuvieron los siguientes tiempos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para una muestra de 50 piezas de sardina monterrey.

	Método actual	Método sugerido
Tiempo total	455 segundos	287 segundos

Se comparó el tiempo total de cada prueba de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de reducción de tiempo} = 1 - \frac{\text{Tiempo de medición con el dispositivo}}{\text{Tiempo de medición con el método actual}}$$

Dando como resultado:

$$\% \text{ de reducción} = 1 - \frac{287 \text{ s}}{455 \text{ s}} = 36.92\%$$

Conclusiones

Durante la realización de esta investigación se logró establecer que el muestreo de tallas es de suma importancia para el control de calidad del producto para todas las figuras involucradas en el proceso de sardina monterrey, por otro lado, también se establecieron las etapas habituales en las que el departamento de control de calidad realiza el muestreo de tallas. Se considera que este instrumento agilizaría la toma de decisión respecto al tipo de proceso al que será sometido el producto y si es todavía apto para considerarse para el consumo humano, dado que el peso y longitud del producto son factores definitivos para estas dos interrogantes y a su vez se puede aplicar por todas las partes involucradas dependiendo de los intereses que más les convengan.

Otro aspecto relevante respecto a la implementación del dispositivo es que será posible estandarizar no solo las tallas que se manejan en el mercado, sino también la metodología que los departamentos de control de calidad siguen.

Respecto al análisis estadístico se obtuvo un coeficiente de correlación de 93.34% se considera entonces que este es un análisis estadísticamente significativo, por otro lado, el coeficiente de determinación R^2 nos dice que el peso está determinado por la longitud y el grosor en un 87.13%. Aun así, se considera plausible el realizar una base de datos más amplia para seguir aumentando las estadísticas de esta y por consiguiente mejorar la ecuación.

El dispositivo está diseñado para su fácil uso por lo mismo se implementó un sistema Poka Yoke en la muesca inicial donde se coloca la boca del producto para evitar o disminuir los errores de medición. Dentro de los aspectos sensoriales se agregaron líneas delimitantes para cada talla (XS, S, M, L y XL). La finalidad del dispositivo es eliminar la báscula del muestreo de tallas, reduciendo el tiempo utilizado en medir y pesar a la mitad, además de estandarizar las tallas dentro del proceso de sardina monterrey, permitiendo que se tome una decisión sobre su destino de forma más rápida y eficiente.

Dentro de los objetivos planteados en esta investigación se estableció la comparación del dispositivo contra los métodos actuales que se utilizan en el muestreo de tallas donde se relacionaron los valores obtenidos para cada uno de los métodos, lo que le da respuesta a la pregunta

de investigación previamente planteada puesto que se logró desarrollar un instrumento que relaciona y estandariza características morfométricas de la sardina, con una reducción de tiempos 36.92% en comparación con el método actual.

Referencias

- Fuentelsaz Gallego, C. (2004). Cálculo del tamaño de la muestra. *Matronas Profesión*, 5-13.
- Gutiérrez Alba, J. (1996). Aspectos Metodológicos de Muestreo de Aceptación con Énfasis en Bulk Sampling. Universidad de Veracruz.
- Gutierrez, O., Galindo, G., Velarde, E., & Salas, D. (2019). Análisis de la serie de captura de sardina Monterrey, *Sardinops sagax* en el Golfo de California, México. *Hidrobiológica*, 83-87.
- López Lagunas, A., Martínez Zavala, M., & Lanz Sánchez, É. (2018). Distribución de la captura de sardina monterrey (*Sardinops sagax*) en el golfo de California, durante las temporadas de pesca 2005-2006 a 2011-2012. *Ciencia Pesquera*, 5-19.
- Morales, P. (2011). El coeficiente de correlación. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Moreno Sarmiento, E. (2004). Predicción con series de tiempo y regresión. *Panorama*, 36-58.
- Rivas Mira, F. (2010). Los Usos de la Sardina. Seminario "El mar y sus recursos".
- SADER. (2017). Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación.
- SAGARPA. (2015). Evaluación poblacional de la sardina monterrey (*Sardinops sagax*) en el Golfo de California, México, 1971/72-2013/14. Programa de pelágicos menores.
- Salina Martinez, A. M. (2004). Métodos de muestreo. *Ciencia UANL*, 121-123.