

INGENIERÍA INDUSTRIAL





INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial
Revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura
de la Universidad de Lima
Carrera de Ingeniería Industrial
Núm. 40, junio del 2021

Directora: Ruth Vásquez Rivas Plata
<https://orcid.org/0000-0003-4372-6015>
Editora: María Teresa Noriega Aranibar
<https://orcid.org/0000-0001-6824-1415>

Comité Editorial:

Juan Jaramillo Posada (Adelphi University, Estados Unidos)
<https://orcid.org/0000-0001-8057-5274>
Sergio Caporali Filho (Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico)
<https://orcid.org/0000-0001-7747-3242>
Gonzalo Redondo de Cardeña (CEU Universities, España)
<https://orcid.org/0000-0002-7115-4117>
Alfonso Sarmiento Vásquez (Universidad de La Sabana, Colombia)
<https://orcid.org/0000-0003-0910-2989>
Gabriela Gallardo Marcos (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina)
<https://orcid.org/0000-0003-1426-8430>
Marcos Ruiz Ruiz (Universidad de Lima, Perú)
<https://orcid.org/0000-0001-5147-8512>
Silvia Ponce Álvarez (Universidad de Lima, Perú)
<https://orcid.org/0000-0003-1583-7113>
José L. Zayas-Castro (University of South Florida, Estados Unidos)
<https://orcid.org/0000-0001-7374-3479>

© Universidad de Lima
Fondo Editorial
Av. Javier Prado Este 4600
Urb. Fundo Monterrico Chico, Lima 33
Apartado postal 852, Lima 100, Perú
Teléfono: 437-6767, anexo 30131
fondoeditorial@ulima.edu.pe
www.ulima.edu.pe

Edición, diseño y carátula: Fondo Editorial de la Universidad de Lima
Imagen de carátula: Milton Rodriguez / Shutterstock.com

Publicación semestral
Impresa en el Perú

Los trabajos firmados son de responsabilidad de los autores. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta revista, por cualquier medio, sin permiso expreso del Fondo Editorial.

Ingeniería Industrial se encuentra registrada bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY)

ISSN 2523-6326

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2020-08605

COMITÉ EVALUADOR

Alex Pastuña Pullutasig	(Universidad Técnica de Ambato, Ecuador)
Aurelio León Merino	(Colegio de Postgraduados, México)
Edmundo Arroyo	(Universidad de Lima, Perú)
Elsie Bonilla Pastor	(Universidad de Lima, Perú)
Fernando Kleeberg	(Universidad de Lima, Perú)
Fernando Torre Chalbaud	(Universidad Simón Bolívar, Venezuela)
George Power	(Universidad de Lima, Perú)
Hugo Hernández García	(Universidad Autónoma del Estado de México, México)
Marco Henrich	(Universidad de Lima, Perú)
María Teresa Escobedo Portillo	(Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México)
Martín Arango Serna	(Universidad Nacional de Colombia, Colombia)
Miguel Ávalos	(Universidad de Lima, Perú)
Rafael García Lemus	(Universidad de Oriente, Venezuela)
Raúl Comas Rodríguez	(Universidad de los Andes, Colombia)
Wilfredo Hernández	(Universidad de Lima, Perú)
Ezilda Cabrera Gil-Grados	(Universidad de Lima, Perú)

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	9
PRESENTATION	11
GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN / PRODUCTION MANAGEMENT	
Sistema informático para la planificación de la producción en micro y pequeñas empresas de confecciones	15
<i>María del Rocío Ávila Gonzales de Trinidad</i>	
Procedimiento para gestionar el sistema de producción en el sector de alimentos en empresas cubanas	33
<i>María de los Ángeles Campos Fernández, Alexey Megna Alicia, Geinier Ramírez Camejo</i>	
Reducción del manejo de materiales en línea en una ensambladora de autos mediante la aplicación de <i>lean manufacturing</i>	49
<i>Antonio Huerta Estévez</i>	
Propuesta de un procedimiento para la planeación de las capacidades de producción de una empresa	61
<i>Ailen Estevez-Torres, Alexey Megna-Alicio, Rafael Eduardo Jardines-Rivas, Isabel Cristina Parra-García, Eduardo León-Parra, Gianni Jimenez-Silva</i>	
CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE / QUALITY AND ENVIRONMENT	
Análisis de la integridad del sellado en viales utilizados en empresas biotecnológicas	77
<i>Edisbel Muñoz González, Antonio Enriques Gaspar, Armando Díaz Concepción, Abel Cruz Bayo, Alexei Fernández Durand</i>	

INGENIERÍA DE NEGOCIOS / BUSINESS ENGINEERING

Selección de proveedores bajo una estrategia de abastecimiento múltiple en una empresa metalmecánica 91

Verónica Aída Mortara, Luciana Belén Tabone

PROYECTOS EMPRESARIALES INDUSTRIALES / INDUSTRIAL BUSINESS PROJECTS

Estudios de línea base en captación de semilla, cultivo y perlicultura en la ostra perlera alada *Pteria sterna* (Gould 1851) en la costa de Piura, Perú 115

Daniel Rojas Hurtado, Mario Monteforte Sánchez,

Regina Machado Bazalar, Fernando Alexis Fernandini Valdez

Diagnóstico del proceso artesanal de producción de hilo de fibra de alpaca en Puno, Perú 145

Bertha Díaz-Garay, Rosa Patricia Larios-Francia, Wilfredo Hernández Gorriti,

Rafael Chávez Ugaz, Carlos Alberto Gálvez Zárate, Andrés Condori Ticona,

Teodosio Huanca Mamani

CIENCIA Y TECNOLOGÍA / SCIENCE AND TECHNOLOGY

Identificación de los principios activos de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y el efecto del proceso de elaboración de una bebida mix de mashua con piña 171

Osiris Feliciano-Muñoz, Roberto Robles-Calderón,

Jaqueline Heidy Chirre-Flores, Oscar Santisteban-Rojas,

José Carlos Feliciano-Nishikawa, Walter Dimas Florez-Ponce de León

Estudio de la viabilidad técnica de un sistema de captación de energía piezoeléctrica con aplicación en plantillas de calzado deportivo 191

Fiana Vanessa Norabuena Aliaga

AUTORES 201

INFORMACIÓN PARA LOS COLABORADORES Y NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS 215

PRESENTACIÓN

El conocimiento científico juega un papel destacado en el desarrollo económico y social de los países, más aún en un período como el que afronta, actualmente, la humanidad ante una crisis de salud inimaginable. Es tal el valor de este conocimiento científico y sus aplicaciones tecnológicas, que las instituciones deben volcar sus esfuerzos en pro de generar nuevas investigaciones. Instituciones como las universidades, la empresa privada y el Estado deben triangular sus esfuerzos de tal forma que generen valor agregado a los diversos sectores económicos.

Esta crisis que se vive a nivel global obliga a las instituciones a crear conocimiento de manera más rápida. En ese sentido, la ingeniería industrial, como otras profesiones, se ven en la necesidad de seguir investigando, diseñando, produciendo, gestionando y adaptándose a los diversos cambios para satisfacer las necesidades de los clientes. Su participación en los distintos sectores y en diversas temáticas, de la mano del avance de las tecnologías de la información, busca la democratización del conocimiento.

De esta manera, presento a la comunidad científica, la edición número 40 de la *Revista Ingeniería Industrial*, publicación indexada de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima, reafirmando así nuestro compromiso con el desarrollo de la investigación.

En esta oportunidad, la *Revista Ingeniería Industrial* contiene una serie de artículos relacionados con la planeación y mejora de procesos en el sector agroindustrial, perliticultura, alimentos, textil, metalmecánica, así como el uso de herramientas como el *lean manufacturing*, resultado de investigaciones profesionales a nivel internacional.

Agradezco a los autores, al equipo revisor y al editor que sin su apoyo no hubiera sido posible la elaboración del presente número de la revista, que ya se encuentra en su segundo año de edición semestral.

Ruth Vásquez Rivas Plata
Directora

PRESENTATION

The scientific knowledge plays a prominent role in the economic and social development of countries, particularly in a period as the one that humanity is currently going through during an unimaginable health crisis. Such is the value of this scientific knowledge and its technological applications that institutions must focus their efforts on generating new research. Institutions like universities, private enterprises and the Government must triangulate their efforts so that they may generate added value to the different economic sectors.

This crisis that the world is facing places institutions under an obligation to rapidly create knowledge. In this regard, industrial engineering, like other professions, needs to continue researching, designing, producing, managing and adapting to the various changes in order to meet customers' requirements. Its involvement in the different sectors and various topics, together with the advancement of information technologies, seeks the democratization of knowledge.

Thus, I present to the scientific community issue 40 of the *Ingeniería Industrial* Journal, an indexed publication of the Industrial Engineering Undergraduate Program of the University of Lima, and reaffirm our commitment to the development of research.

On this occasion, the *Ingeniería Industrial* Journal contains a series of articles related to the planning and improvement of processes in the agroindustrial, cultured pearl, food, textile and metalworking sectors, as well as to the use of tools such as lean manufacturing, as a result of professional research at international level.

I thank authors, editor and review team, since without their support the preparation of the issue of this journal, which is already in its second year of semi-annual edition, would not have been possible.

Ruth Vásquez Rivas Plata
Director

**GESTIÓN
DE LA PRODUCCIÓN**

Production Management

SISTEMA INFORMÁTICO PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN MICRO Y PEQUEÑAS EMPRESAS DE CONFECCIONES

MARÍA DEL ROCÍO ÁVILA GONZALES DE TRINIDAD*

<https://orcid.org/0000-0002-8672-1612>

Universidad de Lima

Recibido: 1 de agosto del 2020 / Aprobado: 10 de septiembre del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5146>

RESUMEN: El sistema informático para la planificación de la producción determina qué y cuánto producir para cumplir con las metas propuestas por las mypes (micro y pequeñas empresas) de confecciones; esto es, satisfacer la demanda a tiempo y obtener la máxima utilidad. Utilizando el enfoque cuantitativo, se aplicó un modelo de programación matemática de optimización por metas y la metodología Scrum. Asimismo, se utilizó el *software* MS Excel, tanto para resolver el modelo matemático como para las bases de datos. Las interfaces para el ingreso de los datos y para el reporte solución se desarrollaron en la plataforma Java SE. El sistema informático se instaló en dos mypes, en ambas se incrementó la productividad y fue aceptado por su fácil uso y rápida adaptación. La llegada de la pandemia no permitió la instalación en otras mypes.

PALABRAS CLAVE: sistema informático / planificación de la producción / mypes de confecciones / programación por metas

A COMPUTER SYSTEM FOR PRODUCTION PLANNING IN CLOTHING SMALL ENTERPRISES AND MICROENTERPRISES

ABSTRACT: The computer system for production planning determines what and how much to produce in order to achieve the goals set by clothing small and medium enterprises (SMEs); that is, to meet the demands on time and get the maximum benefit. Using a quantitative approach, a mathematical programming model for goal optimization and the Scrum framework were implemented in the study. In addition, MS Excel software was used for both the mathematical model and databases. The interfaces for data entry and reporting solution were developed in the Java SE platform. The computer system was installed in two SMEs: It increased productivity in both of them and was accepted for its ease of use and quick adaptation. The pandemic did not allow the installation of the computer system in other SMEs.

KEYWORDS: computer system / production planning / clothing SMEs / goal programming

* Correo electrónico: mavila@ulima.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú existe un importante sector productivo conformado por micro y pequeñas empresas (mypes) de confecciones que han crecido, principalmente, en un ambiente de informalidad (Cuatro de cada cinco mypes son informales: ¿es suficiente reducir el IGV?, 25 de agosto de 2016), superando toda expectativa y convirtiéndose en motores de un gran dinamismo comercial, sin embargo, no ha sido orientado por un desarrollo estratégico empresarial.

En general, las mypes son dirigidas empíricamente por pequeños empresarios que adquieren sus habilidades basados en la experiencia y en el conocimiento práctico, en la mayoría de los casos, observando a sus padres, guías o maestros. En los últimos años, este panorama ha cambiado, el 39,6 % de los participantes manifestaron haber concluido sus estudios universitarios, mientras que el 24,2 % tenía secundaria completa (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2011).

En general, las mypes de confecciones presentan una baja utilización de los recursos ofrecidos por las tecnologías de la información y la comunicación al planificar la producción y mejorar la productividad. El porcentaje de mypes que optaron por implementar tecnologías para mejorar sus procesos productivos o servicios fue del 15,7 %; los valores más altos del indicador se encuentran en Cuzco (37,8 %), Ayacucho (35 %), Huancayo (28,8 %) y Lima y Callao (15,3 %) (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2011).

En la actualidad, los dueños de las mypes o empleados de confianza, generalmente, determinan, entre varios modelos de prendas, qué y cuánto producir, basándose, únicamente, en su experiencia y sentido común, sin aprovechar los métodos de optimización que se aplican en un sistema de planeamiento de la producción.

Es de vital importancia una producción variada que responda a la demanda del mercado, que cumpla los plazos de entrega, aproveche al máximo sus recursos, use toda la capacidad de producción (evitando tiempos improductivos) y obtenga una óptima utilidad a fin de lograr una mayor productividad, esto con el fin de que las mypes de confecciones deben competir con las prendas de vestir importadas, principalmente, las provenientes de China, que en gran variedad de modelos invaden el mercado interno con bajos precios. De enero a septiembre del 2018, se importaron de China 202 millones 268 mil prendas, de los cuales el 46 % de esas prendas ingresó al país con un valor unitario declarado de menos de un dólar (Sociedad Nacional de Industrias, 2019).

Concretamente, el problema en cuestión puede precisarse y definirse en los siguientes términos: ¿es posible mejorar la planificación de la producción en las mypes de confecciones con un sistema informático basado en un modelo de programación matemática?

Con el fin de responder esta pregunta, se revisaron los siguientes trabajos relacionados sobre sistemas informáticos orientados a la planificación de la producción en micro y pequeñas empresas de confecciones.

Yemane, Gebremicheal, Meraha y Hailemicheal (2020), por los problemas de baja productividad, los cuellos de botella y los largos tiempos de producción que enfrentan los fabricantes de prendas de vestir, elaboraron un *software* que utiliza un modelo de simulación aplicado a una empresa dedicada a la producción de pantalones. Con la aplicación del *software* se logró incrementar la utilización del sistema de producción alcanzando el 69 %, con una eficiencia de la línea del 58,42 %, sin que ello signifique incurrir en costos adicionales de producción.

Flores-Andrade, Guardia-Miranda, Castro-Rangel, Raymundo-Ibáñez y Pérez (2019) considerando que, por la deficiente planificación de la producción, las mypes de confecciones no podían cumplir los plazos de entrega pactados con sus clientes, lo que originaba un 80 % de clientes insatisfechos, realizaron una aplicación que mejoró la producción incrementándola del 79 % al 95 %. Para alcanzar este resultado, ellos usaron herramientas de programación lineal y programación no lineal.

Cano, Campo y Gómez (2018) resolvieron el problema de la planificación de la producción en una planta de fabricación modular. En la solución, usaron como variables la disponibilidad de personal y de maquinaria, aplicando un modelo de programación mixto basado en los resultados de un piloto de simulación discreto ejecutado en aplicaciones de MS Excel, con lo cual se logró, además, minimizar el costo por cada lote de producción.

Chen, Li, Lin y Feng (2005), tomando en cuenta que la industria de la confección es un mercado de mucha competencia y con bajas ganancias, desarrollaron un sistema de apoyo para la toma de decisiones en este tipo de industria, el cual logró minimizar los costos de producción, haciendo más atractiva la inversión. El sistema incluye tres partes principales, (i) una base de datos de entrada, (ii) una herramienta analítica y (iii) herramientas de presentación de resultados. La información de la base de datos se obtuvo de datos reales del sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) de una empresa de confecciones. La herramienta de análisis del estudio fue el algoritmo genético (GA).

2. METODOLOGÍA

La metodología se fundamenta en el enfoque cuantitativo de la investigación de operaciones. Se utiliza un modelo matemático de optimización lineal por metas, bases de datos en MS Excel, por ser de uso general, para describir el problema y para resolver el modelo matemático. El 67 % de las micro y pequeñas empresas manifestaron contar por lo menos con una computadora de escritorio, el 48,8 % con un equipo multifuncional

y el 35,1 % con una computadora portátil (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2014, p. 51).

Se aplican modelos de casos de uso de UML (por sus siglas en inglés, *unified modeling language*, lenguaje unificado de modelado) para tener una visión clara de lo que necesitan las mypes de confecciones, así como la metodología scrum para facilitar la colaboración de los operadores.

Las interfaces para el ingreso de los datos y para los reportes de resultados se desarrollaron en Java SE.

2.1 Modelo matemático de programación por metas o programación por objetivos para la planificación de la producción en mypes de confecciones

2.1.1 Definición de las variables de decisión y datos del modelo matemático

La definición de las variables de decisión identifica cada una de las actividades en que se descompone el problema.

- Variables de decisión

XPN_{ij} : número de unidades a producir en horario normal de las prendas modelo $i = 1, \dots, n$ durante el mes $j = 1, \dots, m$.

XPE_{ij} : número de unidades a producir en horario extra de las prendas modelo $i = 1, \dots, n$ durante el mes $j = 1, \dots, m$.

$XVenta_{ij}$: número unidades vendidas de las prendas modelo $i = 1, \dots, n$ durante el mes $j = 1, \dots, m$.

$Xinv_{ij}$: número en unidades en inventario final de las prendas modelo $i = 1, \dots, n$ durante el mes $j = 1, \dots, m$.

$Xinvtela_{kj}$: tela en inventario final del diseño $k = 1, \dots, l$ durante el mes $j = 1, \dots, m$.

$Xcompra_{kj}$: tela a comprar del diseño $k = 1, \dots, l$ durante el mes $j = 1, \dots, m$.

- Datos

$C_tiempo_normal_MO_{ij}$: costo de la mano de obra en tiempo normal de las prendas modelo $i = 1, \dots, n$.

$C_tiempo_extra_MO_{ij}$: costo de la mano de obra en tiempo extra de las prendas modelo $i = 1, \dots, n$.

$Pventa_{ij}$: de venta de las prendas modelo $i = 1, \dots, n$ (no lineal), depende del volumen a vender.

C_tela_k : costo por la compra de la materia prima k , la cual depende del volumen de compra (no lineal).

$Demanda_{ij}$: número de unidades demandadas de las prendas modelo $i = 1, \dots, n$ durante el mes $j = 1, \dots, m$.

$R_tiempo_prenda_i$: tiempo requerido para la producción de las prendas modelo $i = 1, \dots, n$.

$D_tiempo_normal_j$: horas disponibles de producción en tiempo normal durante el mes $j = 1, \dots, m$.

$D_tiempo_extra_j$: horas disponibles de producción en tiempo extra durante el mes $j = 1, \dots, m$.

$R_tela_prenda_i$: metros de tela requerida para la producción de las prendas modelo $i = 1, \dots, n$ (no lineal) a mayor número de prendas, menor desperdicio.

$Cap_almacén_tela_j$: capacidad de almacén de tela, durante el mes $j = 1, \dots, m$.

D_tela_{kj} : tela disponible del diseño $k = 1, \dots, m$, durante el mes $j = 1, \dots, m$.

$Cap_almacén_prendas_j$: capacidad de almacén durante el mes $j = 1, \dots, m$.

2.1.2 Sistema de restricciones del modelo

Para la construcción del sistema de restricción es necesario considerar que existe una limitación cuantitativa.

- a) Balance de producción e inventario de productos terminados: el inventario final de la prenda modelo i , durante el mes j , es igual al inventario inicial de la prenda i durante el mes j , más la producción de la prenda i durante el mes j , menos la venta de la prenda modelo i durante el mes j .

$$Xinv_{ij} = Xinv_{ij-1} + XPN_{ij} + XPE_{ij} - XVenta_{ij};$$

$$\forall i = 1, \dots, n; \quad \forall j = 1, \dots, m$$

- b) Balance de inventario de tela: el inventario final de tela diseño k , durante el mes j , es igual al inventario inicial de la tela diseño k durante el mes j , más el requerimiento de la tela para la prenda modelo i , por el total de prendas a producir del modelo i , tanto en tiempo normal y tiempo extra durante el mes j .

$$XInv_{tela_{kj}} = XInv_{tela_{kj-1}} +$$

$$\sum_{i=1}^n R_{tela_{prenda_i}} * (XPN_{ij} + XPE_{ij}) - XVenta_{ij};$$

$$\forall k = 1 \dots l; \quad \forall j = 1, \dots, m$$

- c) Satisfacción de la demanda: representa, en el modelo matemático, las prendas a vender de acuerdo con los pedidos de la prenda modelo i , durante el mes j ; el valor que tome esta variable en la solución no puede sobrepasar la demanda de la prenda modelo i , durante el mes j .

$$X_{\text{Venta}_{ij}} \leq \text{Demanda}_{ij}; \quad \forall i = 1, \dots, n; \quad \forall j = 1, \dots, m$$

- d) Capacidad de inventario de productos terminados: el total de prendas a almacenar en un mes no puede sobrepasar la capacidad del almacén de productos terminados.

$$\sum_{i=1}^n X_{\text{Inv}_{ij}} \leq \text{Cap_almacén_prenda}_{ij}; \quad \forall j = 1, \dots, m$$

- e) Capacidad de inventario de telas: el total de tela a almacenar en un mes no puede sobrepasar la capacidad del almacén.

$$\sum_{i=1}^n X_{\text{Inv}_{tela_{kj}}} \leq \text{Cap_almacén_tela}_{k}; \quad \forall k = 1, \dots, l$$

- f) Disponibilidad del tiempo normal en el mes j : el tiempo normal de producción usado durante el mes j no debe sobrepasar la disponibilidad de tiempo normal en el mes j .

$$\sum_{i=1}^n R_{\text{tiempo_prenda}_i} * X_{\text{PN}_{ij}} \leq D_{\text{tiempo_normal}_j}; \quad \forall j = 1, \dots, m$$

- g) Disponibilidad de tiempo de producción extra en el mes j : el tiempo total extra de producción no puede sobrepasar la disponibilidad de tiempo extra.

$$\sum_{i=1}^n R_{\text{tiempo_prenda}_i} * X_{\text{PR}_{ij}} \leq D_{\text{tiempo_extra}_j}; \quad \forall j = 1, \dots, m$$

- h) Disponibilidad de tela: cada tela tiene un diseño y un color definido, todas las prendas a producir tienen un requerimiento de tela y no podemos usar más tela de la que nos pueden vender los proveedores.

$$\sum_{i=1}^n \text{Req}_{\text{tela}_{ik}} * (X_{\text{PN}_{ij}} + X_{\text{PE}_{ij}}) \leq D_{\text{tela}_{kj}};$$

$$\forall k = 1, \dots, l; \quad \forall i = 1, \dots, n$$

2.1.3 Sistema de restricciones de metas del modelo

- a) Meta 1, costo de la mano de obra: no sobrepasar el presupuesto asignado para el pago al personal mensualmente.

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

= presupuesto asignado mensual costo mano obra + $e_1 - d_1$

- b) Meta 2, presupuesto de compra de tela: no sobrepasar el presupuesto asignado para la compra de la tela mensualmente.

$$\sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m C_tela_k * XCompra_{kj}$$

= presupuesto asignado mensual compra tela + $e_2 - d_2$

- c) Meta 3, ingresos por vender: lograr un ingreso mínimo esperado por vender las prendas.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Pventa_i * (XPN_{ij} + XPE_{ij})$$

= mínimo ingreso mensual + $e_3 - d_3$

- d) Meta 4, satisfacción de la demanda: satisfacer la demanda de la prenda modelo i durante el mes j .

$$XVenta_{ij} = Demanda_{ij} + e_{ij} - d_{ij}; \quad \forall i = 1 \dots n; \quad \forall j = 1, \dots, m$$

- e) Meta 5, máximo de horas extras: el total de horas extras mensuales no debe sobrepasar del valor permitido por la ley.

$$\sum_{i=1}^n R_tiempo_prenda_i * XPE_{ij} = \text{valor permitido} \cdot$$

$$+ e_5 - d_5; \quad \forall j = 1, \dots, m$$

2.1.4 Sistema de restricciones de no negatividad

$$\begin{aligned} XPN_{ij} &\geq 0; \forall i = 1 \dots n; \forall j = 1, \dots, m \\ XPE_{ij} &\geq 0; \forall i = 1 \dots n; \forall j = 1, \dots, m \\ XVenta_{ij} &\geq 0; \forall i = 1 \dots n; \forall j = 1, \dots, m \\ Xinv_{ij} &\geq 0; \forall i = 1 \dots n; \forall j = 1, \dots, m \\ Xinvtela_{kj} &\geq 0; \forall k = 1 \dots l; \forall j = 1, \dots, m \\ XCompra_{kj} &\geq 0; \forall k = 1 \dots l; \forall j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

2.1.5 Definición de la función objetivo

La función objetivo representa la suma de las desviaciones de las metas propuestas.

$$\text{Minimizar } Z: e_1 + e_2 + d_3 + d_{4K} + e_5$$

2.2 Requerimientos para el desarrollo del sistema informático para la planificación de la producción

Los requerimientos para el desarrollo del sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confecciones están divididos en dos grupos: los requerimientos para el modelo de programación matemática de la planificación de la producción y los requerimientos de *software*.

2.2.1 Requerimientos para el desarrollo del modelo de programación matemática de la planificación de la producción

La información obtenida de las mypes analizadas indican los siguientes factores del proceso productivo a considerar en el sistema informático para la planificación de la producción:

- Tiempo estándar de una operación, obtenido de la hoja de registro de tiempo o métodos de control de tiempo.
- Los requerimientos promedios de materia prima, disponibilidad de horas hombre en tiempo normal, disponibilidad de horas hombre en tiempo extra, disponibilidad de materias primas, costos de la mano de obra directa, costo de la materia prima, pedidos de las prendas y los precios de venta. Esta información fue obtenida de la hoja de registro de datos de la empresa.

Los datos de entrada del modelo de programación matemática para la planificación se ordenan en un modelo de gestión del área de producción, como se ilustra a continuación:

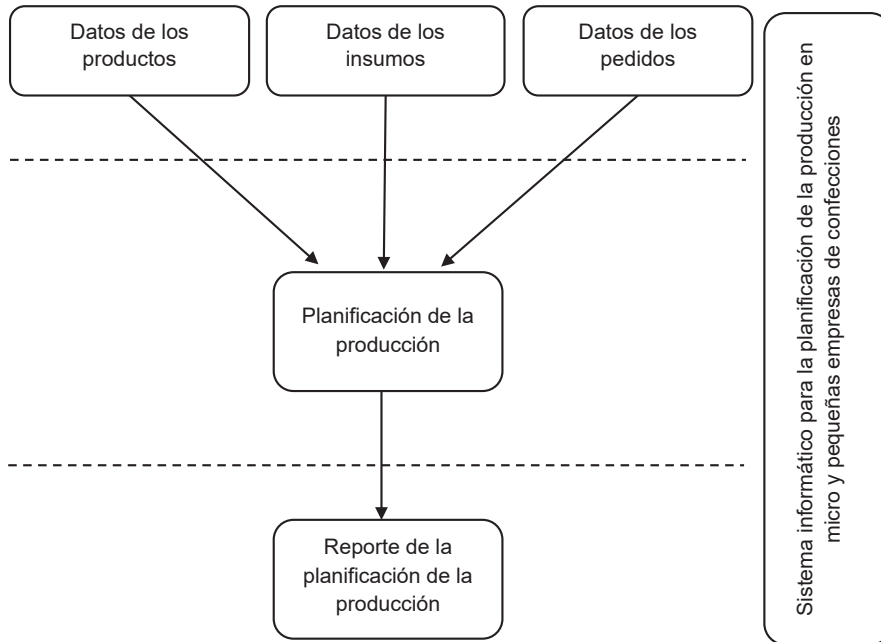


Figura 1. Modelo de gestión del área de producción en mypes de confecciones

Elaboración propia

En base al modelo de gestión del área de producción, se desarrolló el sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confecciones, el cual se compone de las siguientes interfaces:

- Ingreso de los datos de los productos y los datos del insumo.
- Ingreso de los datos de los pedidos.
- Ver pedidos.
- Reporte de la planificación de la producción.

2.2.2 Requerimientos del software del sistema informático para la planificación de la producción

A la fecha, la mayoría de las mypes de confecciones contaban con una computadora con el sistema operativo Windows y Office. Esto favoreció la elección de esta plataforma, a fin de minimizar la inversión, y a que los usuarios estuvieran familiarizados con MS Excel.

Las interfaces para el ingreso de los datos y para el reporte de resultados se desarrollaron en la plataforma Java SE (Standar Edtion) JDK13 UPTe, plataforma NetBeans IDE 7.2.1; sin embargo, no fue necesario la instalación de este *software* en las computadoras, ya que solo se requería el ejecutable.

2.2.2.1 Diagrama de clases del sistema informático para la planificación de la producción

El siguiente diagrama describe la estructura del sistema, mostrando las clases, los atributos y las relaciones entre ellos:

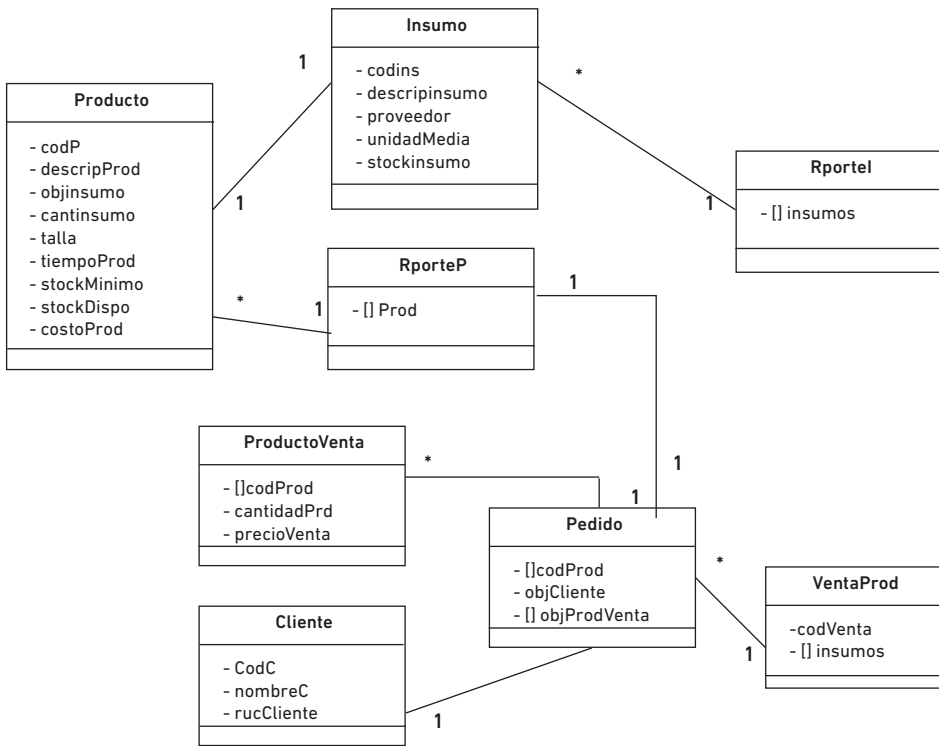


Figura 2. Diagrama de clases

Elaboración propia

2.2.2.2 Análisis de requerimientos de los casos de uso

Los modelos de casos de uso de UML se usan para tener una visión clara de lo que necesitan las mypes de confecciones que han sido evaluadas.

El siguiente diagrama describe el caso de uso que se ha desarrollado usando el *software* Rational Rose Modeler.

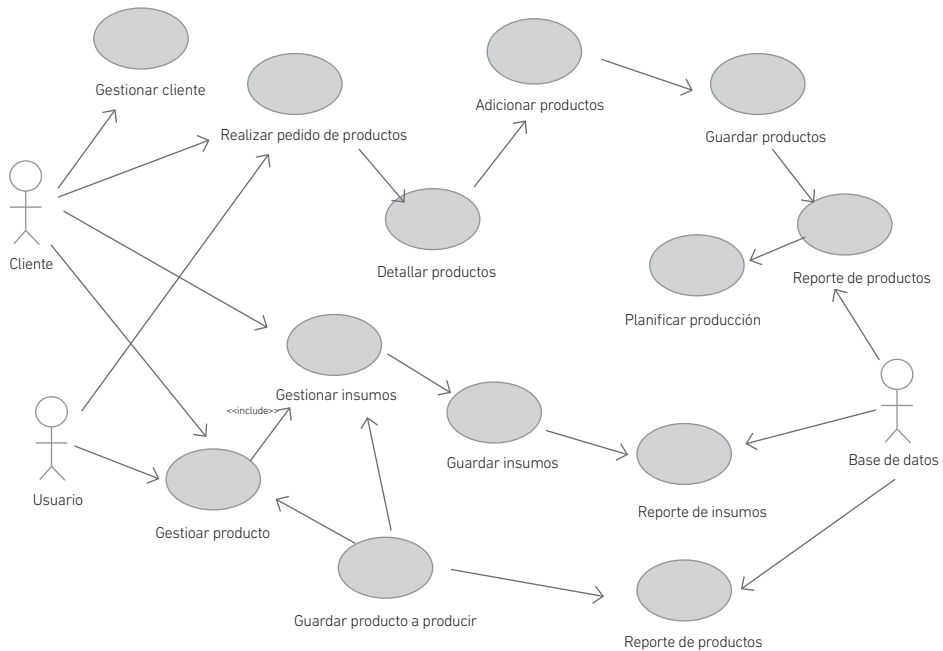


Figura 3. Casos de uso del sistema informático para el planeamiento de la producción en mypes de confecciones

Elaboración propia

2.2.2.3 Diseño de la base de datos

Para el diseño de la base de datos se aplicaron las técnicas de normalización de los datos. Se diseñaron las siguientes bases de datos: productos, telas, clientes y pedidos.

2.2.2.4 Diseño, desarrollo y pruebas del sistema informático para la planificación de la producción, versión 1

La interfaz principal contiene cuatro interfaces: “Abrir”, “Ver pedidos”, “Reporte de planificación” y “Acerca de”, como se muestra a continuación.

En la opción “Abrir” se tienen dos alternativas: “Ingresar producto” e “Ingreso de pedidos”.

- Ingresar producto: información de los productos, así como los datos del insumo.
- Ingreso de pedidos: datos del cliente, como el código asignado por el cual se le reconoce en el sistema, la razón social y RUC, y la lista de los productos de cada pedido.

En la opción "Ver pedidos" se genera el consolidado de todos los pedidos, por código de producto, de la cantidad total, esto es importante porque diversos clientes pueden pedir el mismo producto.

En la opción "Reporte de planificación" se genera el reporte de salida, lo cual indica la cantidad que se debe producir de cada producto.

3. RESULTADOS

El sistema informático para la planificación de la producción se instaló en dos mypes de confecciones de la ciudad de Lima en el año 2019 y quedó pendiente en hacerlo en otras dos, debido a que no fue posible por las cuarentenas y restricciones causadas a nivel global por la pandemia de la COVID-19.

3.1 Mype de confección de camisas para caballeros

La primera mype se dedica a la confección de camisas para caballeros, en distintos modelos, tanto de vestir como casual. En ella laboran seis trabajadores en el área de producción.

Antes de la instalación del sistema informático, la empresa solo se esforzaba en cumplir con todos los pedidos, en mantener al personal ocupado y a las máquinas produciendo el mayor tiempo posible.

Se ha demostrado que se puede aprovechar toda la capacidad de producción, confeccionando únicamente las prendas que generan altos niveles de productividad.

Respecto al indicador, el sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confecciones se replicó desde el mes de enero hasta noviembre del 2019, obteniéndose los resultados de la figura 4.

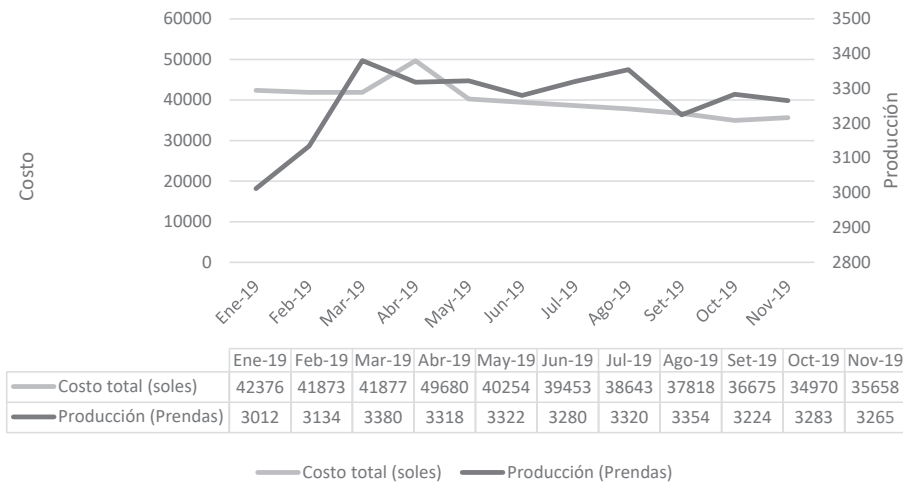


Figura 4. Gráfica de la producción y los costos desde enero hasta noviembre del 2019 en la mype de confección de camisas para caballeros

Elaboración propia

Al hacer la comparación del indicador de la productividad de la empresa, antes y después de usar el sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confecciones, de enero a noviembre del 2018 (sin el sistema informático) y de enero a noviembre del 2019 (con el sistema informático), se reflejaron las diferencias representadas en la figura 5.

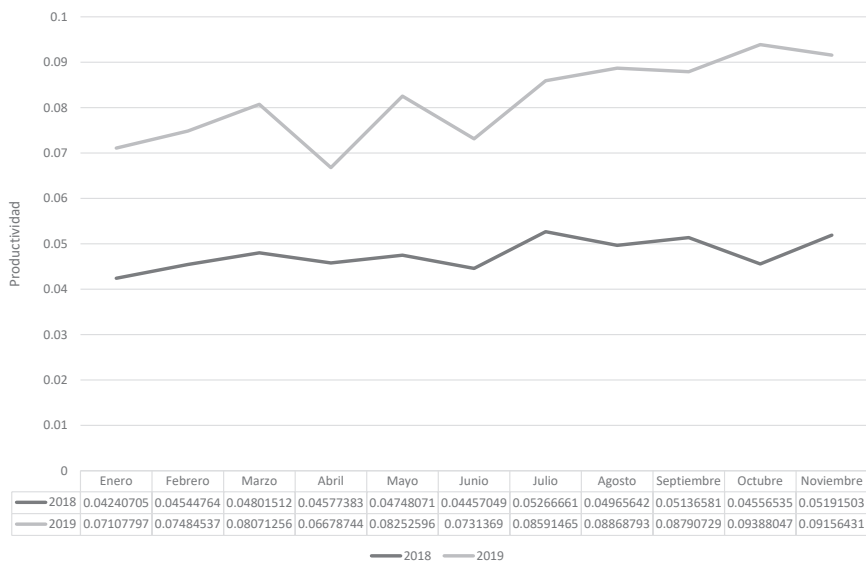


Figura 5. Gráfica de la comparación de la productividad desde enero hasta noviembre de los años 2018 y 2019 en la mype de confección de camisas para caballeros

Elaboración propia

Cuando se compara la productividad de enero a noviembre del 2018 con el mismo período del 2019, se observa un incremento en los meses de análisis, lo que refleja la mejora del indicador al instalar el sistema informático para la planificación de la producción.

3.2 Mype de confección de polos unisex para adultos

La segunda mype se dedica a la confección de polos unisex para adultos. Antes de la instalación del sistema informático, la empresa, con el propósito de satisfacer los pedidos, trabajaba hasta los domingos.

Respecto al indicador, el sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confecciones, se replicó en esta empresa desde el mes de enero hasta diciembre del 2019, obteniéndose los resultados de la figura 6.

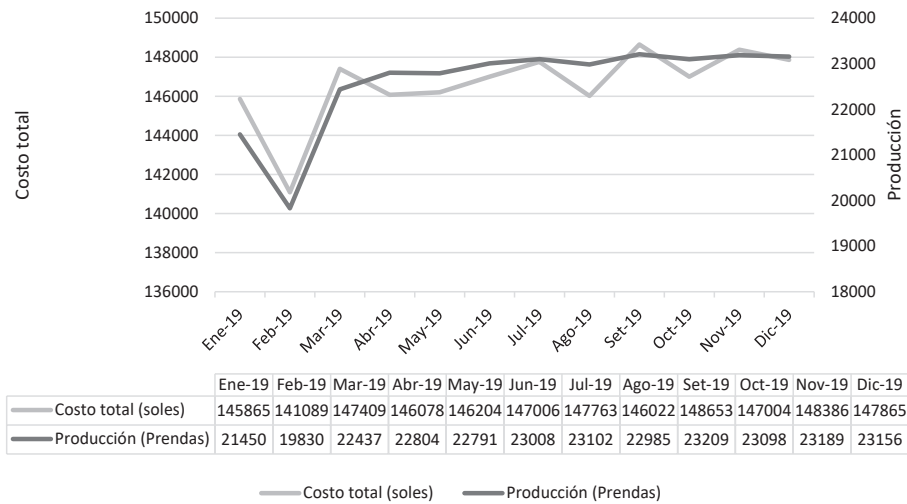


Figura 6. Gráfica de la producción y costos desde enero hasta diciembre del 2019 en la mype de confección de polos unisex para adultos

Elaboración propia

Al hacer la comparación del indicador de la productividad de la empresa de confección de polos, antes y después de usar el sistema informático para la planificación, de enero a diciembre del 2018 (sin el sistema informático) y de enero a diciembre del 2019 (con el sistema informático), se lograron graficar los resultados en la figura 7.

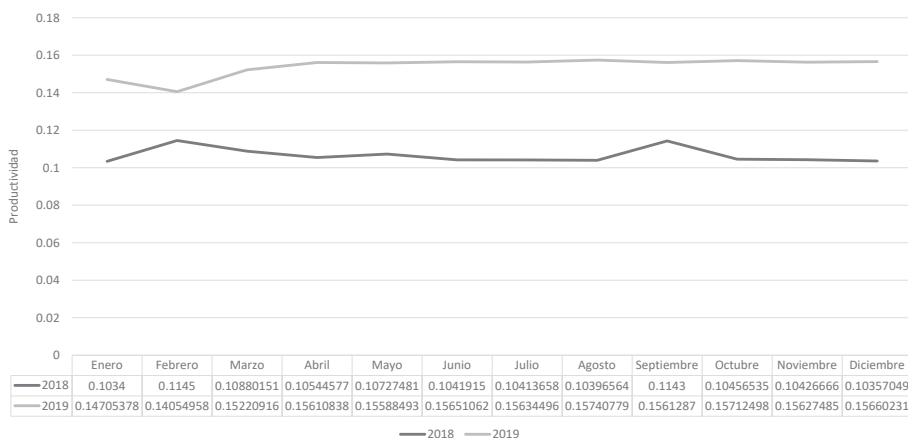


Figura 7. Gráfica de la comparación de la productividad desde enero hasta diciembre de los años 2018 y 2019 en la mype de confección de polos unisex para adultos

Elaboración propia

Cuando se compara la productividad de enero a diciembre del 2018 con los mismos meses del año 2019, se logra demostrar que la productividad se incrementó en todo el período de análisis, lo que indica que sí existe una mejora después de la implementación del sistema informático para la planificación de la producción.

Cabe resaltar que se evidenció una gran aceptación del sistema informático mencionado por parte de las personas asignadas para su implementación, debido a que les resultaba fácil por la familiaridad que tenían con el uso del MS Excel. Igualmente, hicieron énfasis en que dicho sistema les permitía tomar una mejor decisión al momento de aceptar un nuevo pedido.

4. DISCUSIÓN

Con el sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confección, la variación de productividad promedio de los once meses de análisis en la primera mype (confección de camisas para caballeros) fue del 70,86 %, en la segunda mype (confección de polos unisex para adultos) la variación de productividad promedio de los doce meses de análisis fue del 44,83 %, sin incurrir en costos adicionales por la implementación del *software* en MS Excel. Por el contrario, Yemane *et al.* (2020),

con el fin de incrementar la productividad proponen un sistema utilizando un modelo de simulación con el *software* ARENA, aplicado a una empresa dedicada a la producción de pantalones, logrando incrementar la utilización del sistema a 69 % con una eficiencia de la línea del 58,42 %, pero para el caso que nos ocupa debía invertirse en la adquisición del *software* ARENA.

El sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confecciones utilizó un modelo de programación matemática de optimización lineal por metas. En cambio, Ghasemy Yaghin (2020) adaptó un procedimiento de solución analítica eficiente para convertir el modelo de programación original altamente no lineal en un equivalente de programación convexo, porque se presentaba el problema de planificación de la producción agregada de varios productos, períodos y canales de venta; los resultados de la investigación indicaron una relación positiva entre la constante de escala de la demanda dependiente del precio y la tasa de beneficio total.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se obtuvieron fueron las siguientes:

- El sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confección, al ser desarrollado en el entorno MS Excel, *software* de uso común en las mypes de confecciones, no incurre en costos adicionales para su implementación.
- El uso de metodologías ágiles, en este caso, scrum, facilita la participación y colaboración activa de los usuarios.
- La aplicación del sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confección, basada en un modelo de programación matemático y la metodología scrum, logró incrementar la productividad, permitiendo alcanzar los niveles de producción esperados, durante el período de análisis.
- El desarrollo de un sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confección es viable siguiendo los principios de la metodología scrum, permitiendo adaptar el sistema según el tipo de prenda a confeccionar.
- El desarrollo del sistema informático para la planificación de la producción en mypes de confección fue aceptado favorablemente en las dos mypes donde se instaló debido a su fácil uso y su rápida adaptación a las necesidades de estas. La ocurrencia de la pandemia no permitió la instalación en otras empresas.
- El proceso productivo en mypes de confecciones tiene un modelo estándar, lo que permite implementarlo en cualquier tipo de mype de confecciones.

REFERENCIAS

- Camero, I. y Vargas, E. (2012). *Planeación, programación y control de la producción en la pyme de confecciones Verney Jiménez E. U. en Bogotá* (tesis de grado). Universidad Libre, Bogotá, Colombia.
- Cano, J. A., Campo, E. A., y Gómez, R. A. (2018). *Simulación de eventos discretos en la planificación de producción para sistemas de confección modular* (tesis de grado). Universidad de Medellín, Colombia.
- Chen, R., Li, S., Lin, C., y Feng, C. (13-15 de octubre del 2005). A GA-based global decision support system for garment production. In *International Conference on Neural Networks and Brain* (pp. 805-809). Beijing, China. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1614746>
- Cuatro de cada cinco pymes son informales: ¿Es suficiente reducir el IGV? (25 de agosto de 2016). *Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/cuatro-cinco-pymes-son-informales-suficiente-reducir-igv-147423-noticia/>
- Eppen, G. D., Gould, F. J., Schmidt, C. P., Moore, J. H., y Weatherford, L. R. (2000). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa. Construcción de modelos para la toma de decisiones con hojas de cálculo electrónicas*. México D. F.: Pearson.
- Flores-Andrade, K., Guardia-Miranda, R., Castro-Rangel, P., Raymundo-Ibáñez, C., y Pérez, M. (2019). Production management model through MPS and line balancing to reduce the non-fulfillment of orders in lingerie clothing MSEs in Peru. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Banda Aceh, Indonesia.
- Ghasemy Yaghin, R. (2020). Enhancing supply chain production-marketing planning with geometric multivariate demand function (case study of textile industry). *Computers & Industrial Engineering*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106220>
- Hillier, F. S., y Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (10.ª ed.). México D. F.: McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2014). *Encuesta de micro y pequeña empresa, 2013*. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1139/libro.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2011). *Encuesta de micro y pequeña empresa, 2010*. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0980/Libro.pdf
- Render, B., Stair, R. M., y Hanna, M. E. (2016). *Métodos cuantitativos para los negocios*. México D. F.: Pearson Educación.

- Sociedad Nacional de Industrias. (2019). *Revista Institucional Industria Peruana*, (933). Recuperado de <https://www.sni.org.pe/wp-content/uploads/2019/05/Revista-dic-2018-ener-2019-933-1.pdf>
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones* (9.ª ed.). México D. F.: Pearson Educación.
- Winston, W. L., y Goldberg, J. B. (2005). *Investigación de operaciones: Aplicaciones y algoritmos*. México D. F.: Thomson.
- Yang, L. N. (abril de 2012). Research and development of the generation method of clothing process diagram based on CAPP integration system. *Advanced Materials Research*, 503-504, 182-185. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.503-504.182>
- Yemane, A., Gebremicheal, G., Meraha, T., y Hailemicheal, M. (2020). Productivity improvement through line balancing by using simulation modeling (case study Almeda Garment Factory). *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 13(1), 153-165. doi:10.22094/JOIE.2019.567816.1565

PROCEDIMIENTO PARA GESTIONAR EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN EL SECTOR DE ALIMENTOS EN EMPRESAS CUBANAS

MARÍA DE LOS ÁNGELES CAMPOS FERNÁNDEZ*
<https://orcid.org/0000-0002-4591-8179>

ALEXEY MEGNA ALICIO*
<https://orcid.org/0000-0001-6714-0452>

GEINIER RAMÍREZ CAMEJO*
<https://orcid.org/0000-0002-8281-7115>

Universidad de Las Tunas

Recibido: 22 de octubre del 2020 / Aceptado: 23 de noviembre del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.4897>

RESUMEN: El objetivo del presente artículo lo constituye el diseño de un procedimiento para gestionar el sistema de producción, considerando las principales exigencias técnico-organizativas y político-económicas del proceso, así como sus factores claves y elementos esenciales. Se realizó un análisis exhaustivo acerca de las metodologías consultadas con variables de selección, obteniendo como resultado final el procedimiento propuesto, el cual aporta una vía para perfeccionar la planificación, la organización y el control de la producción en empresas productoras de alimentos.

PALABRAS CLAVE: procedimiento / sistemas de producción / gestión de producción

A PROCEDURE TO MANAGE THE PRODUCTION SYSTEM IN CUBAN FOOD COMPANIES

ABSTRACT: The objective of this article is to design a procedure to manage the production system, considering the main technical-organizational and political-economic requirements of the process, as well as its key factors and essential elements. An exhaustive analysis of the consulted methodologies was carried out using selection variables. It was concluded that the proposed procedure improves production planning, organization and control in food companies.

KEYWORDS: procedure / production systems / production management

* Correos electrónicos: mariaacf@ult.edu.cu; alexeyma@ult.edu.cu; geinierrc@ult.edu.cu

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, se ha originado un notable incremento en la influencia del subsistema de producción, dentro del ámbito de desarrollo empresarial, convirtiéndose los sistemas de gestión de producción en factor clave para el desarrollo y el crecimiento de las producciones manufactureras, integrando las diferentes funciones de planificación y mando, a partir de la utilización de técnicas, diagramas, gráficos y tipos de *software* que facilitan los cálculos y decisiones en torno a la selección de las mejores variantes de producción. En este caso, resulta válido resaltar que los niveles de planificación, ejecución y control se encuentran estructurados en un orden jerárquico que contemplan tanto los planes agregados y maestros, como la gestión de materiales, los niveles de ejecución, entre otros (Sipper y Bulfin Jr., 2009).

Estos sistemas deben estar dirigidos, principalmente, hacia el logro de los objetivos de la organización (obtener beneficios, satisfacer al cliente, tanto en plazos como en calidad, obtener producción al más bajo costo y con el menor consumo de material posible). Teniendo en cuenta que la gestión de la producción constituye el elemento esencial para aumentar la competitividad dentro de las empresas, proyecta, además, una imagen de calidad, con una mejor planificación y la disminución del nivel de existencias.

La efectividad de las medidas, los métodos y los procedimientos se logra cuando se adopta un sistema con criterio en su formulación y, a su vez, con la máxima objetividad. Esto último se logra con un dominio teórico y práctico de las principales bases metodológicas de gestión de producción (el sujeto de la gestión de la producción, las exigencias técnico-organizativas, los principios, los elementos, el método de estudio y el sistema de producción como objeto de la gestión de producción) (Acevedo Suárez, Gómez Acosta, Urquiaga Rodríguez y Hernández Torres, 2002).

El dominio de estas bases metodológicas es esencial para poder dirigir el perfeccionamiento de la gestión de producción en la empresa. Este perfeccionamiento abarca tanto el aspecto operativo como perspectivo. En el primero debe ajustarse o corregirse la organización del sistema productivo acorde con la situación y concreción de las exigencias del momento. El perfeccionamiento perspectivo requiere el estudio del desarrollo y cambios organizativos a realizar en el sistema productivo para su adaptación a las mismas. (Acevedo Suárez *et al.*, 2002)

Cuba ha tenido que enfrentar la inestabilidad en los precios de los productos a adquirir en el mercado internacional, el incremento de las restricciones en las posibilidades de obtener financiamiento externo y el recrudecimiento del bloqueo económico, comercial y financiero impuesto por los Estados Unidos. Por lo que incrementar al máximo la eficiencia y competitividad constituyen grandes retos a alcanzar por las empresas cubanas para poderse integrar en el mundo empresarial contemporáneo, caracterizado por la imposición de requerimientos cada vez más exigentes. Para lograr esto, los cuadros de dirección de las empresas deben desplegar una ardua labor en la

búsqueda y aplicación de formas y métodos novedosos para proporcionar una respuesta positiva ante las limitaciones del entorno.

A partir del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, realizado entre los días 16 y 19 de abril de 2011, en La Habana, el país emprendió la actualización de su modelo económico, lo cual ha demandado conformar un nuevo escenario para el desempeño de las entidades. El actual modelo económico cubano demanda que estas dediquen sus mayores esfuerzos a la búsqueda e implementación de alternativas para elevar al máximo sus resultados, para lo cual es imprescindible una adecuada gestión de sus procesos productivos.

En el año 2016, se celebró por primera vez en Cuba la V Conferencia Mundial de Gestión de Producción y Operaciones, con el objetivo de que los cubanos se integraran a la red mundial, adquiriendo conocimientos que les permitiera fortalecer este aspecto dentro de las empresas y, por consiguiente, en la economía cubana.

Según el Decreto Ley sobre la Continuidad y Fortalecimiento del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Cubano (Decreto Ley n.º 252, 2013), concede gran importancia a la producción de bienes y a la prestación de servicios con la calidad requerida, en el momento adecuado y con la mayor eficiencia económica, en correspondencia con el objeto empresarial aprobado a la empresa u organización superior de dirección, a partir de las necesidades planteadas por la sociedad y los clientes.

Resulta imprescindible avanzar en el logro del ciclo completo de producción, mediante los encadenamientos productivos entre organizaciones que desarrollan actividades productivas, incluidas las universidades, para garantizar el desarrollo rápido y eficaz de nuevos productos y servicios. Así como incorporar los resultados de la ciencia, la innovación y la tecnología en los procesos productivos y de servicios; adoptar nuevos patrones de utilización de los factores productivos, modelos gerenciales y de organización de la producción; y concluir el proceso de reordenamiento y reestructuración del sistema empresarial, incluyendo el paso a nuevas formas de gestión (Partido Comunista de Cuba, 2016).

En los últimos tiempos, han existido irregularidades dentro de la cooperación entre las subdivisiones productivas de la empresa objeto de investigación, que limitan el funcionamiento de un proceso productivo integrado, influyendo negativamente en el cumplimiento de sus planes de producción anuales. Además de existir poca capacidad de diagnóstico y falta de empleo sistemático de herramientas analíticas que expliquen las causas del comportamiento de sus procesos, lo que se manifiesta en la repetición anual de los problemas.

Un sistema productivo que pretenda ser competitivo en este entorno tiene que poseer ciertas características, que en otras condiciones no eran tan importantes. Aspectos como la flexibilidad, adaptabilidad y rapidez de respuesta han pasado de ser aspectos deseables, a convertirse en la clave del éxito de muchas empresas (Araúzo Araúzo, de Benito Martín, del Olmo Martínez y Sanz Angulo, 2004).

Un sistema productivo es una entidad que está dotada de un sistema de recursos, los que deben ser transformados en determinados resultados, que satisfagan las exigencias y requerimientos de los clientes. Para lograr dicha transformación, los sistemas productivos adoptan determinadas formas en su funcionamiento, conocidas como tipos de sistemas productivos (Acevedo Suárez *et al.*, 2002). Definición asumida por los autores, puesto que esclarece que un sistema productivo es una entidad que gestiona las actividades del sistema, contando con recursos materiales, humanos y políticos, cuyos resultados están dirigidos a satisfacer la demanda con la calidad y eficiencia requerida.

Esta situación llevó a los autores a plantearse cómo mejorar el sistema de producción dentro de las empresas manufactureras, específicamente, en la de alimentos, aspecto que contribuye a la mejora de la eficiencia y eficacia con que se realizan las producciones.

La significación práctica radica en que, respecto al tema, hay insuficientes procedimientos específicos de gestión de producción, siendo los existentes muy abarcadores de todos los procesos de las empresas, por lo que el propuesto, en el presente artículo, considera las principales exigencias técnico-organizativas y político-económicas del proceso, así como sus factores clave y elementos esenciales.

2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA APLICADA

Se consultaron procedimientos relacionados con el estudio de la gestión de la producción, entre ellos la metodología para el estudio de la organización de los procesos citada por Batista (2007) y el método de estudio de la gestión de producción de Acevedo Suárez *et al.* (2002), por otro lado, existen procedimientos para la evaluación de la gestión productiva en determinados entornos de fabricación (Fundora Miranda, Taboada Rodríguez, Cuellar, Urquiaga Rodríguez y Sánchez Lara, 1987). Otros autores, como Portuondo Pichardo (1990), Ballou (1991) y Lefcovich (2004), proponen una serie de medidas que contribuyen a la comprobación de determinados aspectos específicos de la producción. Aunque es importante resaltar que, de todos los procedimientos consultados, el más integral, en materia de gestión de producción, es el método de estudio propuesto por Acevedo Suárez *et al.* (2002), aun cuando no se define la forma de selección del sistema de gestión de producción ni identifica las herramientas a utilizar con una aplicación lo suficientemente clara, para que permita a los directivos de las organizaciones su puesta en práctica.

Se definieron cinco variables, las cuales fueron consultadas a un grupo de expertos logrando una concordancia del 95 %. Estas variables son: tipo de producción, exigencias técnico-organizativas, determinación de la capacidad de producción, análisis de los elementos de gestión de producción y selección del sistema de gestión de la producción acorde a los requerimientos de producción. Solamente los procedimientos de Batista (2007) y Acevedo Suárez *et al.* (2002) cumplieron con tres de las variables, mientras que

el resto solo se enfocaban en elementos específicos de la gestión de producción orientados a la logística del proceso o a la calidad de este.

Se utilizó el *método de expertos* (seleccionados por el método Delphi), teniendo en cuenta que la cantidad de expertos depende de la complejidad y las características del trabajo a realizar. El grupo de expertos debe estar entre siete y quince para mantener un nivel de confianza y calificación elevado. Se debe elaborar una lista inicial de personas posibles de cumplir los requisitos para ser expertos en la materia a trabajar y realizar una valoración sobre el tipo de experiencia, evaluando de esta forma los niveles de conocimiento que poseen sobre la materia.

Para ello, la primera pregunta, realizada a dichos expertos, debe ser una autoevaluación sobre los niveles de información y argumentación que poseen sobre el tema en cuestión. Para el cálculo del coeficiente de conocimiento (K_c) se tiene en cuenta el rango seleccionado por el experto j (n), calculando de la siguiente manera:

$$K_{cj} = n(0,1) \quad (1)$$

Los aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar permiten calcular el coeficiente de argumentación (K_a) de cada experto, mediante la siguiente ecuación, donde n_i es el valor correspondiente a la fuente de argumentación:

$$K_a = \sum_{i=1}^6 n_i \quad (2)$$

En consecuencia, se propone un procedimiento general que integra estos aspectos (evaluación, selección y control). Para la selección del sistema de gestión de producción adecuado, la metodología propuesta por Cespón Castro, Ibarra Mirrón y Marrero Delgado (septiembre de 2005) resulta, a criterio de los autores, la más acertada.

3. RESULTADOS

3.1 Procedimiento

El procedimiento diseñado está estructurado en nueve pasos organizados en cuatro fases (preparación de las condiciones, análisis de la organización de la producción, búsqueda de alternativas y programa de mejora) como se muestra a continuación.

3.1.1 Fase 1. Preparación de las condiciones

El principal objetivo es llevar a cabo la caracterización de la organización, desde el punto de vista funcional y teniendo en cuenta los tres elementos fundamentales del sistema de producción: fuerza de trabajo, medios de trabajo y objeto de trabajo. Las principales técnicas a utilizar son la observación directa y el estudio de documentación.

- **Paso 1. Caracterización de la entidad objeto de estudio**

Este paso es de mucha utilidad cuando el procedimiento es llevado a cabo por investigadores externos. Se proponen utilizar los elementos brindados por Pérez Campaña (2005a): nombre de la empresa, fecha de creación, ubicación, subordinación, objeto social, principales salidas y sus clientes, principales entradas y sus proveedores, principales recursos de que dispone y la clasificación atendiendo a diferentes criterios.

Elementos	Variantes de clasificación				
Tamaño	Grande	Mediana		Pequeña	
Forma de propiedad	Privadas		Estatales	Mixta	
	Individuales	Sociedades			
Sector genérico	Producción			Servicios	
Tipo de producción	Masiva	Seriada		Unitaria	
Actividad principal	Producción	Almacenamiento	Transportación	Intercambio o suministro	Servicio (sentido estrecho)
Tipo del flujo del proceso	Línea	Intermitente		Por proyecto	
Forma del pedido	Por pedido			Para inventario	
Relación productor-cliente	Contra almacén	Entrega directa			
		Con cobertura		Sin cobertura	
Forma de ejecutar el pedido	Por ritmo	Programado			Por pedido
		Cantidad fija	Frecuencia fija	Irregular	
Elemento a optimizar	Ciclo	Materia prima	Recursos humanos	Capacidad	Energía
Tipo de servicio	Servicio en masa	Servicios profesionales	Fábrica de servicio	Taller de servicio	
Comercio minorista					
Área destinada a la venta y productos que oferta	Más de 350 m ²	Entre 100-350 m ²	Menor de 100 m ²	Surtido extenso y profundo de uno o varios departamentos, con independencia de los metros cuadrados (m ²)	
	Surtido extenso y profundo	Surtido limitado y poco profundo	Surtido limitado y poco profundo		
	Por departamentos	Mixta	Conveniencia o cercanía	Especializada	

Figura 1. Criterios de clasificación de las empresas

Fuente: Pérez Campaña (2005a)

- *Paso 2. Creación del grupo de trabajo*

Consiste en trabajar y motivar a las personas implicadas en el proceso, dándole participación plena en la búsqueda de soluciones con un solo objetivo: la mejora continua de sus procesos de producción. En este caso, el grupo de trabajo se debe encontrar integrado por miembros del área de producción, calidad, seguridad y salud del trabajo y recursos humanos, con ayuda del investigador (principal responsable).

3.1.2 Fase 2. Análisis de la organización de la producción

Se declara esta fase con el objetivo de analizar las bases metodológicas que, según Acevedo Suárez *et al.* (2002), sustentan la gestión de la producción. En el caso específico del procedimiento propuesto para la industria cárnica, los elementos esenciales a evaluar son los que se reflejan en los pasos de esta fase. Las principales herramientas a utilizar son las entrevistas, las herramientas estadísticas, el algoritmo para el cálculo de la capacidad de producción y el análisis de indicadores de desempeño.

- *Paso 3. Exigencias técnico-organizativas*

Para desarrollar la gestión de producción, se hace imprescindible conocer cuáles son las exigencias que le plantea el medio al sistema productivo en cada momento y cuál es la organización interna que debe adoptar dicho sistema para lograr su máxima satisfacción. En este caso, se proponen cinco exigencias fundamentales propuestas por Torres Cabrera y Urquiaga Rodríguez (2007):

- Capacidad de reacción, cuyo principal indicador es el tiempo medio de reacción:

$$Tr_{\alpha} = t_{med} + \acute{b} * \sigma \quad (3)$$

- Dinámica de rendimiento, que exige que la organización de la producción adoptada garantice un crecimiento sistemático de los indicadores de eficiencia.
- Estabilidad, que demanda adoptar una organización de la producción que permita prever y resolver los problemas que surgen sin necesidad de la intervención de los niveles superiores. Su principal indicador se haya relacionado a la producción promedio por intervalo y la desviación típica de esa producción promedio, como se muestra en la ecuación (2):

$$ES = 1 - \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (4)$$

- Fiabilidad, que requiere el funcionamiento del sistema de producción durante un largo período sin afectaciones en las variables de resultado.
- Flexibilidad, que exige que la organización de la empresa asuma los cambios de producción en poco tiempo y a bajos costos.
- *Paso 4. Principios de la gestión de producción*

Expresan las reglas prácticas para adoptar una racional organización interna del sistema productivo para lograr la máxima eficiencia económica y social en el marco de la máxima satisfacción de las exigencias del medio. En este caso, se evaluarán tres principios fundamentales: proporcionalidad, ritmicidad y continuidad:

- Proporcionalidad: expresa la correspondencia necesaria entre las capacidades de producción de las subdivisiones productivas vinculadas entre sí en un mismo proceso, flujo o ruta tecnológica. Es la condición necesaria para lograr un adecuado nivel de la organización de la producción. Presupone la eliminación de los cuellos de botella. Su principal indicador se calcula de la siguiente forma:

$$Kp = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Xmax - Xi)n_i}{Nt * Xmax} \quad (5)$$

- Ritmicidad: se manifiesta en la obtención de igual volumen de producción en iguales intervalos de tiempo o en el cumplimiento de las tareas previstas según un programa de producción elaborado de antemano:

$$Kr = 1 - \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (6)$$

- Continuidad: presupone el flujo del objeto de trabajo a lo largo de todo el proceso de producción sin interrupciones, así como la utilización plena de la fuerza de trabajo y los medios de trabajo. Es decir, la utilización continuada de los tres elementos del proceso de producción:

$$Kcf = \frac{\sum_{f=1}^S Tf}{\sum_{f=1}^S FTf} \quad (7)$$

$$Ktm = \frac{\sum_{f=1}^S Tm}{\sum_{f=1}^S FTm} \quad (8)$$

$$Kco = \frac{Ttec}{Tc} \quad (9)$$

- *Paso 5. Elementos de la gestión de producción*

En este paso se deben tener en cuenta los factores o elementos que influyen directamente en el sistema de producción (las formas de gestión, el método de producción, la gestión del flujo material, la gestión de la calidad y las normas del sistema de producción, lo que permite evaluar el cumplimiento de la organización establecida y fijar los objetivos en la elaboración de los planes).

- *Paso 6. Capacidad de producción*

La gestión de la capacidad asegura la máxima utilización de las materias primas y los equipos para alcanzar el volumen de producción que puede producir una instalación en determinado período de tiempo, además de determinar de forma más específica el punto limitante del proceso. En este caso, se recomienda el algoritmo propuesto por Torres Cabrera y Urquiaga Rodríguez (2007).

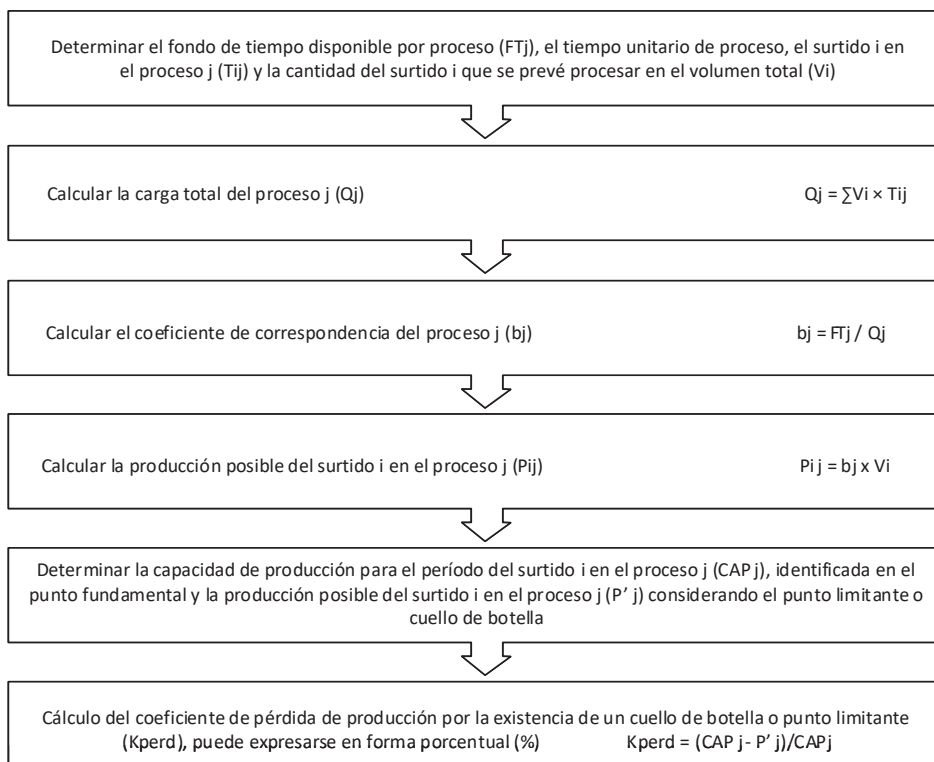


Figura 2. Algoritmo general para el cálculo de la capacidad de producción

Fuente: Torres Cabrera y Urquiaga Rodríguez (2007)

3.1.3 Fase 3. Búsqueda de alternativas

El principal objetivo de la presente fase radica en seleccionar el tipo de sistema de gestión de la producción que más se ajuste a las características del proceso y a las condiciones en que este opera. Las principales herramientas son la metodología para la selección del sistema de gestión de la producción y la revisión de documentos.

- *Paso 7. Determinación de los sistemas de gestión de producción que se encuentren en concordancia con el sistema de producción en cuestión*

Para este paso se propone el procedimiento para la determinación del tipo de sistema de gestión de la producción, elaborado por Cespón Castro *et al.* (septiembre de 2005), ya que ha sido aplicado con anterioridad en empresas cubanas con resultados favorables.

- *Paso 8. Evaluación y selección*

El objetivo fundamental de esta fase radica en la selección específica del tipo de sistema de gestión de la producción, apoyándose en los criterios establecidos previamente. Una vez conocidos los posibles sistemas de gestión de producción a implantar, se deben tener en cuenta los resultados obtenidos en la primera fase y los requisitos de aplicación de los sistemas seleccionados, con el fin de determinar el sistema más factible a implementar.

3.1.4 Fase 4. Programa de mejora

Se elabora el plan de acción para la aplicación del sistema seleccionado, evaluando cada uno de los elementos necesarios para su aplicación y se controla la correcta puesta en funcionamiento del mismo, con el fin de ajustar cualquier deficiencia detectada a partir de un nuevo diagnóstico. Las principales herramientas son el trabajo en equipo y los gráficos de Gantt.

3.2 Validación a través del método de expertos

Con el objetivo de validar la factibilidad del procedimiento diseñado, se decidió aplicar el método de especialistas, con base en el método de expertos (seleccionados por el método Delphi), lográndose la aprobación en la primera ronda de evaluación.

En el presente estudio, se seleccionaron nueve especialistas de las diferentes áreas administrativas de la empresa Cárnica Las Tunas, entidad donde se procederá a aplicar el procedimiento, cuyas funciones y responsabilidades se encuentran en correspondencia con los elementos de la gestión y de los sistemas de producción. Se les aplicó una encuesta con el objetivo de conocer el nivel de conocimientos que poseían respecto al tema abordado, cuyos resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1
Determinación del coeficiente de conocimiento

Expertos propuestos	Autoevaluación del nivel de conocimiento sobre el tema										Kc de los expertos propuestos
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1										X	1,0
2										X	1,0
3									X		0,9
4										X	1,0
5								X			0,8
6						X					0,6
7							X				0,7
8										X	1,0
9									X		0,9

Elaboración propia

Para determinar el coeficiente de argumentación de los especialistas, se valoraron aspectos como su conocimiento acerca de la entidad, años de experiencia, conocimientos teóricos y sus posibilidades de identificación de las fortalezas y debilidades de la gestión de la producción y los sistemas de producción. Cada especialista se autoevaluó y se clasificaron los resultados en tres niveles (alto, medio y bajo). En la tabla 2 se muestra el patrón de comparación utilizado para evaluar el coeficiente de argumentación de los expertos propuestos (K_a), donde se le atribuye a cada categoría una puntuación según su grado de importancia e influencia. Los resultados finales se muestran en la tabla 3.

Tabla 2
Patrón utilizado para el coeficiente de argumentación (K_a)

Fuentes de argumentación o fundamentación	Código	Alto	Medio	Bajo
Conocimientos de la entidad	A	0,5	0,4	0,3
Años de experiencia	B	0,3	0,2	0,1
Conocimientos teóricos	C	0,1	0,1	0,05
Posibilidades de determinación de fortalezas y debilidades	D	0,1	0,1	0,05

Elaboración propia

Tabla 3
Coeficiente de argumentación de cada experto

Expertos	Autoevaluación de las fuentes de argumentación				Ka
	A	B	C	D	
1	0,5	0,3	0,05	0,1	0,95
2	0,5	0,3	0,05	0,1	0,95
3	0,5	0,3	0,1	0,1	1,0
4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,9
5	0,5	0,3	0,1	0,1	1,0
6	0,5	0,3	0,1	0,1	1,0
7	0,5	0,3	0,1	0,1	1,0
8	0,3	0,1	0,1	0,1	0,6
9	0,5	0,3	0,1	0,1	1,0

Elaboración propia

Teniendo en cuenta el coeficiente de argumentación (Ka) y el coeficiente de conocimiento (Kc), se determinó el coeficiente de competencia con el cual quedó determinado el grupo de expertos, teniendo en cuenta que el valor de este último debe ser siempre superior a 0,5, para que el especialista pueda formar parte de este grupo.

Tabla 4
Coeficiente de competencia de cada experto

Coeficientes	Expertos propuestos								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kc	1	1	0,9	1	0,8	0,6	0,7	1	0,9
Ka	0,95	0,95	1	0,9	1	1	1	0,6	1
K	0,975	0,975	0,95	0,95	0,9	0,8	0,85	0,8	0,95

Elaboración propia

En este caso, la selección de los expertos quedó en el número original. Al aplicar, entonces, la encuesta de factibilidad de la propuesta diseñada por los autores, se tuvieron en cuenta los siguientes indicadores cualitativos:

- Necesidad de utilizar una vía para perfeccionar la gestión y los sistemas de producción dentro de los procesos de cárnicos.
- Adaptabilidad del procedimiento a las características tecnológicas dentro de la entidad.

- Secuencia lógica del procedimiento.
- Factibilidad de aplicación del procedimiento.
- Posibilidades de generalizar la Unidad Empresarial de Base (UEB).
- Utilidad para perfeccionar los sistemas de producción dentro de la Unidad Empresarial de Base (UEB).

El resultado final de la encuesta arrojó resultados satisfactorios, teniendo en cuenta que los expertos en su totalidad mostraron aceptación por el procedimiento propuesto.

Los resultados fueron los siguientes:

- El 67 % consideró muy necesario perfeccionar el sistema de producción en la empresa, mientras que el 33 % solo lo vio como simplemente necesario.
- El 78 % de los encuestados coincidió en que el procedimiento propuesto consideró las características físicas y tecnológicas de la entidad, asimismo el 89 % está de acuerdo en que las fases declaradas dentro del procedimiento se encontraban estructuradas con una lógica comprensible. Finalmente, se obtuvo que el 78 % opina que sería factible aplicar el procedimiento.
- El total de los encuestados valoró que es posible aplicar el procedimiento en todas las UEB pertenecientes a la empresa.
- El procedimiento es válido para el diagnóstico de la organización de la producción (89 %).
- El 56 % de los encuestados opinó que la aplicación de un nuevo sistema contribuye a perfeccionar la gestión de la producción parcialmente; mientras el 44 % consideró que lo hará en su totalidad.
- Dentro de los beneficios que se estimaron en la aplicación del procedimiento, se encontraron los siguientes: lograr un máximo aprovechamiento de la mano de obra y de los medios de trabajo, identificar y erradicar los eslabones débiles dentro de la cadena productiva, aumentar la productividad del trabajo, elevar los principales indicadores de la empresa, disminuir los costos de producción, aumentar la capacidad productiva y elevar la eficiencia y la eficacia de la entidad.

4. DISCUSIÓN

En el año 2009, el ingeniero Yeen Hernández Hernández, trabajador del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, llevó a cabo la aplicación del método de estudio de la gestión de la producción propuesto por Acevedo Suárez *et al.* (2002) a un sistema productivo de medicamentos, teniendo como similitudes, con el procedimiento propuesto, la

determinación y evaluación de las exigencias técnico-organizativas y de los principios de gestión de producción, determinando así las principales causas que afectaban el aprovechamiento de las capacidades en el sistema productivo de medicamentos. Aunque no proyectaba las posibles soluciones ni determinaba el sistema más factible a aplicar, dicho aspecto es de vital importancia al momento de reorganizar el sistema de producción para buscar mayor capacidad y eficiencia en el flujo del proceso, los cuales son elementos claves en los sistemas actuales y que aparecen reflejados en el procedimiento propuesto.

5. CONCLUSIONES

El análisis teórico realizado, en torno a la gestión de producción, permitió disponer de un referente apropiado para sustentar el estudio y dar solución al problema de la investigación identificado y con ello corroborar la hipótesis planteada, aun cuando los análisis referentes a la gestión de producción y sus métodos de estudio en el sistema empresarial cubano son insuficientes.

Se elaboró un procedimiento para la gestión de la producción teniendo en cuenta todos los factores fundamentales que inciden sobre este con el objetivo de mejorar la competitividad, eficiencia y eficacia del proceso productivo integrado de esta entidad. El método de expertos corroboró la factibilidad de la aplicación del procedimiento en la entidad objeto de estudio y su socialización con las demás Unidades Empresariales de Base (UEB) de la empresa.

REFERENCIAS

- Acevedo Suárez, J. A., Gómez Acosta, M. I., Urquiaga Rodríguez, A. J., y Hernández Torres, M. (2002). *Organización de la producción y los servicios*. La Habana: Ediciones CUJAE.
- Araúzo Araúzo, J. A., de Benito Martín, J. J., del Olmo Martínez, R., y Sanz Angulo, P. A. (2004). Situación actual y expectativas de los sistemas de fabricación basados en agentes en el *VIII Congreso de Ingeniería de Organización, Leganés, 9-10 de septiembre* (pp. 1043-1052). Madrid: Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Organización. Recuperado de <http://www.adingor.es/Documentacion/CIO/cio2004/comunicaciones/1043-1052.pdf>
- Ballou, R. (1991). *Logística empresarial, control y planificación*. España: Díaz de Santos.
- Batista, M. (2007). *Evaluación del desempeño empresarial a partir de la organización de los procesos en la fábrica de baldosas de Holguín* (tesis de pregrado). Universidad de Holguín, Cuba.

- Cespón Castro, R., Ibarra Mirón, S., y Marrero Delgado, F. (septiembre del 2005). Selección del sistema de gestión de la producción en el IX Congreso de Ingeniería de Organización, Gijón, 8 y 9 de septiembre. Madrid: Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Organización. Recuperado de <http://www.adingor.es/Documentacion/CIO/cio2005/items/ponencias/152.pdf>
- Decreto Ley n.º 252, Continuidad y fortalecimiento del Sistema de Dirección y Gestión Empresarial Cubano. (18 de febrero del 2013). Recuperado del archivo digital de la Gaceta Oficial de la República de Cuba https://www.gacetaoficial.gob.cu/sites/default/files/go_o_007_2013.pdf
- Fundora Miranda, A., Taboada Rodríguez, C., Cuellar, H., Urquiaga Rodríguez, A., y Sánchez Lara, A. (1987). *Organización y planificación de la producción* (t. II). La Habana: Editora ISPJAE.
- Hernández Hernández, Y. (2009). Aplicación del método de estudio de la gestión de la producción a un sistema productivo de medicamentos. *Ingeniería Industrial*, 30(1), 1-8. <https://www.redalyc.org/pdf/3604/360433568003.pdf>
- Lefcovich, M. L. (2004). *Sistema Matricial de Control Interno. Una forma eficaz de prevenir y corregir errores*. Brasil: El Cid Editor.
- Partido Comunista de Cuba. (2016). *Actualización de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016-2021*. Recuperado de <http://bohemia.cu/wp-content/uploads/2016/09/01Folleto.Lineamientos-4.pdf>
- Pérez Campaña, M. (2005a). *Contribución al control de gestión en elementos de la cadena de suministro. Modelo y procedimientos para organizaciones comercializadoras* (tesis doctoral). Universidad Central Marta Abreu, Cuba.
- Pérez Campaña, M. (2005b). *De la gestión de la producción a la gestión de la cadena de suministros*. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos21/gestion-produccion/gestion-produccion.shtml>
- Portuondo Pichardo, F. M. (1990). *Economía de empresas industriales*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- Sipper, D., y Bulfin Jr., R. L. (2009). *Planeación y control de la producción*. México D. F.: McGraw-Hill.
- Torres Cabrera, L., y Urquiaga Rodríguez, A. (2007). *Fundamentos teóricos sobre gestión de producción*. La Habana: Editorial Félix Varela.

REDUCCIÓN DEL MANEJO DE MATERIALES EN LÍNEA EN UNA ENSAMBLADORA DE AUTOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE *LEAN MANUFACTURING*

ANTONIO HUERTA ESTÉVEZ*

<https://orcid.org/0000-0003-3600-4540>

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz

Recibido: 10 de octubre del 2020 / Aprobado: 28 de noviembre del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.4880>

RESUMEN: Este artículo se enfoca en la aplicación de *lean manufacturing* a una planta ensambladora de autos, la cual contaba con paros de línea y largos recorridos que generaban pérdidas económicas causadas por incumplimiento en la entrega de unidades a tiempo por parte de los distribuidores. Al final, se redujeron los paros de línea hasta el 50 % y una cantidad de 383 751 dólares en el inventario.

PALABRAS CLAVE: manufactura esbelta / paros de línea / costos de operación / manejo de materiales / herramientas *lean*

REDUCTION OF MATERIAL HANDLING IN AN AUTOMOBILE ASSEMBLY LINE THROUGH LEAN MANUFACTURING

ABSTRACT: This article focuses on the application of lean manufacturing principles to an automobile assembly plant, which had production line stoppages and long runs that generated losses caused by failure to deliver the units on time to dealers. In the end, line stoppages were reduced by up to 50% that generated savings of \$383,751.

KEYWORDS: lean manufacturing / line stoppages / operating costs / material handling / lean tools

* Correo electrónico: huertastvz@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Contar con una correcta administración de operaciones y suministros que desempeñe el trabajo en forma expedita, eficiente, sin errores y a bajo costo es vital en los sistemas de producción (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009). Por ello las organizaciones implementan diferentes herramientas para incrementar su eficiencia y eficacia; de esta manera ser elegidos por el consumidor, el cual requiere menores precios y tiempos de respuesta sin decremento de la calidad (Vargas-Hernández, Jiménez Castillo y Muratalla-Bautista, 2018). La manufactura esbelta (*lean manufacturing*) establece cómo mejorar un sistema de producción concentrándose en la eliminación de los desperdicios, los cuales pueden definirse como: aquellas actividades que utilizan más recursos de los mínimos necesarios (esperas, sobreproducción, exceso de inventarios, defectos, transporte, movimientos y retrabajos) (Figueredo Lugo, 2015).

Herramientas de manufactura esbelta como el sistema Kanban surgió para satisfacer la necesidad de las organizaciones tecnológicas para responder a cambios frecuentes en su demanda, tal como el caso de la industria automotriz, además de facilitar el trabajo en equipo (Anderson y Bozheva, 2019). De igual manera, herramientas como los mapas de valor y el diagrama de espagueti, facilitaron el reconocimiento de procesos y distancias a mejorar para la disminución en los tiempos de espera, como también la identificación de desperdicios, eliminando así los procesos responsables de dichos desperdicios (Martínez Sánchez, Martínez Flores, Nuño de la Parra y Cavazos Arroyo, 2016).

Se ha llevado a cabo con gran éxito el uso de manufactura flexible, la cual reduce tiempos de preparación y mejora tanto el flujo de materiales e inventario en procesos, como la administración de la calidad del producto y de la eficiencia en producción (Bravo, Orejuela y Mendiña, 2012). El uso de herramientas de *lean manufacturing* hacen disminuir del 1,6 % a 0 % las mermas por falta de suministros lo que impacta en un ahorro de 48 450 dólares en el costo de espera de los materiales (Franco, Jiménez García y Ruelas Santoyo, 2019). Las implementaciones de algunas herramientas *lean* dan como resultado la reducción del 32,73 % del tiempo de ciclo, adicionalmente, el tiempo de producción baja en un 11,8 % y la productividad aumenta en un 16,66 % (Lijalem, 2020).

2. DESARROLLO DEL MÉTODO

La investigación es de tipo aplicada, porque se buscaba resolver uno o varios problemas usando conocimientos ya probados, técnicas y métodos de propósitos específicos. Como primer paso, se determinó el estado en el cual se encontraba el sistema, en el cual se encontró que los paros de la línea de producción al mes estaban en promedio en los 370 minutos, además de 1600 metros por cada ciclo de recorrido de los carros secuenciadores que alimentan de materiales a la línea de ensamble, esto generaba altos costos de

operación en el área de manejo de materiales provocando pérdidas económicas significativas por los incumplimientos en las entregas de las unidades a los distribuidores.

En base a lo mencionado, previamente, se fijó como siguiente medida el designar un proveedor externo (*outsourcing*) para el secuenciador de los materiales a proveer a la línea de producción. De acuerdo con Rodenes Adam, Moncaleano Rodríguez y Martínez Aparisi (2009), la gestión del suministro para las empresas: logística y distribución de bienes, almacenamiento y gestión de inventarios, diseño y fabricación de servicios y productos, y gestión de compras, por parte de un *outsourcing*, representa el 36 % del mercado que abarcan estos (Rodenés Adam *et al.*, 2009).

Posteriormente, se le destinó un lugar, dentro de las instalaciones de la planta, para que se ubicara este proveedor, convirtiéndose en el encargado del secuenciado de partes, significando esto una gran ventaja, ya que al estar dentro de las instalaciones de la ensambladora, se reducirían los recorridos de las secuencias evitando daños a los materiales, y así habría menos paros de línea, objetivo principal de este trabajo.

Hoy en día, los sistemas de producción deben ser adaptables para dar una respuesta efectiva a las necesidades del cliente en la elaboración de nuevos productos o para satisfacer los requisitos del cliente. La rápida obsolescencia de los productos y las fluctuaciones repentinas e inesperadas de la demanda, han llevado al desarrollo de herramientas en los sistemas de producción como celdas de manufactura, la cual se basa en los principios de grupos tecnológicos, que busca agrupar productos para ser fabricados en características similares (tamaño, forma o procesamiento común) (Rodríguez León, Quiroga Méndez y Ortiz Pimiento, 2013).

Respecto a la tabla 1, en donde las molduras de puerta, que cuentan con 44 números distintos de partes, serán las de mayor complejidad para secuenciar, y las capotas, con solo dos números de parte, serán las de menor complejidad para poder secuenciarse.

Tabla 1
Partes o commodities afectadas para secuencias

Material	Modelo	Número de parte	Paros de línea	Paros en minutos	Puede correr faltante
Capotas	FF27	2	X	12	
Cinturones de seguridad	JC44-FF27	40	X	120	
Molduras de puertas	JC44-FF27	44			X
Espejos	JC44-FF27	17			X
Módulos NGC (computadora)	JC44-FF27	5	X	20	
Amortiguadores delanteros	JC44-FF27	21	X	10	
Vistas de cargo	FF27	8			X

(continúa)

(continuación)

Vistas pilar "a"	JC44-FF27	8			X
Molduras header	FF27	27			X
Amortiguadores traseros	JC44-FF27	7	X	14	
Tubos de escape	JC44-FF27	9	X	27	
Radiadores	JC44-FF27	7	X	21	
Convertidor catalítico	JC44-FF27	7	X	28	
Volantes	JC44-FF27	12	X	60	
Filtros de aire	JC44-FF27	7	X	28	
Rines de 17"	JC44-FF27	6	X	36	
Cartones de puertas	JC44-FF27	36			X
Viseras	FF27	4			X
Vistas de espejos	JC44-FF27	12			X
Vistas de quinta puerta	JC44-FF27	2			X

Elaboración propia

El aumento en el grado de compromiso de los obreros se alcanzará cuando se comprenda que los individuos también son parte de la organización, esto incrementaría el sentido de pertenencia, ya que ellos mostrarían mayor compromiso hacia la organización por iniciativa propia debido al franco deseo de lograr los objetivos de la empresa (Oropesa-Vento, García-Alcaraz, Rivera y Manotas, 2015).

Por ello, en la siguiente etapa del proyecto, se procedió a revisar la estructura organizacional que tenía el proveedor en el área de secuenciados, con 50 empleados (42 sindicalizados) para cubrir la operación, y se presentaron planes de mejora a través de un programa de capacitación al personal incluyendo una matriz de habilidades, gráfica de ausentismo, planes de contingencia y rotación de personal. A continuación, se enlistan las dos principales actividades desarrolladas en esta etapa:

- a) Cada operador debe desarrollar diversas habilidades en el proceso de secuenciación: con esto se asegura que cada operador (secuenciador) debe conocer por lo menos el proceso de dos o más secuenciados, teniendo las habilidades necesarias para desarrollar las actividades en varios procesos.
- b) Eliminar errores en las secuencias por ausentismo o rotación: el personal deberá de capacitarse en diversas secuencias en turnos que no correspondan a su trabajo diario, así, se asegurará que, al momento de ausentarse un trabajador en un turno determinado, se pueda recurrir a otro ya capacitado en dicho turno con esa secuencia, con el debido pago respectivo por el desarrollo de esta actividad, es decir, se supliría al operador faltante y el pago se le otorga a quien labore ese turno.

Ya establecidos los espacios para el *outsourcing* y generadas las acciones con la estructura organizacional de este, la siguiente etapa fue analizar el volumen anual, es decir, de las veinte familias de partes cuál sería el porcentaje secuenciado a línea, así como determinar el modelo de vehículo en que se ensamblarían, cuántas se llevarían por carro y cuál sería el número total para cada familia. La situación contemplaba 3 tráileres equipados con cajas de 53 pies, para el transporte de los carros secuenciadores del área de embarque, del secuenciador hacia las rampas de recibo de la ensambladora, en donde se descargarían, y los ruteros asignados los dirigen hasta la línea de ensamble con 3 rutas de secuenciado: JIT 1, JIT 2 y JIT 3. La figura 1 muestra el transporte de cada tráiler el cual va en dirección frontal del mismo.

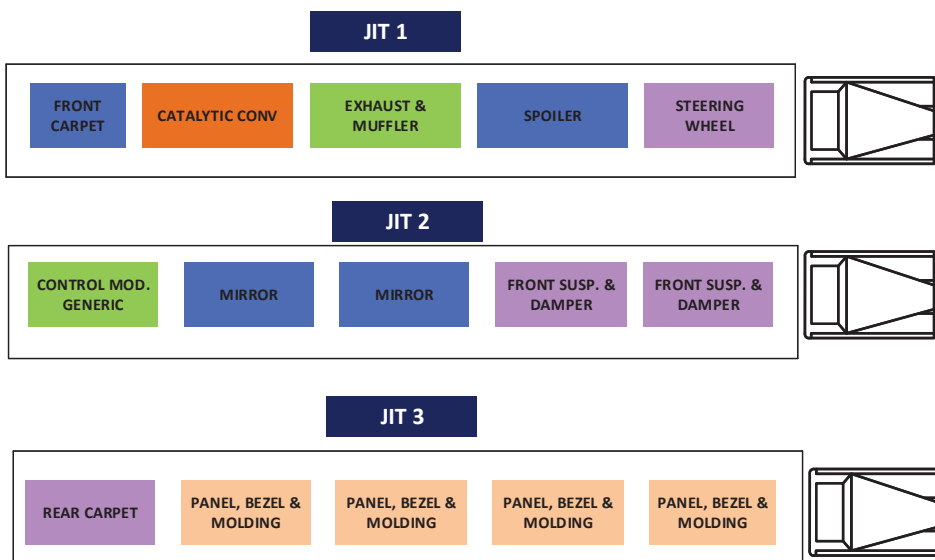


Figura 1. Equipo móvil que tenía la ensambladora

Elaboración propia

Como se ha mencionado, el modelo que estaba implementado era el uso de los 3 tráileres que entregaban 3 rutas de secuenciado justo a tiempo (JIT 1, JIT 2, JIT 3), 15 minutos para descarga y carga de las partes secuenciadas y de los contenedores, además de 5 a 10 minutos de traslado, desde el almacén del proveedor hasta la línea de ensamble, en un total de 1600 metros de recorrido en cada ciclo, lo cual implicaba un costo de 200 USD por día por tractor.

3. RESULTADOS

El impacto más significativo fue el referido a la mano de obra, con un subtotal de 564 000 dólares; seguido del inventario, con el cual se obtuvo un ahorro hasta de 383 751 dólares; por otro lado, al no contar con partes en espera en la línea de producción, se obtuvo una reducción hasta del 50 % de recorrido del almacén a la línea de producción, de 1600 a solo 800 metros, además de reducir los ciclos de 110 a solo 20, significando una disminución del 85 %. Con esto se evitan daños en el manejo de las partes al tenerlas secuenciadas, lo cual impacta hasta en un ahorro de 36 622 dólares anuales (0,25 dólares anuales por las 146 488 unidades fabricadas).

Del lado izquierdo de la figura 2, se observa la caja de tráiler de 53 pies de arrastre, en donde contiene secuencias que, posteriormente, son llevadas a la línea de producción por un tractor, sin que aun sean requeridas, utilizando el sistema *push*. Ahora, del lado derecho de la figura, se presenta el mismo tractor una vez que enganchó el carro de secuencias y listo para ser llevado a su ruta, una vez que los solicite la línea de producción, mediante la implementación de sistemas *pull*, lo que representa mayor capacidad y maniobrabilidad, dejando las partes listas en secuencias a utilizar acorde a la cantidad requerida por parte de producción.



Figura 2. Situación de la ensambladora vs. situación propuesta
Elaboración propia

Bajo este contexto, de acuerdo con Acevedo Suárez, Urquiaga Rodríguez y Gómez Acosta (2001), se puede definir la herramienta Kanban como la destreza del manejo de producción fundamentado en un sistema *pull* (jalar) basado en la autogestión de procesos, prescindiendo de la programación centralizada. Se produce y transporta lo que se solicita en los procesos consumidores, manteniendo en movimiento, únicamente, lo necesario que garantice la continuidad del consumo. Cuando se entorpece el consumo, se detiene la producción. Es una herramienta para conseguir la producción justo a tiempo (JIT, por sus siglas en inglés) (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009).

La figura 3 muestra la manera en que se solicitan, mediante Kanban electrónico, las partes de las familias. En primer lugar, se genera un requerimiento en el sistema que es enviado al proveedor, de manera electrónica, el cual prepara y carga la cantidad de secuencias solicitadas en los carros que serán jalados por el tractor y llevados a la línea de producción directamente, regresando con carros vacíos, los cuales regresan al proveedor para su reabastecimiento en el momento que vuelvan a ser solicitados.

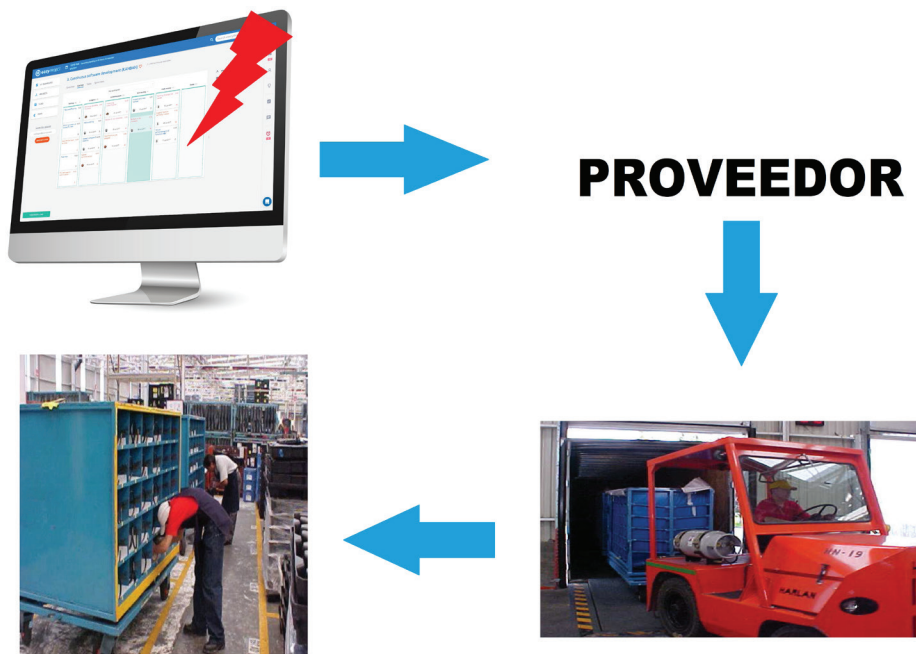


Figura 3. Secuencias de productos

Elaboración propia

Se implementaron los sistemas de producción de jalar (o *pull*) en donde este tipo de manufactura esbelta logra la utilización mínima de inventarios y las piezas llegan a la

siguiente estación de trabajo justo a tiempo, bajo la lógica que nada se produce hasta que se necesita (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009). Este método de trabajo hace más eficiente el suministro de los materiales, ya que, al tener un abastecimiento eficiente de materiales, se garantiza obtener un costo menor, debido al desperdicio representado por el tiempo de espera por falta de materiales.

En un sistema de producción, los elementos a fabricar se distribuyen desde un esquema superior hacia uno inferior. El sistema Kanban mediante una tarjeta da inicio a la tarea, en dicha tarjeta está la información que describe el material, su identificación (nombre y tiempos de producción y traslado), así como la secuencia que deberá de seguir, etc. Cada tarjeta contiene el estado de cada etapa (pendiente, en trabajo, terminada), las cuales son compartidas por todo el equipo de trabajo y tienden a minimizar la burocracia dentro del equipo (Arango Serna, Campuzano Zapata y Zapata Cortes, 2015).



Figura 4. Aplicación del sistema Kanban

Elaboración propia

En la figura 4 se puede apreciar el uso del sistema Kanban, una de las principales herramientas base para este tipo de sistemas de manufactura esbelta, el cual apoya a la línea de ensamble mediante el uso de las tarjetas en el suministro eficiente de las

secuencias. La idea de la manufactura esbelta es crear sistemas de producción ajustada, libre de residuos como transporte, materiales, espacios, personal y tiempo (Jiménez-García, Mendiola-García, Medina-Flores, Mezura-Montes y Vázquez-López, 2016).

La línea ya optimizada cuenta con siete números de partes donde los materiales están perfectamente distribuidos a lo largo de la estación de trabajo y cumple con los requerimientos de producción; además, está familiarizada con la ergonomía laboral, lo que permite que el operario de producción reduzca sus caminatas y no presente problemas para abastecerse de sus materiales y así poder ensamblarlos en las unidades.

Una secuencia consiste en preparar en un carro una o varias familias de materiales, en un orden determinado, para ser enviados desde el almacén a la línea productiva que lo solicita, a esto se le conoce como "ciclo de secuencia". La figura 5 muestra como un operador recibe las partes de un secuenciador externo exactamente en su punto de instalación; de no hacerlo de esta manera, el material tendría que desplegarse en su contenedor original ocupando varias estaciones de trabajo, complicando las operaciones asignadas a otro operario e incrementando caminatas.



Figura 5. Operadores de línea

Elaboración propia

Después de utilizar al proveedor y modificar los carros secuenciadores, se logró un 85 % de mejora en ciclos al enviar 80 secuencias por turno, en 20 ciclos directos al punto de uso en línea, reduciendo más del 50 %; considerando, entonces, que el costo del minuto de paro es de 127,50 dólares, se logró un ahorro de 24 225 dólares, pasando de 47 175 dólares a 22 950 dólares al final del proyecto. La figura 6 muestra la reducción de los paros de línea por turno en donde se aplicó la mejora.

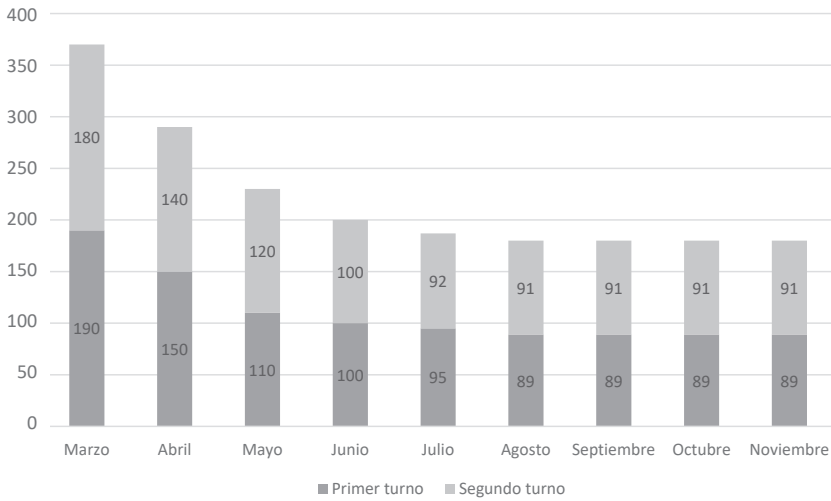


Figura 6. Disminución en paros de línea

Elaboración propia

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la industria automotriz, para ser competitivo y estar a la vanguardia, se requiere contar con plantas de ensamble y manufactura flexible que impliquen la fabricación de dos o más modelos en una misma línea de producción. En este enfoque de manufactura, también llamada de grupos tecnológicos, ha sido ampliamente aprobada porque permite lograr una producción económica de una gran variedad de productos, mediante la efectiva integración de la administración y la planeación de la capacidad y de la producción.

Hay muchos estudios que demuestran la importancia que tiene para los sistemas productivos, la implementación de herramientas de manufactura esbelta. Según Jiménez-García *et al.* (2016) existe un programa de suministro de materiales para una secuencia de producción, el cual se implementó dentro de las primeras 3 horas del primer turno de trabajo, y logró reducir las pérdidas debido a la falta de suministros de material de 1,6 % a 0 %, donde 1,6 % (datos proporcionados por el ERP de la organización), representa el porcentaje de espera por falta de suministro de materiales en un turno de trabajo.

Martínez Sánchez *et al.* (2016) concluyen que la aplicación de *lean manufacturing*, con herramientas como el mapeo de procesos y el diagrama de recorrido, facilitaron la identificación de procesos y distancias a optimizar para la disminución en los tiempos de atención de pacientes, logrando mejoras en los tiempos de atención de hasta el 56 %.

Figueredo Lugo (2015) demuestra cómo la implementación de la filosofía de manufactura esbelta, en un proceso de producción de concreto premezclado, logró aumentar su rendimiento en 0,32 %, en comparación con la medición inicial, obteniendo con esto una mejora en el indicador OEE de 1,20 %, situándose en 65,29 %.

Este estudio muestra todo lo que se debe considerar logísticamente al referirnos, únicamente, al suministro de materiales y herramientas de manufactura esbelta para lograr que una planta ensambladora de autos pueda incrementar su eficiencia con secuencias de materiales, además, se logran grandes beneficios intangibles como una producción más flexible, estaciones de trabajo ergonómicas, mejoras en la seguridad y relaciones más estrechas con los proveedores. En resumen, con la elaboración de este trabajo se logró un ahorro hasta del 50 % en la línea de producción al recorrer solo 800 de los 1600 metros que se tenían antes de la implementación de las herramientas de manufactura esbelta, de igual modo, se redujeron el 85 % de los ciclos; actualmente, con solo 20 de ellos, se ganó un ahorro importante de 383 751 dólares al entregar las partes del almacén, directamente, a la línea en el momento preciso en que se requiere, evitando así los paros de línea.

Debido a la naturaleza de este trabajo, a sus implicaciones y a la complejidad que encierra la operación de secuenciado de partes en una planta ensambladora de automóviles, es importante hacer mención que sobre algunos beneficios su resultado se verá reflejado a mediano plazo, ya que no debemos perder de vista que este es un trabajo planeado así. Es importante mencionar que los resultados de la secuenciación, actualmente, siguen siendo evaluados por la empresa con efectos satisfactorios dando la pauta para continuar implementando más secuencias.

REFERENCIAS

- Acevedo Suárez, J. A., Urquiaga Rodríguez, A. J., y Gómez Acosta, M. (2001). *Gestión de la cadena de suministro*. La Habana: Centro de Estudio Tecnología de Avanzada (CETA) y Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (Logespro).
- Anderson, D., y Bozheva, T. (2019). Kanban maturity model: desarrollando la agilidad organizativa y de negocio en empresas industriales. *DYNA Management*, 7(1). <http://dx.doi.org/10.6036/MN8805>
- Arango Serna, M. D., Campuzano Zapata, L. F., y Zapata Cortes, J. A. (2015). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 221-233.
- Bravo, J. J., Orejuela, J. P., y Mendiña, Z. (2012). Aproximación a la medición del impacto del *backorder* en sistemas de manufactura flexible. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 65, 99-111.

- Chase, R. B., Jacobs, F. R., y Aquilano, N. J. (2009). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros*. México D. F.: McGraw-Hill.
- Figueredo Lugo, F. J. (2015). Aplicación de la filosofía *lean manufacturing* en un proceso de producción de concreto. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 4(15), 7-24.
- Franco, J. M., Jimenez-García, J. A., y Ruelas-Santoyo, E. A. (2019). Minimization of the time for the materials supply through a mixed integer linear programming model. *Dyna Management*, 7(1). doi: <http://dx.doi.org/10.6036/MN9037>
- Jiménez-García, J. A., Mendiola-García, J. Y., Medina-Flores, J. M., Mezura-Montes, E., y Vázquez-López, J. A. (2016). Reducing losses due to lack of supply in a manufacturing company using a mixed-integer linear programming model. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 7(2), 3-12.
- Lijalem, M. (2020). Productivity improvement through lean manufacturing tools in Ethiopian garment manufacturing company. *Materials Today: Proceedings*, 37(2), 1432-1436. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.599>
- Martínez Sánchez, P., Martínez Flores, J., Nuño de la Parra, P., y Cavazos Arroyo, J. (2016). Mejora en el tiempo de atención al paciente en una unidad de urgencias gineco-obstétricas mediante la aplicación de *lean manufacturing*. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(2), 46-56.
- Oropesa-Vento, M., García-Alcaraz, J. L., Rivera, L., y Manotas, D. F. (2015). Effects of management commitment and organization of work teams on the benefits of Kaizen: Planning stage. *Dyna*, 82(191), 76-84.
- Rodenas Adam, M., Moncaleano Rodríguez, G. I., y Martínez Aparisi, A. (2009). Importancia del *outsourcing* como apoyo de los servicios a la industria. *Economía Industrial*, 374, 65-73.
- Rodríguez León, J., Quiroga Méndez, J. E., y Ortiz Pimiento, N. R. (2013). Performance comparison between a classic particle swarm optimization and a genetic algorithm in manufacturing cell design. *Dyna*, 80(178), 29-36.
- Vargas-Hernández, J. G., Jiménez Castillo, M. T., y Muratalla-Bautista, G. (2018). Sistemas de producción competitivos mediante la implementación de la herramienta *lean manufacturing*. *Ciencias Administrativas*, 6(11), 81-95. <https://doi.org/10.24215/23143738e020>

PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA PLANEACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE PRODUCCIÓN DE UNA EMPRESA

AILEN ESTEVEZ-TORRES*

<https://orcid.org/0000-0002-4337-0250>

ALEXEY MEGNA-ALICIO

<https://orcid.org/0000-0001-6714-0452>

RAFAEL EDUARDO JARDINES-RIVAS

<https://orcid.org/0000-0002-9771-6544>

ISABEL CRISTINA PARRA-GARCÍA

<https://orcid.org/0000-0002-6623-5684>

EDUARDO LEÓN-PARRA

<https://orcid.org/0000-0001-8843-6025>

GIANNY JIMENEZ-SILVA

<https://orcid.org/0000-0002-0561-2642>

Universidad de Las Tunas, Cuba

Recibido: 28 de septiembre del 2020 / Aprobado: 23 de noviembre del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.4861>

RESUMEN: La presente investigación tuvo como objetivo el diseño de un procedimiento para la planeación de las capacidades de producción de una empresa. Para su desarrollo se utilizaron los métodos de observación directa, histórico-lógico, hipotético-deductivo, análisis-síntesis, y las técnicas de observación, la revisión documental y encuestas. Por otro lado, se aplicó el método de expertos Delphi para validar el procedimiento. Se logró integrar aspectos positivos de ocho de los procedimientos consultados e incluir otros aspectos que no fueron abordados. Además, la planeación de las capacidades de producción se manifiesta como un proceso de mejora continua.

PALABRAS CLAVE: planeación de las capacidades de producción / planeación de la producción / mejora continua

* Correo electrónico: ailenet@ult.edu.cu

A PROPOSAL FOR A PROCEDURE TO PLAN THE PRODUCTION CAPACITY OF A COMPANY

ABSTRACT: The objective of this research was to design a procedure to plan the production capacity of a company. In order to develop the research, the direct observation, historical-logical, hypothetico-deductive and analytic-synthetic methods, as well as observation techniques, document reviews and surveys, were used. In addition, the Delphi method was applied to validate the procedure. The integration of positive aspects from eight of the consulted procedures and the inclusion of other aspects not addressed in the research were achieved. Moreover, production capacity planning is shown as a continuous improvement process.

KEYWORDS: production capacity planning / production planning / continuous improvement

1. INTRODUCCIÓN

El éxito en las organizaciones exige una continua adaptación de la empresa a su entorno, para lograr la máxima eficiencia en su funcionamiento interno. Es por esta situación dinámica de creciente complejidad, que las mismas se ven obligadas a apoyarse en nuevas herramientas y métodos que les permitan adaptarse a las condiciones cada vez más cambiantes de su medio. Una de las formas más efectivas de acoplarse a las realidades del ambiente es a través de técnicas de gestión.

La tendencia a la mejora de la organización del trabajo con fines de incrementar la productividad según Corrales Lima (2013) hace que se destaquen la gestión de la producción, dentro de la cual juega un papel fundamental la Organización Mundial del Trabajo.

Según Herrera Ochoa, Ramírez Castañeda y Mayorga Torres (2007), una proporción de empresas manufactureras (especialmente las pequeñas y medianas) desconocen la capacidad productiva teórica, instalada, disponible, necesaria y utilizada; esta es una debilidad organizacional y, especialmente, del proceso, ya que ignoran las potencialidades de los recursos, no determinan los cuellos de botella y no tienen base de datos para la toma de decisiones.

J. A. Domínguez Machuca, Álvarez Gil, M. Á. Domínguez Machuca, García González y Ruiz Jiménez (1995) y Urgal González y García Vázquez (2006) afirman que el modelo de planeación de las capacidades de producción en empresas productivas es una herramienta que valida este concepto y busca optimizar el proceso desde la planeación como respuesta organizacional a las exigencias del mercado.

Según plantea Estevez Torres (2019), la actividad productiva se ve afectada por las limitaciones impuestas por la capacidad disponible de los recursos máquina y por la mano de obra, es así como la formulación de la estrategia de ampliación de la capacidad, junto con los procesos de planeación y programación de las capacidades productivas se muestran como una de las temáticas más atractivas para la gestión de las operaciones.

Slack y Lewis (2017) plantean la gama de objetivos que se despliegan en los diferentes escenarios, dependiendo de la situación particular del sistema bajo estudio, e inclusive los propósitos particulares que presentan los subsistemas, orientados por diferentes planes, conllevan al desarrollo y formulación de un modelo para encaminar la planeación de capacidades.

Paredes Medina (1 de octubre de 2013) plantea que, si una empresa toma la decisión de hacer más de un producto o servicio, la planeación de la capacidad es la primera actividad que se debe llevar a cabo.

Chase Aquilano y Jacobs (2005) y J. A. Domínguez Machuca *et al.* (1995) establecen que la gestión de la capacidad de producción y las decisiones que conllevan a su desarrollo deben dirigirse desde el nivel directivo de la organización; otros como Slack y Lewis (2017)

y Heizer y Render (2015) coinciden en que las decisiones de capacidad pueden analizarse desde tres niveles o tres horizontes de tiempo: corto plazo, mediano plazo y largo plazo.

La provincia de Las Tunas está ubicada en la región oriental de Cuba, la misma cuenta con catorce organizaciones que se dedican a la producción de bienes. En visitas a estas corporaciones se descubrió que hay un desconocimiento por parte de ellas mismas sobre la capacidad disponible que tienen, lo cual les impide asumir nuevos clientes, desarrollar nuevos productos y utilizar eficazmente la mano de obra, las materias primas y las instalaciones.

Autores como J. A. Domínguez Machuca *et al.* (1995); Acevedo Suárez, Gómez Acosta, Urquiaga Rodríguez y Hernández Torres (2002); Herrera Ochoa *et al.* (2007); Londoño Arboleda (2014); Igarza (2015); Oliva Gómez (2013); Urgal González y García Vázquez (2006) y Paredes Medina (1 de octubre de 2013) han contribuido al desarrollo de la planeación de las capacidades de producción, con pasos, metodologías y procedimientos. Tomando como referencia sus principales aportes y limitaciones, siguiendo las pautas del proceso de planificación del modelo de administración que plantea Luna González (2014) y la metodología de mejora continua o ciclo de Deming, el objetivo de la presente investigación se basa en diseñar un procedimiento para la planeación de las capacidades de producción en una empresa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el transcurso del proceso de investigación se visitaron catorce empresas ubicadas en la provincia de Las Tunas, Cuba, para conformar la población objeto de estudio, las cuales poseen diferentes características en cuanto a su sistema de producción e industria. A continuación, se muestra en la tabla 1 la composición por sectores de la población seleccionada. Están presentes en el estudio seis sectores industriales que se encuentran en desarrollo en el país.

Tabla 1
Composición de la población seleccionada

Clasificación de las empresas	Total
Industria ligera	3
Industria pesada	2
Industria alimentaria	4
Agricultura	2
Construcción	2
Industria azucarera	1
Total	14

Elaboración propia

Posteriormente, se clasificó la población según el tipo de producción (homogénea o heterogénea), siguiendo los criterios que plantea Acevedo Suárez *et al.* (2002), lo cual puede verse en la tabla 2.

Tabla 2
Clasificación del tipo de producción

Clasificación	Total
Producciones homogéneas	10
Producciones heterogéneas	4

Elaboración propia

Por otro lado, utilizando la clasificación que plantean Acevedo Suárez *et al.* (2002) y Heizer y Render (2015), se clasificaron los sistemas de producción de cada una de las empresas estudiadas y los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
Clasificación del sistema de producción de empresas estudiadas

Relación productor-consumidor		
Contra almacén	Entrega directa con cobertura en el ciclo de entrega	Entrega directa sin cobertura en el ciclo de entrega
6	6	2
Forma de ejecutar la producción		
Por ritmo	Programado	Por pedidos
5	5	4
Tipo de producción		
En masa	En serie	Unitaria
9	3	2

Elaboración propia

Se determinó la población de 112 directivos implicados en el proceso de planeación de la producción. Se aplicaron encuestas a las 96 personas con un nivel de confianza del 99 % y un margen de error del 5 %, entre ellos, directores, jefes de producción, jefes de turno, especialistas comerciales, jefes de personal, especialistas económicos e inversionistas; para conocer cómo se realizaba el proceso de planeación de las capacidades en sus respectivas organizaciones y saber sus consideraciones sobre los aspectos a tener en cuenta en dicho proceso.

Teniendo en cuenta lo planteado por Chase *et al.* (2005) y J. A. Domínguez Machuca *et al.* (1995), quienes establecen que la gestión de la capacidad de producción y las decisiones que conllevan a su desarrollo deben promoverse en el nivel directivo de la organización.

El procedimiento diseñado tiene en cuenta la metodología del ciclo de dirección: planificar, organizar, dirigir y controlar que plantean Guzmán Campos y Motejo Quiros (6 de noviembre del 2013); Fernández León (12 de septiembre del 2013); Luna González (2014) y Thompson y Antezana (septiembre del 2006).

Este procedimiento solo abarca la fase de planificar, en la cual, según Luna González (2014), se analiza la situación actual de la empresa, se visualiza el futuro de la misma, determinándose los objetivos y recursos necesarios para alcanzar dichos objetivos, y se establece la estrategia de la empresa.

Además, se basa en la metodología de mejora continua o ciclo de Deming (Colorado, 2019), la cual plantea cuatro fases: planificar, hacer, verificar y actuar. En la fase *planificar* se tuvieron en cuenta las investigaciones realizadas por J. A. Domínguez Machuca *et. al* (1995) y Paredes Medina (1 de octubre de 2013) que plantean el análisis de la demanda, además, se incluyó el análisis de los proveedores lo cual fue resultado de las encuestas realizadas. En la fase *hacer* se determinaron las capacidades de producción según Acevedo Suárez *et al.* (2002) y Londoño Arboleda (2014). En la etapa *verificar* se definieron, según los resultados anteriores, la estrategia a llevar a cabo y las acciones para dar cumplimiento a la estrategia, para eso se tuvo en cuenta a Paredes Medina (1 de octubre de 2013). En la última etapa, que corresponde con la fase *actuar* del ciclo de Deming, se implementaron las acciones y se evaluaron los resultados.

Posteriormente, se aplicó el método Delphi para la validación del procedimiento diseñado. Es importante señalar que los diez expertos fueron seleccionados entre directivos, especialistas de producción de empresas del territorio y docentes especialistas en el tema.

Se encuestaron a los expertos para autoevaluar el nivel de conocimiento sobre el tema (ANC), se les solicitó que marcaran en una escala del 1 al 10 su autoevaluación al respecto. Y se determinó el coeficiente de conocimiento (Kc) como se muestra en la fórmula (I).

$$K = 0,5(Kc + Ka) \quad (I)$$

Para determinar el coeficiente de argumentación de los especialistas (Ka), se tuvieron en cuenta elementos importantes como: su conocimiento acerca de la producción, sus

años de experiencia, sus conocimientos teóricos y sus posibilidades de identificación de las fortalezas y debilidades de la planeación de la producción en cualquier industria.

Cada uno de los especialistas se autoevaluó estos aspectos, calificándose en tres niveles (alto, medio y bajo). Se ofrece el patrón de comparación utilizado para evaluar el coeficiente de argumentación de los expertos propuestos (Ka), donde se le atribuye a cada categoría una puntuación según su grado de importancia e influencia.

Con los valores obtenidos del coeficiente de conocimiento y el de argumentación, se calculó el coeficiente de competencia (K), utilizando la fórmula (II), con lo cual, finalmente, queda constituido el comité de expertos seleccionado.

$$K = 0,5(Kc + Ka) \quad (II)$$

Para establecer y comparar los niveles de competencia de los expertos propuestos, se utilizó la siguiente escala: alta ($0,7 < K < 1,0$), media ($0,5 < K < 0,7$) y baja ($K < 0,5$). De acuerdo con este criterio, fueron seleccionados nueve expertos (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10), por poseer un alto nivel de competencia.

3. RESULTADOS

El procedimiento consta de cuatro etapas y diez pasos, los mismos se describen a continuación:

3.1 Etapa 1. Evaluación del mercado

- *Paso 1. Análisis del mercado*

El objetivo fundamental fue evaluar el comportamiento del mercado incluyendo los clientes, los proveedores y los competidores. Las técnicas a aplicar fueron: segmentación de mercado y estudios de mercado, encuestas, matriz de perfil competitivo de la empresa, matriz BCG (matriz de Boston Consulting Group) y matriz de Mckinsey.

- *Paso 2. Análisis de la demanda*

El objetivo fundamental fue conocer la demanda futura de un producto. Las técnicas a aplicar fueron el análisis de tendencias, las series históricas y las series temporales.

3.2 Etapa 2. Evaluación de la capacidad

- *Paso 3. Cálculo de las capacidades actuales*

El objetivo fundamental fue calcular las capacidades actuales. Se podía aplicar el procedimiento propuesto por Acevedo Suárez *et al.* (2002) y Londoño Arboleda (2014), entre otros, sin embargo, dependía del tipo de producción que se realizara en la fábrica y sus respectivas características.

- *Paso 4. Determinación del coeficiente de utilización de la capacidad*

Para determinar este coeficiente se dividió la capacidad utilizada entre la capacidad disponible y se multiplicó por cien para expresarlo en porcentaje.

- *Paso 5. Análisis de los factores que determinan la magnitud de la capacidad y su nivel de utilización*

Para llevar a cabo este paso se tuvieron en cuenta los factores que propone J. A. Domínguez Machuca *et al.* (1995) y Acevedo Suárez *et al.* (2002). Para determinarlos se aplicaron las encuestas, la observación y el método Delphi.

3.3 Etapa 3. Planeación

- *Paso 6. Aplicación de la matriz demanda-capacidad*

Se realizó la matriz demanda-capacidad que no es más que el análisis de la expresión $\frac{\text{demanda}}{\text{capacidad}}$.

Si $\frac{\text{demanda}}{\text{capacidad}} <$ entonces estamos en la región I.

Si $\frac{\text{demanda}}{\text{capacidad}} >$ entonces estamos en la región II.

El estado ideal es en el cual $\frac{\text{demanda}}{\text{capacidad}} = 1$.

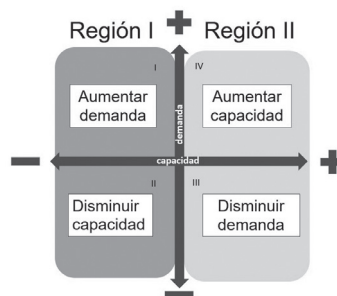


Figura 1. Matriz demanda-capacidad

Elaboración propia

- *Paso 7. Definición de la estrategia*

En dependencia de la región en la cual se encontrará la matriz demanda-capacidad, y con el posicionamiento en el mercado, los proveedores, los clientes y el ciclo de vida del producto se decidía la estrategia; para ello se utilizó la matriz cuantitativa para valorar estrategias.

- *Paso 8. Propuesta de acciones para dar cumplimiento a la estrategia*

En este paso se propusieron las acciones de la estrategia, según el cuadrante identificado a partir de la relación demanda-capacidad. A cada región le corresponden dos cuadrantes, cada uno de los cuales tiene estrategias diferentes. En la tabla 4 se sugirieron las medidas generales en correspondencia con los resultados obtenidos en los pasos 6 y 7.

Tabla 4
Medidas generales

Región I	
Cuadrante I	Reducir precios. Mejorar el mercadeo. Adaptarse al mercado a partir de cambios en los productos.
Cuadrante II	Vender instalaciones, vender inventarios, despedir trabajadores o transferirlos. Guardar instalaciones o colocarlas en estado de reserva. Desarrollar e introducir nuevos productos.
Región II	
Cuadrante III	Aumentar el precio. Programar largos períodos de entrega. Dejar de estimular negocios con beneficios marginales.
Cuadrante IV	Adquirir nuevas instalaciones, equipos o mano de obra. Expandir las instalaciones existentes o reactivar alguna en estado de reserva. Analizar los cuellos de botella que limitan las capacidades y decidir sobre su eliminación o mejoramiento.

Fuente: Estevez Torres (2019)

3.4 Etapa IV. Implementación

- *Paso 9. Implementación de las acciones*

Se llevaron a cabo las medidas planteadas en el paso anterior; la aplicación de estas acciones quedó por parte de la empresa.

- **Paso 10. Evaluación de los resultados**

Se evaluaron los resultados obtenidos y de ser necesario se volvía al paso 1 para analizar nuevamente el mercado o al paso 8 para proyectar nuevas soluciones en caso de que las adoptadas no cumplieran su objetivo.

A modo resumen, la calidad de la planificación de las capacidades quedó determinada por la aplicación sistemática del procedimiento; se recomienda la realización de un estudio de este tipo una vez al año, para perfeccionar la planificación.

A continuación, en la figura 2 se muestra el esquema del procedimiento diseñado.

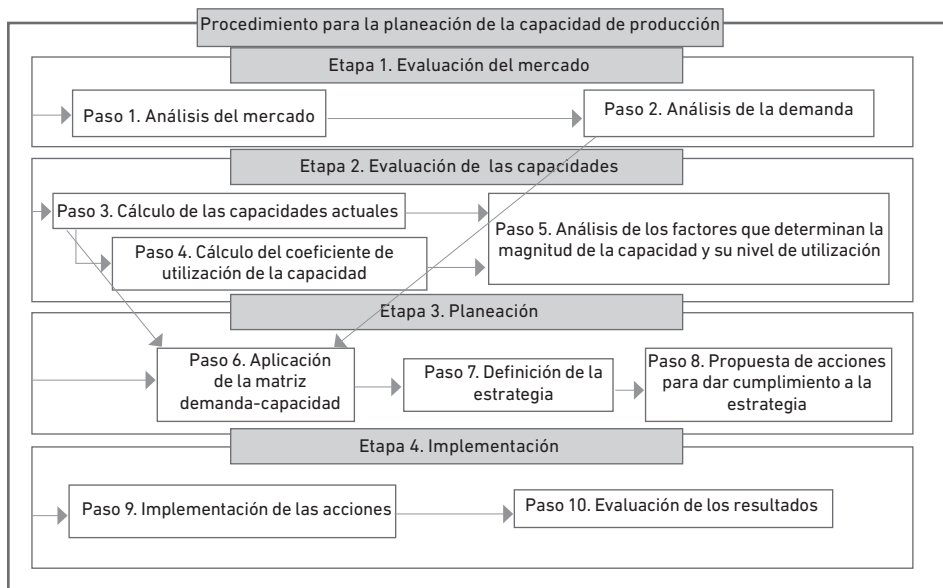


Figura 2. Diseño del procedimiento para la planeación de las capacidades de producción
Elaboración propia

3.5 Validación del procedimiento mediante método de expertos

Para evaluar la viabilidad de la aplicación del procedimiento propuesto, se aplicó una encuesta a los expertos donde se obtuvo el siguiente resultado:

- El 100 % cree que es necesario la aplicación del procedimiento diseñado.
- El 90 % considera que el procedimiento diseñado se adapta a las características de cualquier empresa productiva.
- El 95 % plantea que existe una secuencia lógica de las etapas, las fases y los pasos.

- Los expertos coinciden 100 % que facilitaría el proceso de toma de decisiones, contribuiría a minimizar las deficiencias en la planeación de la producción y que tiene grandes posibilidades de generalización.

4. DISCUSIÓN

Igarza (2015) propone una metodología para la planificación de la producción en el taller de estructuras metálicas, en la empresa METUNAS; también Oliva Gómez (2013) propone un procedimiento para determinar la capacidad productiva en la línea de muebles de madera para la producción de sillas de restaurante #1 en la empresa de muebles y lámparas, LUDEMA, de Las Tunas, ambos desarrollaron sus investigaciones en las empresas objeto de estudio, pero por ser empresa con producciones unitarias y que sus procedimientos solo contemplan un solo tipo de surtido no pudieron adaptarse a otras producciones.

En el caso de Acevedo Suárez *et al.* (2002), propone un procedimiento para el cálculo, balance y análisis de las capacidades de producción de una empresa, pero no contempla herramientas de planificación ni de gestión.

J. A. Domínguez Machuca *et al.* (1995) plantea un procedimiento, pero no toma en cuenta la planificación como un proceso continuo.

El procedimiento diseñado constituye una poderosa herramienta de planificación. Garantiza que se tenga en cuenta el mercado y el análisis de la demanda para proyectar la capacidad y tomar medidas al respecto.

La aplicación de este procedimiento, además, evita perder nichos del mercado a la empresa. Tiene en cuenta el análisis de los proveedores, aspecto que no está incluido en ninguno de los procedimientos analizados. Esto permite garantizar que el nivel de inventario se mantenga en niveles óptimos en todo momento, es decir, que no haya exceso o falta de existencias.

Por otro lado, garantiza que se logre una utilización óptima de la capacidad de producción, mediante una programación adecuada de los elementos de la máquina, lo que reduce el tiempo de inactividad y el exceso de uso. También garantiza que el tiempo de producción se mantenga en un nivel óptimo y, por lo tanto, aumente la productividad.

En el procedimiento se establece la planeación de las capacidades de producción como un proceso sistemático y en mejora continua al estar en plena correspondencia con el ciclo de Deming.

5. CONCLUSIONES

La sistematización de los referentes teóricos permitió establecer las bases de la planeación de las capacidades de producción y su importancia en el desarrollo de una empresa.

Se logró integrar aspectos positivos de ocho de los procedimientos consultados e incluir otros aspectos que no fueron abordados por los mismos.

El diseño del procedimiento para la planeación de las capacidades de producción permitió obtener una herramienta precisa para contribuir a la planeación de la producción. El mismo es aplicable a empresas con producciones homogéneas y heterogéneas.

El procedimiento, además, está en plena correspondencia con el ciclo de Deming o el ciclo de mejora continua, aspecto que no ha sido abordado en ninguno de los procedimientos consultados.

REFERENCIAS

- Acevedo Suárez, J. A., Gómez Acosta, M. I., Urquiaga Rodríguez, A. J., y Hernández Torres, M. (2002). *Organización de la producción y los servicios*. La Habana: Ediciones CUJAE.
- Chase, R. B., Aquilano, N. J., y Jacobs, F. R. (2005) *Administración de producción y operaciones para una ventaja competitiva*. México D. F.: McGraw-Hill.
- Colorado, F. (2019). *El ciclo PHVA de Deming y el proceso administrativo de Fayol*. Recuperado de https://www.academia.edu/5110051/3_Articulo_El_Ciclo_PHVA_de_Deming_y_al_Proceso_Administrativo_de_Fayol
- Corrales Lima, Y. X. (2013). *Estudio de organización del trabajo en el taller de geomática de la Agencia Geocuba Las Tunas* (tesis de grado). Universidad de Las Tunas, Cuba. Recuperada de <http://hdl.handle.net/123456789/1732>
- Domínguez Machuca, J. A., Álvarez Gil, M. J., Domínguez Machuca, M. Á., García González, S., y Ruiz Jiménez, A. (1995). *Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios*. Madrid: McGraw-Hill.
- Estevez Torres, A. (2019). *Procedimiento para la planeación de las capacidades de producción. Caso de estudio muebles de habitaciones para el turismo en la UEB Muebles Ludema* (tesis de maestría). Universidad de Las Tunas, Cuba. Recuperado de <http://hdl.handle.net/123456789/4039>
- Fernández León, O. (12 de septiembre del 2013) Planificar, organizar, liderar y controlar o el arte de gestionar nuestros despachos. *Legal Today*. Recuperado de <https://www.legaltoday.com/opinion/blogs/gestion-del-despacho-blogs/>

blog-manual-interno-de-gestion/planificar-organizar-liderar-y-controlar-o-el-arte-de-gestionar-nuestros-despachos-2013-09-12/

Guzmán Campos, A. E., y Motejo Quiros, A. M. (6 de noviembre del 2013). El proceso administrativo según varios autores. *Gestiopolis*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/el-proceso-administrativo-segun-varios-autores/>

Heizer, J., y Render, B. (2015). *Dirección de la producción. Decisiones estratégicas*. Madrid: Pearson Educación.

Herrera Ochoa, O. J., Ramírez Castañeda, L. N., y Mayorga Torres, O. (2007). Aplicación del modelo de planeación de las capacidades productivas en empresas manufactureras en una pyme del sector calzado. *Memorias, Revista Nacional de Investigaciones*, 5(9), 28.

Igarza, Y. R. (2015). *Propuesta de una metodología para la planificación de la producción en el taller de estructuras metálicas de la empresa METUNAS* (tesis de grado). Universidad de Las Tunas, Cuba.

Londoño Arboleda, M. F. (2014). *Planeación de la capacidad de producción para la nueva fábrica de muebles de la empresa Iván Botero Gómez S. A.* (tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. Recuperada de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52715/9729922.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Luna González, C. A. (2014). *Proceso administrativo*. México D. F.: Grupo Editorial Patria.

Oliva Gómez, A. I. (2013). *Propuesta de procedimiento para determinar la capacidad productiva en la línea de muebles de madera para la producción de sillas de restaurante #1 en la Empresa de Muebles y Lámparas (LUDEMA) de Las Tunas* (tesis de grado). Universidad de Las Tunas, Cuba.

Paredes Medina, W. F. (1 de octubre del 2013). Capacidad del sistema de producción, conceptos generales. *Gestiopolis*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/capacidad-del-sistema-de-produccion-conceptos-generales/>

Slack, N., y Lewis, M. (2017). *Operations Strategy* (4.ª ed.). Londres: Pearson.

Thompson B., J. M., y Antezana, J. (septiembre de 2006). El proceso administrativo. *Promonegocios.net*. Recuperado de <https://www.promonegocios.net/administracion/proceso-administrativo.html>

Urgal González, B., y García Vázquez, J. M. (2006). Decisiones de producción, capacidades de producción y prioridades competitivas: Un estudio aplicado al sector de metal en España. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 12(3), 133-149.

**CALIDAD
Y MEDIOAMBIENTE**

Quality and Environment

ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD DEL SELLADO EN VIALES UTILIZADOS EN EMPRESAS BIOTECNOLÓGICAS

EDISBEL MUÑOZ GONZÁLEZ*

<https://orcid.org/0000-0002-0199-7442>

Centro Nacional de Biopreparados, BioCen, Cuba

ANTONIO ENRIQUES GASPAR*

<https://orcid.org/0000-0002-3626-2227>

Centro Nacional de Biopreparados, BioCen, Cuba

ARMANDO DÍAZ CONCEPCIÓN*

<https://orcid.org/0000-0001-9849-0826>

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cuba

ABEL CRUZ BAYO*

<https://orcid.org/0000-0002-3126-6026>

Centro Nacional de Biopreparados, BioCen, Cuba

ALEXEI FERNÁNDEZ DURAND*

<https://orcid.org/0000-0001-5172-5499>

Centro Nacional de Biopreparados, BioCen, Cuba

Recibido: 6 de julio del 2020 / Aprobado: 10 de noviembre del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5147>

RESUMEN: El objetivo de la investigación fue caracterizar la integridad del sellado de los viales para productos farmacéuticos, como base de un análisis de confiabilidad operacional. Se utilizó el método de medición de la altura del conjunto vial/tapón/sello, métodos experimentales y análisis de expertos. El principal resultado consistió en la caracterización técnica del retape, así como el establecimiento de sus rangos y parámetros de trabajo.

PALABRAS CLAVE: confiabilidad operacional / retape / análisis de expertos / integridad del sellado / viales

* Correos electrónicos: edisbel@biocen.cu; gaspar@biocen.cu; adiaz@ceim.cujae.edu.cu; abel.cruz@biocen.cu; alexei.fdez@biocen.cu

AN ANALYSIS OF SEAL INTEGRITY OF VIALS USED IN BIOTECHNOLOGY COMPANIES

ABSTRACT: The research objective was to characterize the seal integrity of vials used for pharmaceutical products as a basis for an operational reliability analysis. The vial/stopper/seal height measuring method, experimental methods and expert evaluations were used. The main result was the technical characterization of the vial capping process, as well as the determination of its working parameters and ranges.

KEYWORDS: operational reliability / capping / expert evaluation / seal integrity / vials

1. INTRODUCCIÓN

La confiabilidad de procesos es la probabilidad de que un conjunto de actividades o eventos (coordinados u organizados) se realicen o sucedan (alternativa o simultáneamente) bajo ciertas circunstancias con un fin determinado. Permite asegurar la operación confiable de los procesos dentro de los parámetros de diseño, bajo un contexto operacional establecido, utilizando procedimientos operativos y buenas prácticas de operación para cumplir con los objetivos del negocio (Díaz-Concepción, Villar-Ledo, Rodríguez-Piñeiro, del Castillo-Serpa y Cabrera-Gómez, 2018; García Palencia, 2012). Cumplir con estos elementos de calidad hace que el proceso de operación-mantenimiento tenga los resultados esperados.

Los productos parenterales son productos que deben ser estériles y se pueden obtener a través del procesamiento aséptico, además de otras vías, los mismos son envasados normalmente en un conjunto de bulbos de cristal, tapones de goma y sellos de aluminio/plástico del tipo pestaña. El diseño de estos componentes, conocidos como material de envase primario, debe ser muy cuidadoso al igual que la elección y combinación de sus componentes para asegurar la protección del producto parenteral durante todo su ciclo de vida que va desde la producción hasta el cliente final: el paciente. El diseño debe incluir las dimensiones, especificaciones del material y la maquinabilidad de todo el conjunto y de cada uno en particular (BioCen, 2011, 2013).

Una vez elaborados y envasados en su forma final estos productos requieren ser protegidos de una serie de factores externos como: agentes biológicos, agentes estresantes externos como el oxígeno y la humedad. Estas razones hacen tan importante mantener un alto grado de integridad del sellado en su conjunto lo cual actúa sobre la calidad dentro de la confiabilidad de los procesos. Las autoridades regulatorias brindan una seria atención al mantenimiento de la integridad del sellado (Cecmed, Autoridad Reguladora de Medicamentos, Equipos y Dispositivos Médicos de la República de Cuba, 2017).

El proceso de sellado del vial es una compleja interacción, no solo del conjunto vial/ tapón y sello, sino también del equipamiento de las líneas de llenado, así como de las habilidades del personal encargado de realizar los ajustes y de comprobar la calidad de este sellado.

Históricamente, las máquinas para el retape han evolucionado de acuerdo con los avances tecnológicos de la industria biotecnológica y con las normativas establecidas por los órganos regulatorios, así como con las recomendaciones y guías de asociaciones de técnicos y profesionales con alta experticia en el tema. Actualmente, los dispositivos de retape instalados en las líneas de llenado son generalmente de tres tipos:

- Cuchillas giratorias (por lo general tres).
- Raíl fijo.

- Cuchillas libres (por lo general una).

Para lograr una elevada confiabilidad operacional en sistemas complejos (Grubessich *et al.*, 2017) es necesario que los procesos se caractericen por asegurar la producción requerida con costos totales razonables, gracias a una mínima ocurrencia de fallas, con planes que garanticen la producción establecida, riesgos a un nivel aceptable y un personal altamente motivado, por lo que cualquier acción que se realice sobre el sistema deberá tener presente los cuatro elementos que la caracterizan, los cuales son la confiabilidad de equipos, la confiabilidad de procesos, la confiabilidad humana y la mantenibilidad (Ding, Cheng, Zhang y Xue, 2014). Otros elementos a cumplir son los requisitos de calidad (D. Zhang y Y. Zhang, 2016).

En la actualidad, la obtención del producto final, en esta empresa biofarmacéutica, está siendo afectada por fallas en el área de llenado, fundamentalmente, en el proceso de retape por aumento de las pérdidas y el rechazo del producto final, afectando la confiabilidad de los procesos y, por tanto, la confiabilidad operacional de la entidad; generando entonces la necesidad, desde el punto de vista de mejora de la confiabilidad, de trazar acciones correctivas para la mejora de la misma, cumpliendo lo establecido en referencias a procesos de producción que afectan la confiabilidad de dichos procesos (Grubessich *et al.*, 2017; Dell'isola y Vendittelli, 2015).

Ante la problemática planteada, en la búsqueda bibliográfica no se encontraron trabajos que realizaran de forma análoga a esta investigación un análisis similar, por lo tanto, la investigación trazó como objetivo el caracterizar la integridad del sellado de los viales, en cuanto a la calidad y a la confiabilidad, proponiendo los niveles de compresión del tapón en diferentes tipos de mecanismos o dispositivos de retape utilizados en una empresa biotecnológica.

Los principales resultados se enmarcaron en la obtención de los parámetros y rangos de trabajo de los diferentes tipos de dispositivos de retape en las líneas de llenado de dicha empresa, garantizando así una mejora en la confiabilidad operacional, principalmente, la referida a los procesos donde se tienen presentes los parámetros de cumplimiento de la calidad, minimizando así los riesgos de rechazo por retape defectuoso y por contaminación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema de envase primario que se analizó fue un conjunto con los componentes siguientes: vial de vidrio de calidad electrolítica, tapón de elastómero de goma y sello de aluminio/plástico del tipo pestaña. Este tipo de conjunto se utilizó tanto para productos líquidos como liofilizados. Se utilizó el método de "medición de la altura del conjunto vial/tapón/sello" (Mathaes *et al.*, 2016). Se emplearon los datos de una entidad biotecnológica

obtenidos de sus bases de datos de operación y referentes a los años 2018-2019 en lo concerniente a las pérdidas de productos y a las inconformidades en el proceso de llenado de bulbos.

2.1 Materiales primarios

2.1.1 Viales de vidrio

Los viales de vidrio son obtenidos de manera preferente a través de tubos de vidrio de calidad electrolítica porque presentan menos defectos cosméticos y poseen una mayor consistencia dimensional en comparación con los viales obtenidos por moldes.

2.1.2 Tapones de gomas

La capacidad de un tapón de goma de sellar un vial es una combinación de propiedades mecánicas y parámetros dimensionales. La combinación de su elasticidad y viscosidad permiten un sellado apropiado del vial durante el proceso de retape. La viscosidad permite al tapón "fluir" dentro de las imperfecciones del área de sellado del vial. La elasticidad permite generar un nivel de compresión del tapón contra el labio superior del vial en el área de sellado. En el presente trabajo, se usaron tapones de los proveedores West y DatWyler (ver figura 1).



Figura 1. Tapones de goma

Fuente: Ovadia *et al.* (2019)

2.1.3 Sellos de aluminio/plástico

Los sellos de aluminio/plástico constituyen la parte más visible del sistema de sellado de los viales. Durante el proceso de sellado, el equipamiento de retape aplica una fuerza vertical sobre el conjunto vial/tapón/sello comprimiendo el tapón de goma. En el presente trabajo, se usaron sellos de los proveedores West y DatWyler (ver figura 2).



Figura 2. Sellos de aluminio/plástico tipo pestaña

Fuente: Ovadia *et al.* (2019)

2.2 Métodos

2.2.1 Métodos o pruebas de comprobación de la integridad del sellado en viales

En la actualidad existen varias pruebas para la comprobación de la integridad del sellado de viales. El nuevo proyecto del capítulo 1207.3 Package Seal Quality Test Methods de la USP (United States Pharmacopeia) está dirigido a caracterizar la calidad del sellado. A continuación, se mencionan algunos de los elementos de prueba para comprobar la integridad del sellado de viales:

- Inspección visual.
- Medición de la altura del conjunto vial/tapón/sello.
- RSF (fuerza residual del sellado).
- Tomografía computacional.
- Sensor de fuerza piezo-eléctrico.
- Pruebas de fugas.

2.2.2 Método utilizado. Medición de la altura del conjunto vial/tapón/sello

Este método consiste en la medición de la altura del conjunto vial/tapón/sello antes y después del retape. Es barato y del tipo no destructivo, pero es muy difícil de aplicar en el proceso de manufactura, además puede ser no representativo, por la cantidad de muestras del lote procesado.

El sellado del conjunto vial/tapón/sello se produce gracias a las propiedades intrínsecas del tapón de goma (Ovadia *et al.*, 2019), estas propiedades son:

- a) Elasticidad: al aplicarse una fuerza vertical se induce una tensión interna. Esta tensión se convierte en energía interna que se conoce como RSF (*residual seal-force*, fuerza residual del sellado).
- b) Fluencia: al aplicarse una fuerza vertical el tapón de goma “fluye”. Este movimiento sella las holguras microscópicas que existen en el labio superior del vial con el collarín del tapón de goma.

De lo anteriormente expuesto se deduce que el sellado del conjunto vial/tapón/sello se produce debido a la compresión del tapón de goma contra el labio del vial y gracias a las propiedades del propio tapón de goma. El objetivo del sello, en este proceso, es mantener la compresión del tapón contra el vial.

La compresión se puede medir a través de la diferencia de altura del conjunto vial/tapón/sello antes y después del retape. La resultante C (ver figura 3) sería el nivel de compresión de conjunto vial/tapón/sello.

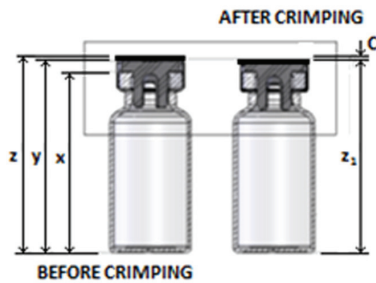


Figura 3. Medición de la compresión del conjunto vial/tapón/sello

Fuente: Ovadia *et al.* (2019)

Donde:

x: altura del vial

y: altura vial + tapón

z: altura vial + tapón + sello (conjunto) antes del sellado

z_1 : altura vial + tapón + sello (conjunto) después del sellado

C: diferencia $z - z_1$

La medición de la compresión del conjunto vial/tapón/sello (dada por la compresión del tapón de goma) se releva problemática en las condiciones de manufactura. Por esa razón, la fuerza que aplica el collarín del tapón contra el labio superior del bulbo (conocida como RSF) se toma como una referencia final del nivel de compresión del tapón de goma (Ovadia *et al.*, 2019).

Es una medición indirecta del nivel de compresión, sin embargo, es bastante representativa de la misma y puede ser medida y registrada con relativa facilidad tanto en el proceso de manufactura como por los departamentos de control de la calidad.

La prueba de la RSF, actualmente, se recoge en la USP 1207 Package Integrity Evaluation – Sterile Products, capítulo 1207.3 Packaging Seal Quality Test Methods.

2.3 Marco regulatorio de la comprobación de la integridad del sellado en viales

Para garantizar una mayor calidad y seguridad de los productos farmacéuticos, a partir de la década de los noventa, una serie de normas, guías, recomendaciones y regulaciones relacionadas con la integridad del sellado de viales fueron publicados por la FDA (U. S. Food and Drug Administration) y otras autoridades regulatorias en el mundo. Muchas de estas son de obligatorio cumplimiento en la industria farmacéutica. A continuación, se mencionan algunas de ellas (Mathaes *et al.*, 2016):

- FDA, Container Closure Systems for Packaging Human Drugs and Biologics, Guidance for Industry, 1999.
- USP 38, 1207 Package Integrity Evaluation – Sterile Products, 1207.3 Package Seal Quality Test Methods.
- FDA, Container and Closure System Integrity Testing in Lieu of Sterility Testing as a Component of the Stability Protocol for Sterile Products, Guidance for Industry, 2008.
- USP 40, 381 Elastomeric Closures for Injections, 2015.
- USP 40, 660 Containers – Glass, 2015.

2.4 Equipamiento y dispositivos de retape

El equipamiento de retape con los dispositivos tecnológicos para el mismo presenta variedad en cuanto al diseño, forma y composición. Sin embargo, pueden delimitarse tres tipos fundamentales.

- a) Cabezal de retape con cuchillas o rodillos giratorios (Bausch+Ströbel, 1991, 2006).
- b) Cuchilla o rail fijo (Bausch+Ströbel, 2009).
- c) Cuchillas libres (Bausch+Ströbel, 2016).

2.5 Toma de decisiones

En la figura 4 (Benítez-Montalvo, Díaz-Concepción, Cabrera-Gómez, García-Palencia y Maura-Echenique, 2016), se muestran los elementos integrantes de la confiabilidad operacional.

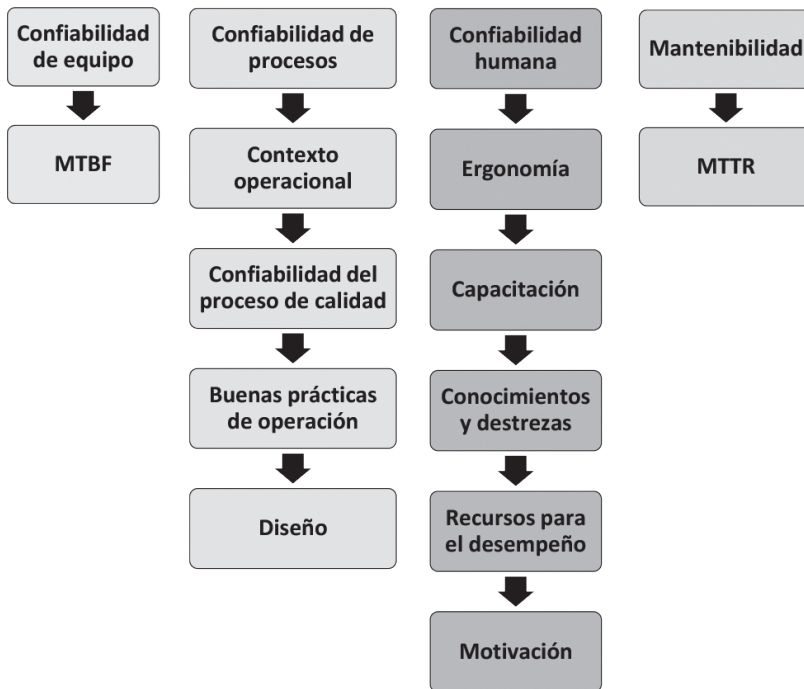


Figura 4. Elementos integrantes de la confiabilidad operacional y de la confiabilidad de procesos

Fuente: Benítez-Montalvo *et al.* (2016)

De la figura 4 se observa que uno de estos elementos es la confiabilidad de procesos y dentro de ella se encuentran variables del proceso de operación como son la calidad, el contexto operacional, entre otros, siendo este elemento el referente de la investigación.

Para la toma de decisiones, se seleccionó un grupo de especialistas referenciados por la entidad biotecnológica y se aplicó el método de cálculo de coeficiente de expertos para determinar si los mismos podían ser tomados para conformar el grupo de trabajo encargado de tomar decisiones y para apoyar en la investigación en los diferentes planteamientos que se hicieran (Cabero Almenara y Barroso Osuna, 2013). La experticia de los convocados se determinó por un coeficiente de competencia que se calcula de acuerdo con la opinión del especialista sobre su nivel de conocimiento acerca del problema que se está resolviendo y con las fuentes que le permiten argumentar sus criterios (Más Basnuevo *et al.*, 2014).

3. RESULTADOS

Para la propuesta de parámetros de trabajo, se realizó una consulta de expertos a partir de los especialistas propuestos por la entidad, los resultados de la aplicación del método de expertos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1
Resumen de la selección de expertos

Especialistas	K_c	K_a	K
1	0,9	0,994	0,947
2	0,9	0,998	0,949
3	0,8	0,897	0,848
4	0,8	0,798	0,799
5	0,8	0,796	0,798
6	1,0	0,794	0,897
7	0,3	0,652	0,476
8	0,9	0,796	0,848

Elaboración propia

Se aceptaron como expertos a todos los especialistas que obtuvieron calificación superior a 0,6, desechándose de la lista al especialista 7.

En la tabla 2 se muestran las principales características comparativas de los dispositivos.

Tabla 2
Comparación de dispositivos de retape utilizados en la entidad

Dispositivo	Ventajas	Desventajas
Cabezal con cuchillas giratorias	Proceso simétrico de aplicación de fuerzas en la horizontal.	Mantenimiento alto, alta generación de partículas. Complejidad de ajuste de parámetros de trabajo.
Cuchilla o raíl fijo	Simplicidad, menos partes móviles. Alta velocidad de trabajo.	Es un proceso asimétrico de aplicación de fuerzas en la horizontal, generación media de partículas.
Cuchillas libres	Baja generación de partículas, facilidad de ajuste de parámetros de trabajo.	Velocidades medias de trabajo.

Elaboración propia

3.1 Caracterización de parámetros de trabajo del sellado de viales

Para caracterizar los parámetros de trabajo de los dispositivos para el retape se realizaron corridas de pruebas en diferentes formatos y líneas de llenado. Las corridas fueron uniformes en cada línea, se seleccionaron las líneas de llenado cada una con un sistema de retape diferente

Para la realización de las corridas experimentales fueron registradas las alturas de todos los elementos, antes y después del retape; esto permitió calcular la deformación del conjunto vial/tapón/sello (en específico, del tapón de goma). Las muestras fueron llenadas con medios de cultivo y sumergidas en soluciones de productos biológicos para retar la integridad del sellado de viales. Estas muestras fueron, posteriormente, incubadas para determinar si hubo crecimiento y formación de colonias de entes patógenos.

Utilizando el método de medición de la altura del conjunto vial/tapón/sello y la utilización de medios de cultivo para retar la integridad del sellado de viales, se obtuvieron los siguientes resultados reflejados en la tabla 3.

Tabla 3
Niveles de compresión del tapón en diferentes tipos de mecanismos o dispositivos de retape de la entidad

Parámetro	Cabezal cuchillas giratorias	Rail fijo	Cuchilla libre
Porcentaje de la máxima compresión del tapón	41,49	43,23	40,31
Porcentaje de la mínima compresión del tapón	31,34	30,88	19,49
Porcentaje promedio de compresión del tapón	35,04	38,68	30,05

Elaboración propia

Los bulbos sellados y retapados con medios de cultivos dentro fueron puestos en incubadoras para ver si había crecimiento microbiano. Al no haberlo, se asumió que el sellado era correcto porque no hubo contaminación.

De esta forma, se dio cumplimiento al objetivo de este trabajo que consistía en la determinación de los rangos de compresión para los diferentes mecanismos o dispositivos de retape existente en la entidad que garantiza la calidad y confiabilidad de la integridad del sellado de los viales.

En la literatura disponible y en la organización no se pudo encontrar mucha información, como en referencias de otras investigaciones, por lo que no se pudo contrastar los resultados obtenidos con otros que se hubiesen publicado. Queda claro que el problema resuelto con el empleo de métodos científicos es propio de estas organizaciones que son de alta tecnología, pero no son publicables debido a que son logros de las entidades, quedando este aspecto como una de las insuficiencias de la investigación.

Otra carencia está referida al no haber podido calcular la confiabilidad de procesos, antes y después de realizados los cambios que se derivaron de esta investigación, al no estar disponible aún un modelo matemático que permitiera estimar en un valor numérico esta confiabilidad.

4. CONCLUSIONES

- Una vez analizados los resultados del nivel de compresión del tapón de goma, en cada uno de los mecanismos o dispositivos de retape, se concluye que el nivel óptimo de compresión está en el rango del 20 % al 45 % de la altura inicial del tapón para todos ellos.

- Estos valores fueron confirmados en la verificación con productos biológicos, pues los bulbos en este rango de trabajo no fueron contaminados por las soluciones biológicas a las que fueron expuestas.
- Una compresión mayor al 45 % no es recomendable, pues pudiera conllevar a una rotura física del material del tapón con una pérdida de la integridad del sellado y, por ende, la contaminación del producto con daños al paciente.
- De la misma forma, una compresión por debajo del 20 % no es recomendable, pues pudiera conllevar a la contaminación del producto con daños al paciente.

REFERENCIAS

- Benítez-Montalvo, R., Díaz-Concepción, A., Cabrera-Gómez, J., García-Palencia, O., y Maura-Echenique, A. (2016). Assessment of components of operational reliability in walk-in freezer. *Ingeniería Mecánica*, 19(2), 78-84.
- Cabero Almenara, J., y Barroso Osuna, J. (2013). La utilización del juicio de experto para la evaluación de TIC: el coeficiente de competencia experta. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 65(2), 25-38.
- Cecmed, Autoridad Reguladora de Medicamentos, Equipos y Dispositivos Médicos de la República de Cuba. (2017). Buenas Prácticas de Fabricación de Diagnosticadores. Recuperado de <https://www.cecmed.cu/sites/default/files/adjuntos>
- Díaz-Concepción, A., Villar-Ledo, L., Rodríguez-Piñeiro, A. J., del Castillo-Serpa, A., y Cabrera-Gómez, J. (2018). Análisis bibliográfico de la confiabilidad operacional en sistemas técnicos complejos. *Ingeniería Mecánica*, 21(2), 77-81.
- Dell'isola A., y Vendittelli A. (2015). Operational availability (Ao) of warships: A complex problem from concept to in service phase. *2015 IEEE Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace)*, 26-32.
- Ding, Y., Cheng, L., Zhang, Y., y Xue, Y. (2014). Operational reliability evaluation of restructured power systems with wind power penetration utilizing reliability network equivalent and time-sequential simulation approaches. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2(4), 329-340.
- García Palencia, O. (2012). *Gestión moderna en el mantenimiento industrial* (1.ª ed., vol. 1). Bogotá: Ediciones de la U.
- Grubessich, T., Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., González-Prida, V., y Pérès, F. (2017). Propuesta metodológica para aumentar el grado de comprensión de un sistema complejo mejorando el proceso de toma de decisión. *Dyna Ingeniería e Industria*, 92(4), 375.

- Más Basnuevo, A., Ramos Morales, L., González Pérez, F., Piloto Farrucha, M., Sánchez Sánchez, M., y Orozco Silva, E. (2014). Decisión multicriterio para la evaluación y selección de proyectos de ciencia e innovación. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 25(2), 249-256.
- Mathaes, R., Mahler, H. C., Buettiker, J. P., Roehl, H., Lam, P., Brown, H., ... Mohl, S. (2016). The pharmaceutical vial capping process: Container closure systems, capping equipment, regulatory framework, and seal quality tests. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, official journal of Arbeitsgemeinschaft fur Pharmazeutische Verfahrenstechnik e.V*, 99, 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2015.11.016>
- Ovadia, R., Streubel, A., Webb-Vargas, Y., Ulland, L., Luemkemann, J., Rauch, K., ... Maa, Y. F. (2019). Quantifying the vial capping process: residual seal force and container closure integrity. *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 73(1), 2-15. <https://doi.org/10.5731/pdajpst.2018.008797>
- Stenström, Ch., Parida, A., y Kumar, U. (2016). Measuring and monitoring operational availability of rail infrastructure. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230(5), 1457-1468. <https://doi.org/10.1177/0954409715592189>
- Zhang, D., y Zhang, Y. (2016). Dynamic decision-making for reliability and maintenance analysis of manufacturing systems based on failure effects. *Enterprise Information Systems*, 11(8), 1228-1242. doi:10.1080/17517575.2016.1212406

SELECCIÓN DE PROVEEDORES BAJO UNA ESTRATEGIA DE ABASTECIMIENTO MÚLTIPLE EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA

VERÓNICA AÍDA MORTARA*

<https://orcid.org/0000-0003-2387-2963>

LUCIANA BELÉN TABONE*

<https://orcid.org/0000-0003-3755-5336>

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

Recibido: 16 de octubre del 2020 / Aprobado: 23 de noviembre del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.4809>

RESUMEN: Para mantenerse competitivas, las organizaciones necesitan forjar relaciones estratégicas y colaborativas en su cadena de suministro. El objetivo del trabajo es diseñar un método de selección de proveedores bajo un entorno de abastecimiento múltiple. La metodología propuesta combina el proceso analítico de jerarquías y la programación por metas. En su aplicación, resulta indispensable la colaboración de los actores involucrados. El modelo obtiene la mejor combinación de proveedores, las cantidades a pedir a cada uno y permite sistematizar el proceso de selección en consistencia con la estrategia empresarial y las prioridades competitivas.

PALABRAS CLAVE: selección de proveedores / abastecimiento / proceso analítico de jerarquías / programación por metas

SUPPLIER SELECTION UNDER A MULTI-SOURCING STRATEGY IN A METALWORKING COMPANY

ABSTRACT: To stay competitive, organizations need strategic and collaborative relationships with their supply chain. This research aims to design a method for supplier selection under a multi-sourcing environment. The proposed methodology combines the analytic hierarchy process and goal programming. The collaboration of the actors involved is essential for its application. The model selects the best combination of suppliers and the quantities to order from each one. It also allows systematizing the supplier selection process in accordance with the business strategy and competitive priorities.

KEYWORDS: supplier selection / sourcing / analytic hierarchy process / goal programming

* Correos electrónicos: vmortara@fi.mdp.edu.ar, ltabone@fi.mdp.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

La creciente competitividad y la globalización exigen respuestas eficientes por parte de las empresas, como la definición de estrategias que les permitan sobrevivir en un mundo en continuo cambio, por lo que el desarrollo de estrategias competitivas basadas en la agregación de valor y la reducción simultánea de costos son objetivos ineludibles. En la gestión de la cadena de suministro, se considera al aprovisionamiento como una función estratégica de alto impacto en la productividad y el alcance de ventajas competitivas sostenibles para las empresas. Es importante la generación de integraciones verticales mediante modelos de colaboración con los involucrados en los procesos de la organización (Valencia, Cardona y Álvarez, 2018). Un aspecto para considerar es que los principales factores relacionados con el éxito en la integración de las cadenas de suministro son el recurso humano, las estrategias de la organización, la información y las tecnologías de la información implementadas (Bustillos Arizmendi y Carballo Mendívil, 2018).

Un adecuado diseño de la cadena de suministro es el punto de partida para definir la base de proveedores que responda a las prioridades competitivas de la función de producción u operaciones, la estrategia de la cadena de suministro, su nivel de integración y el rendimiento de la empresa (Qi, Huo, Wang y Yeung, 2017). De esta manera, la selección de los proveedores se ha convertido en una actividad crítica para las organizaciones que afecta su eficiencia y rentabilidad (Mendoza, Santiago y Ravi Ravindran, 2008).

El presente trabajo aborda un estudio de caso en el área de compras de una empresa metalmecánica que se dedica a la fabricación y comercialización de equipos de uso industrial y comercial. Sus prioridades competitivas son la personalización, la entrega a tiempo y la calidad superior. La empresa certificó desde el año 2006 su sistema de gestión de calidad bajo la norma ISO 9001. Del análisis de sus productos se pudo comprobar que un 20 % de sus componentes comprados fueron considerados críticos para el normal funcionamiento de los equipos. En particular, se analizó la compra de uno de los componentes críticos, ya que todos los equipos requieren una unidad del mismo. La empresa se abastece de dicho componente mediante cinco proveedores que se encuentran aprobados por su sistema de gestión de calidad. Su disponibilidad y correcto funcionamiento fueron determinantes al momento de evaluar la calidad del equipo por parte del cliente. Este componente puede ser adquirido a través de múltiples proveedores, por ello la selección de los mismos y las cantidades a comprar a cada uno se ha convertido en un proceso clave para el área de compras de la organización porque afecta directamente su productividad y sostenibilidad futura.

El objetivo fue diseñar una metodología dinámica e imparcial que permitiera seleccionar, en forma sistemática, los mejores proveedores de componentes en un entorno de abastecimiento múltiple. El término “mejor” significa que las características de los

proveedores deberán ajustarse a las prioridades competitivas de la organización, que se traducen en los criterios de selección establecidos. Asimismo resultó fundamental que la organización estableciera relaciones colaborativas con sus proveedores donde ambos pudieran beneficiarse del intercambio mutuo, no solo en términos de rentabilidad, sino también a favor de la mejora del desempeño y la sostenibilidad de la cadena global y satisfacción del cliente final.

Este trabajo se organizó en las siguientes secciones: una introducción que detalla el caso de estudio y problemática abordada, luego se presenta una revisión de la literatura con los principales antecedentes teóricos y prácticos del área de estudio, se continúa con la especificación de la metodología propuesta y, finalmente, se exponen los resultados obtenidos, discusión y conclusiones más relevantes.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Las exigencias del entorno competitivo actual han generado que la función de aprovisionamientos deje de ser considerada, únicamente, como una operación de compra y administración del inventario, para pasar a reconocer su importancia en la estrategia empresarial (Burt, Dobler y Starling, 2003). Por ello diversos autores consideran que la fiabilidad, la calidad y el nivel de desempeño de una empresa dependen, en gran parte, del desempeño de su base de proveedores (Ghodsypour y O'Brien, 2001; Sarache Castro, Castrillón y Ortiz Franco, 2009; Kamman y Bakker, 2004; Nuñez-Perez *et al.*, 2017).

La selección de proveedores, como parte del proceso de abastecimiento, se ha convertido en un proceso de decisión clave para toda organización. La definición de la metodología y criterios a evaluar para su correcta selección se han vuelto una tarea compleja y dificultosa (Herrera Umaña y Osorio Gómez, 2006; Ortiz Torres, Márquez Sánchez, Oramas Santos y Marrero Ancízar, 2018; Escandón López, Parra Calderón y Osorio Gómez, 2019). Esto radica en el número de alternativas y criterios asociados y es por ello la vital importancia que reviste la selección de las técnicas adecuadas que permitan responder a los múltiples criterios de decisión y a la selección de las mejores alternativas de forma global.

Para la adecuada selección de proveedores es necesario evaluar un conjunto de factores muy amplios y se deben tener en cuenta criterios cualitativos y cuantitativos (Ghodsypour y O'Brien, 1998; de Boer, Labro y Morlacchi, 2001; Liu y Hai 2005). Schroeder, Anderson y Cleveland (1986) establecen que el costo, la flexibilidad, la calidad y la entrega son factores básicos a evaluar; por otro lado, Weber, Current y Benton (1991) plantean que los más importantes son la calidad y la entrega; Miltenburg (1995) detecta la aparición de uno nuevo que es el servicio; Modi y Mabert (2006) resaltan la importancia de la calidad y el costo.

Respecto al tamaño de la base de proveedores, Ghodsypour y O'Brien (1998) plantean que el abastecimiento puede ser con fuente única o múltiple. En el primer caso, un único proveedor está capacitado para satisfacer el conjunto de criterios de selección de forma satisfactoria, mientras que, en el segundo, se tienen varias opciones a elegir. Dowlatshahi (2000), Ghodsypour y O'Brien (2001) y Choy, Lee y Lo (2003) plantean que cuando se trata del surtido de pedidos de materiales o insumos considerados críticos para la organización resulta beneficioso el uso de fuentes de abastecimiento múltiples. Esto se debe a que el desabastecimiento de un material crítico puede ocasionar inconvenientes en el proceso productivo y contar con al menos dos proveedores capaces de suministrarlo logra reducir este riesgo (Ortiz Torres, 2018).

Analizando las técnicas a utilizar, estas pueden ser individuales o integradas, las últimas son el resultado de la combinación de dos o más técnicas. Las técnicas multicriterio son ampliamente utilizadas para la evaluación de proveedores ya que permiten disminuir la subjetividad asociada al proceso de selección. Esto garantiza que el mejor proveedor sea el que más se ajuste a los criterios requeridos y que se disminuya la incertidumbre en la elección final (Ortiz Torres *et al.*, 2018; Escandón López, 2019). Sin embargo, resulta necesario su combinación con técnicas más exactas para definir las cantidades de compra a cada proveedor en escenarios de múltiple abastecimiento (Narasimhan, Talluri y Méndez, 2001). De Boer *et al.* (2001), Ghodsypour y O'Brien (2001), Ganeshan, Tyworth y Guo (1999) consideran la programación matemática como una herramienta beneficiosa para la toma de esta decisión.

Las técnicas individuales más aplicadas son el proceso analítico de jerarquías, los procesos de red analítica, el análisis de envoltorio de datos, la lógica difusa, los algoritmos genéticos, la programación lineal, la programación por metas, la técnica de calificación de atributos múltiples sencillos, el razonamiento basado en casos, entre otros métodos (F. T. Chan y H. K. Chan, 2004; Ding, Benyoucef y Xie, 2005; Talluri y Narasimhan, 2005; Liu y Hai, 2005; K. L. Choy, Lee, Lau y L. C. Choy, 2005; Talluri, Narasimhan y Nair, 2006; Garfamy, 2006; Chen, Lin y Huang, 2006; Huang y Keskar, 2007; Ho, Xu y Dey, 2010; Dalalah, Hayajneh y Batieha, 2011; Ortiz Torres, Oramas Santos, Sanz Pérez, 2015).

En el uso de técnicas integradas al proceso analítico de jerarquías es el más combinado. Ha sido aplicado con lógica difusa, programación por metas, análisis de envoltorio de datos y razonamiento basado en casos (Kahraman, Cebeci y Ulukan, 2003; Perçin, 2006; Curkovic y Handfield, 2006; Şevkli, Lenny Koh, Zaim, Demirbag y Tatoglu, 2007; Ortiz Torres *et al.*, 2018).

Según Sarache Castro *et al.* (2009), no existe un único método a aplicarse en el proceso de selección de proveedores, pero existe una tendencia en emplear, primero, un método de aproximación y, luego, refinar la decisión final con un método más exacto.

3. METODOLOGÍA

La metodología adoptada consistió en un estudio de caso, desarrollado en una empresa metalmecánica de la ciudad de Mar del Plata, de carácter empírico, puesto que se estudió un fenómeno contemporáneo dentro de su entorno. La investigación fue de tipo mixta, cualitativa y cuantitativa. Inicialmente, se analizaron datos en forma descriptiva y luego, mediante la aplicación de las herramientas propuestas, se realizaron cálculos matemáticos para obtener las priorizaciones y selección final de proveedores.

Los pasos que se aplicaron en este trabajo fueron los siguientes:

- a) Realización de entrevistas al gerente y responsable de compras de la organización para conocer las características y necesidades de la misma, visitas *in situ* para comprender el funcionamiento de la empresa y las particularidades del sistema de compras.
- b) Recolección de información relevante sobre las necesidades del sistema de compra para la definición de criterios y subcriterios de selección de proveedores, en función de las prioridades competitivas del área productiva y desempeño de los proveedores para su posterior análisis.
- c) Implementación del proceso analítico de jerarquías (PAJ) para la priorización de los mismos mediante entrevistas al gerente y responsable de compras. Toda la información recopilada se procesó en el *software* Expert Choice®.
- d) Selección final de proveedores y determinación de las cantidades a pedir a cada uno mediante el diseño de un modelo de programación por metas (PM). El procesamiento se efectuó con el *software* QM®.

Análisis de resultados a partir de la aplicación de las herramientas propuestas.

Los criterios y subcriterios de selección de proveedores se definieron en forma precisa, medible y comparable. En la tabla 1 se especifican los indicadores utilizados para su medición.

Tabla 1
Criterios de selección de proveedores

Criterios	Subcriterios	Indicadores
Servicio	Garantía	Años
	Capacidad del proceso	Índice C_{pk}
	Nivel de servicio	Porcentaje de entregas a tiempo
Calidad	Defectos	Porcentaje de partes defectuosas
Flexibilidad		Porcentaje
Precio		Dólares
Entrega	Distancia	Kilómetros
	Tiempo de entrega	Días/parte

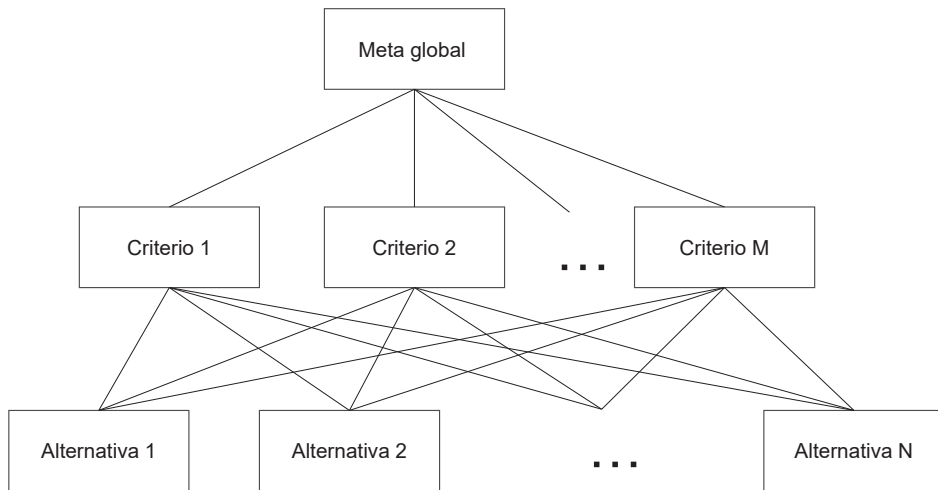
Elaboración propia

3.1 Proceso analítico de jerarquías (PAJ)

La jerarquización de proveedores mediante el PAJ permite tomar decisiones en base a criterios múltiples y trabaja en forma sencilla, lógica y estructurada (Martínez Rodríguez, 2007). Se basa en la disgregación del problema complejo en una estructura jerárquica multinivel de objetivos o metas, criterios, subcriterios y alternativas (Xu y Liao, 2014). El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones objetivas y/o subjetivas, respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios que se seguirán para tomar la decisión, especificando su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión referida a cada criterio (Toskano Hurtado, 2005). El resultado del PAJ muestra la prioridad total de las alternativas de decisión respecto a la meta (Saaty, 2008). En esta etapa, se obtuvo un ordenamiento de los proveedores a partir de la ponderación global de los mismos y para su desarrollo se utilizó el *software* Expert Choice®.

Para el desarrollo del PAJ se efectuaron los siguientes pasos (Saaty, 2008):

- a) Definición del problema, estableciendo sus componentes relevantes.
- b) Construcción de la estructura jerárquica del problema mediante su representación gráfica en función de la meta global, los criterios y subcriterios y las alternativas de decisión (figura 1).



Fuente: Toskano Hurtado (2005)

Elaboración propia

- c) Establecimiento de las preferencias: los decisores expresaron su juicio de valor con respecto a todos los elementos de un nivel, referido a cada uno de los elementos del nivel inmediato superior. Para establecer dichas preferencias, se utilizaron matrices de comparaciones pareadas y para su construcción se empleó la escala de Saaty con valores de 1 a 9, como se muestra en tabla 2, para calificar la importancia relativa de los elementos. Esta escala de calificación permitió la disminución del grado de subjetividad, en la evaluación de los factores cualitativos (Salas Bacalla, Leyva Caballero y Calenzani Fiestas, 2014).
- d) Priorización y sintetización: mediante un proceso matemático se calcularon las prioridades relativas locales de cada elemento para cada nodo de la estructura jerárquica. Se realizó un análisis de la calidad de decisión final, examinando la consistencia de juicios de los decisores. Se calculó la relación o razón de consistencia de Saaty, considerando aceptable los valores menores a 0,1. Utilizando el principio de composición jerárquica, se obtuvieron las prioridades globales de los criterios para cada nodo respecto de la meta. Por último, se realizó la síntesis del problema para obtener la prioridad total de las alternativas mediante la agregación multiaditiva de las prioridades globales. Esto permitió ordenar el conjunto de las alternativas consideradas y seleccionar la mejor para obtener la meta buscada.

Tabla 2
Escala de Saaty

Puntaje	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente al objetivo.
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio ligeramente a favor de uno de los elementos.
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio fuertemente a favor de uno de los elementos
7	Importancia muy fuerte o demostrable	Un elemento es preferido sobre el otro en un grado muy fuerte y esta preferencia puede demostrarse en la práctica.
9	Importancia extrema	La evidencia favorece a una alternativa sobre la otra extremadamente.
2, 4, 6, 8	Para valores inter-medios entre las definiciones	Algunas veces se necesita interpolar un juicio, porque no hay una palabra que describa la relación entre los elementos.

Fuente: Saaty (2008)

Elaboración propia

3.2 Programación por metas (PM)

La selección final de proveedores a través de PM es de utilidad para los tomadores de decisiones porque permite discutir y encontrar un conjunto de soluciones apropiadas y aceptables en problemas de decisión con objetivos o criterios múltiples (H. A. López Ospina y R. D. López Ospina, 2010).

La PM posee gran potencialidad cuando el contexto decisional está definido por una serie de objetivos a optimizar que deben de satisfacer un conjunto de restricciones. Al considerarse prácticamente imposible alcanzar simultáneamente varios objetivos, porque entran en conflicto, el decisor se conforma con fijar una meta para cada uno, intentando minimizar la falta de logro de las mismas (Jiménez López, 2012). De esta manera, la PM en vez de buscar un punto óptimo pretende determinar un conjunto de soluciones eficientes u óptimas (López, Fernández Henao y Morales, 2007).

El modelo de PM propuesto fue una adaptación del presentado por Mendoza *et al.* (2008) y Mohile (2008). Las modificaciones se realizaron para atender las características particulares de la organización en estudio y en función de sus prioridades competitivas. En la tabla 3 se presentan las constantes y variables que se utilizaron.

Tabla 3
Nomenclatura de los conceptos

Nomenclatura	Concepto
N	Cantidad de proveedores
X_i	Cantidad pedida al proveedor i
D	Demanda anual
g_i	Garantía del proveedor i
C_i	Capacidad del proveedor i
PG_i	Ponderación global del proveedor i
TE_i	Tiempo de entrega requerido para el proveedor i
te_i	Tiempo de entrega del proveedor i para suministrar una unidad de producto
pk	Nivel de C_{pk} requerido
C_{pi}	C_{pk} del proveedor i
q_i	Defectos del proveedor i (porcentaje)
G	Garantía requerida
NS	Nivel de servicio requerido
ns_i	Nivel de servicio del proveedor i
F	Nivel de flexibilidad requerida
f_i	Nivel de flexibilidad del proveedor i
P_i	Precio del proveedor i
K_i	Distancia del proveedor i al comprador
Y_i	1, si una orden es asignada al proveedor i ; 0, si no es asignada
d^+	Sobrelogro de la meta
d^-	Sublogro de la meta

Elaboración propia

Las restricciones de la meta se definieron en función de los criterios de selección especificados previamente y se presentan en las ecuaciones (1) a (9). Las restricciones estructurales se muestran en las ecuaciones (10) a (13).

- *Restricciones de la meta*

Valor de compra ponderado: surge de los resultados del PAJ para ponderar las cantidades a pedir de acuerdo con la PG obtenida. Se maximizó este valor, considerando un valor relativamente grande, M .

$$\sum_{i=1}^n PG_i X_i + d_1^- - d_1^+ = M \quad (1)$$

Garantía: es la cantidad de años de garantía otorgada por el proveedor.

$$\sum_{i=1}^n g_i Y_i + d_2^- - d_2^+ = G \sum_{i=1}^n Y_i \quad (2)$$

Capacidad de proceso: representa el nivel de capacidad de abastecimiento del proveedor con respecto a una capacidad crítica.

$$\sum_{i=1}^n C_{pi} Y_i + d_3^- - d_3^+ = \overline{C}_{pk} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (3)$$

Nivel de servicio global: se refiere al porcentaje de entregas realizadas a tiempo.

$$\sum_{i=1}^n ns_i Y_i + d_4^- - d_4^+ = NS \sum_{i=1}^n Y_i \quad (4)$$

Calidad: considera el porcentaje de defectos aceptable.

$$\sum_{i=1}^n q_i Y_i + d_5^- - d_5^+ = 0 \quad (5)$$

Flexibilidad global: permite que la compañía responda fácilmente a los cambios de la demanda.

$$\sum_{i=1}^n f_i Y_i + d_6^- - d_6^+ = F \sum_{i=1}^n Y_i \quad (6)$$

Gastos de compra: es el costo de aprovisionamiento del pedido.

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i + d_7^- - d_7^+ = 0 \quad (7)$$

Distancia total: considera la distancia total de los proveedores seleccionados a la empresa.

$$\sum_{i=1}^n K_i Y_i + d_8^- - d_8^+ = 0 \quad (8)$$

Tiempo de entrega: es el tiempo que el proveedor requiere para realizar la entrega.

$$te_i X_i + d_j^- - d_j^+ = TE_i \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 9, 9 + 1, \dots, 9 + n \quad (9)$$

- *Restricciones estructurales*

$$\sum_{i=1}^n X_i = D \quad (10)$$

$$X_i \leq C_i Y_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i \leq n \quad (12)$$

Luego se establecieron las prioridades de cada meta y la meta global según las características de la empresa estudiada. Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad variando el orden de las prioridades.

4. RESULTADOS

4.1 Jerarquización de proveedores

La estructura jerárquica para el desarrollo del PAJ se presenta en la figura 2. Se puede observar que la meta consiste en la selección del mejor proveedor para el componente crítico. Las alternativas planteadas fueron los cinco proveedores aprobados por el sistema de gestión de calidad de la empresa y la selección se realizó en base a los criterios y subcriterios establecidos en la tabla 1.

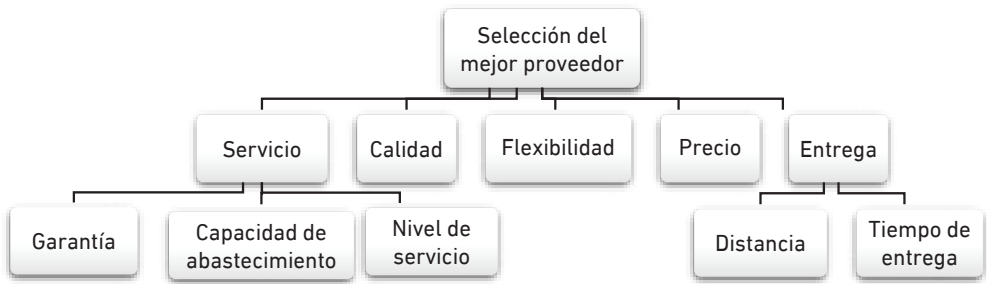


Figura 2. Árbol de jerarquía PAJ

Elaboración propia

Para la construcción de las matrices se utilizaron los valores de los indicadores que se presentan en la tabla 4. A modo de ejemplo, en la tabla 5 se muestran la matriz de comparación pareada y los pesos obtenidos para los criterios de selección. Se observa que la entrega, la flexibilidad y la calidad, en ese orden, son las características más importantes en el proceso de selección de proveedores de la empresa.

Tabla 4
Valor de indicadores por proveedor

Proveedor	Garantía en años	Capacidad CPK	Nivel de servicio en porcentaje	Defectos en porcentaje	Flexibilidad en porcentaje	Precio en dólares	Distancia en kilómetros	Tiempo de entrega (días/parte)	Ci (u/año)
1	1	0,8	75	5	10	306	475	30	200
2	2	1	90	1	5	847	2770	45	200
3	2	0,85	95	2	2	308	460	10	180
4	1	0,9	98	1	5	647	575	15	150
5	2	0,83	80	3	0	651	713	20	180
Valores ideales	2	1	100	1	20	300	20	10	350

Elaboración propia

Tabla 5
Matriz de comparación pareada y pesos de criterios de selección

	Precio	Calidad	Flexibilidad	Servicio	Entrega	Pesos
Precio	1	1/8	1/9	2	1/8	0,045
Calidad	8	1	1/2	4	1/2	0,208
Flexibilidad	9	2	1	6	1/2	0,301
Servicio	1/2	1/4	1/6	1	1/8	0,041
Entrega	8	2	2	8	1	0,404

Elaboración propia

Luego, se procesó toda la información en el *software* Expert Choice® y se obtuvo la prioridad global de cada proveedor según se muestra en la figura 3. De esta manera, se generó la siguiente jerarquización: proveedor 4, proveedor 3, proveedor 1, proveedor 2 y proveedor 5. Los índices de consistencia obtenidos fueron aceptables para todos los juicios realizados.



Figura 3. Puntaje global de cada proveedor

Elaboración propia en Expert Choice®

4.2 Selección de proveedores

Para determinar los proveedores a seleccionar y las cantidades a comprar a cada uno, se aplicó el modelo de PM propuesto y presentado en las ecuaciones (1) a (12).

En la tabla 5 se establecen las prioridades de las metas del modelo en función de la importancia de los criterios considerados en la etapa anterior y se define la siguiente función objetivo (ecuación 13):

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z = & P_1(d_1^-) + P_2(d_6^- + d_9^+ + d_{10}^+ + d_{11}^+ + d_{12}^+ + d_{13}^+) \\
 & + P_3(d_5^+ + d_7^+) + P_4(d_2^- + d_4^-) + P_5(d_8^+) \\
 & + P_6(d_3^-)
 \end{aligned} \tag{13}$$

Para la ecuación (1) se utilizaron los valores de prioridad global obtenidos en el PAJ. Los datos que se ingresaron a las ecuaciones (2) a (8) del modelo son los presentados en

la tabla 6. El valor de la demanda anual (D) en la ecuación (9) es 750 partes, que debe ser satisfecha, en su totalidad, por un único proveedor o una combinación de ellos.

Tabla 6
Prioridades del modelo de PM

Prioridad	Restricción de la meta	Desviaciones que controlar
P1	Valor de compra ponderado	d1-
P2	Flexibilidad y tiempo de entrega	d6-, d9+, d10+, d11+, d12+, d13+
P3	Calidad y gastos de compra	d5+, d7+
P4	Garantía y nivel de servicio	d2-, d4-
P5	Distancia	d8+
P6	Capacidad	d3-

Elaboración propia

El resultado del modelo de PM obtenido mediante el *software* QM® permitió determinar que los proveedores seleccionados son el 1, 3 y 4 y se les debería comprar 255, 270 y 225 partes a cada uno, respectivamente. Los proveedores 2 y 5 quedaron fuera de la selección.

4.3 Análisis de sensibilidad

Para evaluar la robustez del modelo, se plantearon y analizaron cinco escenarios alternativos (E2 a E6) a la situación real (E1), cambiando el orden de las prioridades en la función objetivo. De los seis escenarios posibles, se seleccionaron aquellos que fueron más representativos de las necesidades del sector industrial. Los escenarios planteados y sus resultados se muestran en la tabla 7 y 8.

Tabla 7
Análisis de escenarios

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
P1	Valor de compra ponderado	Flexibilidad y tiempo de entrega	Calidad y gastos de compra	Valor de compra ponderado	Distancia	Valor de compra ponderado
P2	Flexibilidad y tiempo de entrega	Valor de compra ponderado	Valor de compra ponderado	Calidad y gastos de compra	Valor de compra ponderado	Garantía y nivel de servicio
P3	Calidad y gastos de compra	Calidad y gastos de compra	Flexibilidad y tiempo de entrega	Flexibilidad y tiempo de entrega	Flexibilidad y tiempo de entrega	Flexibilidad y tiempo de entrega
P4	Garantía y nivel de servicio	Garantía y nivel de servicio	Distancia	Garantía y nivel de servicio	Calidad y gastos de compra	Calidad y gastos de compra
P5	Distancia	Capacidad	Capacidad	Distancia	Capacidad	Distancia
P6	Capacidad	Distancia	Garantía y nivel de servicio	Capacidad	Garantía y nivel de servicio	Capacidad

Elaboración propia

Tabla 8
Resultados obtenidos

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
X1	255	0	300	255	255	255
X2	0	0	0	0	0	0
X3	270	270	270	270	270	270
X4	225	225	180	225	225	225
X5	0	255	0	0	0	0

Elaboración propia

El análisis de sensibilidad demostró que la mezcla de proveedores seleccionados y las cantidades a comprar a cada uno no presentaron gran variación respecto al escenario 1, que representó la situación real del sistema de compras.

4. DISCUSIÓN

La metodología propuesta resultó adecuada para la selección de proveedores ya que, como indican Sarache Castro *et al.* (2009), toma en consideración el análisis del contexto y las particularidades de la cadena de abastecimiento, la estrategia para la función de aprovisionamiento, los criterios de decisión y los métodos de selección como apoyo a la decisión.

Respecto a los criterios y las metas definidas, se encontraron en concordancia con los planteamientos realizados por diversos autores a lo largo de las últimas décadas. Para el proceso de selección, no solo se consideró el costo, la flexibilidad y la entrega, sino que se tuvo en cuenta también la calidad y el servicio ofrecido.

En los trabajos de Masella y Rangone (2000), Liu y Hai (2005), Chiang y Bai (2006), Osorio Gómez *et al.* (2008), Medina Varela *et al.* (2012) y Cordero Torres (2019) se aplica el PAJ en la gestión de proveedores, demostrando su capacidad para integrar sistemáticamente los juicios de los expertos, obtener el peso de los criterios de evaluación y determinar los mejores proveedores que responden a las necesidades de la empresa. Diversos autores (Ghodsypour y O'Brien, 1998; de Boer *et al.*, 2001; Narasimhan *et al.*, 2001; Yang y Chen, 2006; Perçin, 2006; Kokangul y Susuz, 2009; Ortiz Torres *et al.*, 2018) plantean que para obtener la decisión final de cuánto comprar a cada proveedor, se debe utilizar, además, alguna técnica más exacta, como son los modelos matemáticos. En línea con estos, el método propuesto utilizó la PM para obtener las cantidades finales a adquirir de cada proveedor, a partir de los resultados obtenidos de la aplicación del PAJ.

5. CONCLUSIONES

La primera etapa de la metodología propuesta, PAJ, permitió la estructuración del problema de selección de proveedores en forma sencilla, teniendo en cuenta criterios de selección acordes a los objetivos estratégicos y a las prioridades competitivas del área de producción de la empresa en estudio. Se obtuvo una jerarquización de los proveedores considerados y se utilizaron las prioridades globales de cada uno como dato de entrada de la segunda etapa de esta metodología.

El modelo de PM propuesto obtuvo la mejor combinación de proveedores y las cantidades a pedir a cada uno. Este permite priorizar las metas o los criterios según las necesidades del proceso de selección de cada empresa. Finalmente, para el caso en estudio se comprobó la robustez de la solución obtenida mediante un análisis de sensibilidad. Este análisis arrojó que, de los seis escenarios analizados, cinco (83,33 %) presentaron la misma combinación de proveedores seleccionados y cuatro (66,67 %) obtuvieron las mismas cantidades a comprar a cada uno.

La metodología propuesta le permitió al responsable de compras realizar el proceso de selección de proveedores en forma sistemática y consistente con la estrategia de la empresa y las prioridades competitivas del área productiva. La utilización de los *softwares* Expert Choice® y QM® resultaron ser sumamente sencilla y de fácil comprensión. Se concluye que la metodología propuesta permitió sistematizar el proceso de selección de proveedores en forma consistente con la estrategia de la empresa y las prioridades del área productiva. Es de viable implementación para la empresa ya que los datos de entrada son derivados de la actividad habitual del proceso de gestión de proveedores. Se comprueba que es apropiada para aplicar en el proceso de selección de proveedores porque permite obtener la mejor combinación de cantidades a comprar a cada proveedor considerando criterios acordes las características y necesidades de cada empresa.

Es condición necesaria el trabajo colaborativo, la comunicación efectiva y la confianza recíproca de todos los actores de la cadena de suministro interna y externa a la empresa para alcanzar un eficiente intercambio de información que les permita mejorar su desempeño. En consecuencia, se espera un incremento de los niveles de conformidad del cliente final al poder brindarle una respuesta superadora en términos de calidad y tiempos de entrega.

La metodología propuesta reviste una especial contribución al análisis de las operaciones de aprovisionamiento, dado su carácter estratégico y el impacto que genera en el alcance de ventajas competitivas sostenibles. Como su aplicación requiere de una relación estrecha entre la empresa y sus proveedores, se potencia la posibilidad de integración de sus sistemas de información para poder, a futuro, agilizar el intercambio de información y, en consecuencia, el aumento de la velocidad del proceso de toma de decisiones relativas al aprovisionamiento. De esta manera, se puede lograr la transformación digital requerida en la nueva era de la industria 4.0 en la empresa y su cadena de suministros.

Como trabajo futuro, se considera fundamental el análisis de las tecnologías de la era analítica que puedan ser incorporadas en el proceso de abastecimiento de una organización para lograr una integración vertical eficiente en su cadena de suministros. Se reflexiona que esta transformación digital contribuirá a la supresión de los límites existentes entre los actores de la cadena, cambiando las relaciones sociales y económicas, conectando usuarios, sistemas y equipos y mejorando la productividad y la calidad de los procesos industriales.

REFERENCIAS

Burt, D. N., Dobler, D. W., y Starling, S. L. (2003). *World class supply management: The key to supply chain management*. Nueva York: McGraw-Hill.

- Bustillos Arizmendi, L. A., y Carballo Mendivil, B. (2018). Integración de la cadena de suministro: una revisión de la literatura. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), 247-268.
- Chan, F. T., y Chan, H. K. (2004). Development of the supplier selection model. A case study in the advanced technology industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering*, 218(12), 1807-1824.
- Chen, C. T., Lin, C. T., y Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 289-301.
- Chiang, C., y Bai, S. (2006). Supplier selection using combined analytical hierarchy process and grey relational analysis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(7), 301-315.
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lau, H. C. W., y Choy, L. C. (2005). A knowledge-based supplier intelligence retrieval system for outsource manufacturing. *Knowledge-Based Systems*, 18(1), 1-17.
- Choy, K., Lee, W., y Lo, V. (2003). Design of an intelligent supplier relationship management system: a hybrid case based neural network approach. *Expert Systems with Applications*, 24(2), 225-237.
- Cordero Torres, B. (2019). Selección de proveedores priorizando criterios sostenibles para productos: un enfoque de AHP en compras públicas peruanas. *Industrial Data*, 22(1), 153-172. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i1.16532>
- Curkovic, S., y Handfield, R. B. (2006). Use of ISO 9000 and Baldrige Award Criteria in supplier quality evaluation. *Journal of Supply Chain Management*, 32(2), 2-11. doi:10.1111/j.1745-493X.1996.tb00220.x
- Dalalah, D., Hayajneh, M., y Batieha, F. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8384-8391. doi:10.1016/j.eswa.2011.01.031
- De Boer, L., Labro, E., y Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7(2), 75-89. doi:10.1016/S0969-7012(00)00028-9
- Ding, H., Benyoucef, L., y Xie, X. (2005). A simulation optimization methodology for supplier selection problem. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 18(2-3), 210-224.
- Dowlatshahi, S. (2000). Design-buyer-supplier interface: Theory versus practice. *International Journal of Production Economics*, 63(2), 111-130. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(99\)00009-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(99)00009-2)

- Escandón López, J. C., Parra Calderón, C. A., y Osorio Gómez, J. C. (2019). Metodología multicriterio para la selección de proveedores bajo consideraciones de riesgo. *Scientia et Technica*, 24(2), 232-239. <https://doi.org/10.22517/23447214.19681>
- Ganeshan, R., Tyworth, J. E., y Guo, Y. (1999). Dual sourced supply chains: The discount supplier option. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 35(1), 11-23. doi:10.1016/s1366-5545(98)00020-9.
- Garfamy, R. M. (2006). A data envelopment analysis approach based on total cost of ownership for supplier selection. *Journal of Enterprise Information Management* 19(6), 662-678. <https://doi.org/10.1108/17410390610708526>.
- Ghodsypour, S. H., y O'Brien, C. (1998). A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics*, 56-57, 199-212. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00009-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00009-1)
- Ghodsypour, S. H., y O'Brien, C. (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International Journal of Production Economics*, 73(1), 15-27. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00093-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00093-7)
- Herrera Umaña, M. F., y Osorio Gómez, J. C. (2006). Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP difuso. *Estudios Gerenciales*, (99), 69-88.
- Ho, W., Xu, X., y Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 16-24.
- Huang, S. H., y Keskar, H. (2007). Comprehensive and configurable metrics for supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 105(2), 510-523.
- Jiménez López, M. (2012). Programación por metas con niveles de aspiración imprecisos. *Revista de Dirección y Administración de Empresas*, 19, 117-128.
- Kahraman, C., Cebeci, U., y Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, 16(6), 382-394. doi:10.1108/09576050310503367
- Kamman, D. J. F., y Bakker, E. (2004). Changing supplier selection and relationship practices: A contagion process. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 10(2), 55-64. doi:10.1016/j.pursup.2003.12.002
- Kokangul, A., y Susuz, Z. (2009). Integrated analytical hierarch process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount. *Applied Mathematical Modelling*, 33(3), 1417-1429. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2008.01.021>

- Liu, F., y Hai, H. L. (2005). The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. *International Journal of Production Economics*, 97(3), 308-317. doi:10.1016/j.ijpe.2004.09.005
- López Ospina, H. A., y López Ospina, R. D. (2010). Modelos de optimización por metas para el cálculo de estimadores en regresión múltiple. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20(1), 133-157. <https://doi.org/10.18359/rcin.285>
- López, J. F., Fernández Henao, S., y Morales, M. M. (2007). Aplicación de la programación por metas en la distribución de servicios entre empresas operadoras del sistema de transporte masivo. *Scientia et Technica*, 13(37), 339-343. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903758.pdf>
- Martínez Rodríguez, E. (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una pyme. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, (40), 523-542.
- Masella, C. y Rangone, A. (2000). A contingent approach to the design of vendor selection systems for different types of cooperative customer/supplier relationships. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(1), 70-84. doi:10.1108/01443570010287044.
- Medina Varela, P., Cruz Trejos, E., y Gómez Montoya, R. (2012). Selección de proveedor de WMS utilizando método AHP. *Scientia et Technica*, 17(52), 65-72.
- Mendoza, A., Santiago, E., y Ravi Ravindran, A. (2008). A three-phase multicriteria method to the supplier selection problem. *The International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 15(2), 195-210.
- Miltenburg, J. (1995). *Manufacturing strategy: How to formulate and implement a winning plan*. Portland, Oregon: Productivity Press.
- Modi, S. B., y Mabert, V. A. (2006). Supplier development: Improving supplier performance through knowledge transfer. *Journal of Operations Management*, 25(1), 42-64. doi:10.1016/j.jom.2006.02.001
- Mohile, P. K. (2008). *Multi-objetive decision on making for supplier selection in outsourcing* (tesis de grado). Kate Gleason College of Engineering of the Rochester Institute of Technology, Nueva York, Estados Unidos.
- Narasimhan, R., Talluri, S., y Méndez, D. (2001). Supplier evaluation and rationalization via data envelopment analysis. *Journal of Supply Chain Management*, 37(3), 28-37. doi:10.1111/j.1745-493X.2001.tb00103.x
- Nuñez-Perez, N., Ortíz-Barríos, M., McClean, S., Salas-Navarro, K., Jimenez-Delgado, G., y Castillo-Zea, A. (2017). Discrete-event simulation to reduce waiting time in

- accident and emergency departments: A case study in a district general clinic. *Lecture Notes in Computer Science*, 10586, 352-363.
- Ortiz Torres, M., Márquez Sánchez, F., Oramas Santos, O., y Marrero Ancizar, Y. (2018). Metodología para la evaluación de proveedores. Caso de estudio: empresa especializada importadora, exportadora y distribuidora para la ciencia y la técnica (EMIDICT). *Revista Espacios*, 39(27), 24-36.
- Ortiz Torres, M., Oramas Santos, O., y Sanz Pérez, M. (2015). Procedimiento de evaluación de proveedores con herramientas de la teoría de los subconjuntos borrosos. Aplicación a proveedores seleccionados de una empresa comercial. *Journal of Business*, 7(1), 2-19.
- Osorio Gómez, J. C., Herrera Umaña, M. F., y Vinasco, M. A. (2008). Modelo para la evaluación del desempeño de los proveedores utilizando AHP. *Ingeniería y Desarrollo*, (23), 43-58.
- Perçin, S. (2006). An application of the integrated AHP-PGP model in supplier selection. *Measuring Business Excellence*, 10(4), 34-49. doi:10.1108/13683040610719263
- Qi, Y., Huo, B., Wang, Z., y Yeung, H. Y. J. (2017). The impact of operations and supply chain strategies on integration and performance. *International Journal of Production Economics*, 185, 162-174.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. doi:10.1504/IJSSCI.2008.017590
- Salas Bacalla, J., Leyva Caballero, M., y Calenzani Fiestas, A. (2014). Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial. *Industrial Data*, 17(2), 112-119. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640856014.pdf>
- Sarache Castro, W. A., Castrillón, O. D., y Ortiz Franco, L. F. (2009). Selección de proveedores: una aproximación al estado del arte. *Cuadernos de Administración*, 22(38), 145-167.
- Schroeder, R. G., Anderson, J. C., y Cleveland, G. (1986). The content of manufacturing strategy: An empirical study. *Journal of Operations Management*, 6(3-4), 405-415.
- Şevkli, M., Lenny Koh, S. C., Zaim, S., Demirbag, M., y Tatoglu, E. (2007). An application of data envelopment analytic hierarchy process for supplier selection: a case study of BEKO in Turkey. *International Journal of Production Research*, 45(9), 1973-2003. doi:10.1080/00207540600957399
- Talluri, S., y Narasimhan, R. (2005). A note on "A methodology for supply base optimization". *IEEE Transactions on Engineering Management*, 52(1), 130-139. doi:10.1109/TEM.2004.839960

- Talluri, S. Narasimhan, R., y Nair, A. (2006). Vendor performance with supply risk: A chance-constrained DEA approach. *International Journal of Production Economics*, 100(2), 212-222. doi:10.1016/j.ijpe.2004.11.012
- Toskano Hurtado, G. B. (2005). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores* (tesis de grado). Universidad Nacional Mayor San Marcos. Recuperada de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/toskano_hg.pdf
- Valencia, D. Cardona, C., y Álvarez, K. C. (2018). Mejoramiento del proceso de abastecimiento mediante Kraljic y Analytic Hierarchy Process - AHP en una empresa del sector textil. En E. Serna M. (Ed.), *Investigación formativa en ingeniería* (2.ª ed.) (pp. 236-251). Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Weber, C. A., Current, J. R., y Benton, W. C. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operation Research*, 50(1), 2-18. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90033-R](https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90033-R)
- Xu, Z., y Liao, H. (2014). Intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 749-761. doi:10.1109/TFUZZ.2013.2272585
- Yang, C. C., y Chen, B. S. (2006). Supplier selection using combined analytical hierarchy process and grey relational analysis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(7), 926-941. doi:10.1108/17410380610688241

**PROYECTOS
EMPRESARIALES
INDUSTRIALES**

Industrial Business Projects

ESTUDIOS DE LÍNEA BASE EN CAPTACIÓN DE SEMILLA, CULTIVO Y PERLICULTURA EN LA OSTRA PERLERA ALADA *PTERIA STERNA* (GOULD 1851) EN LA COSTA DE PIURA, PERÚ

Daniel Rojas Hurtado*

<https://orcid.org/0000-0001-9589-8308>

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

MARIO MONTEFORTE SÁNCHEZ

<https://orcid.org/0000-0002-2893-6498>

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR). La Paz BCS, México

REGINA MACHADO BAZALAR

<https://orcid.org/0000-0002-4211-0326>

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

FERNANDO ALEXIS FERNANDINI VALDEZ

<https://orcid.org/0000-0002-8049-6020>

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

Recibido: 13 de agosto del 2020 / Aprobado: 16 de noviembre del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5148>

RESUMEN: Entre 2017 y 2018, se realizaron experimentos de cultivo extensivo y perlicultura con la ostra perlera alada Panámica, *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae), en la costa de Los Órganos y Cabo Blanco (Piura, Perú). Se evaluaron tres objetivos simultáneos: eficiencia de colectores en la captación de semilla (sitios y profundidad), cría en dos tipos de artefacto (supervivencia y crecimiento) y ensayos de perlicultura por implante (Mabe) y cirugía (perla libre). Los resultados demostraron la factibilidad de impulsar el desarrollo comunitario de granjas perleras en la región.

PALABRAS CLAVE: *Pteria sterna* / captación de semilla / cultivo extensivo / perlicultura / extensionismo integral

* Correo electrónico: danielrojas@lamolina.edu.pe

BASELINE STUDIES ON SPAT COLLECTION, OFFSHORE CULTURE AND PEARL CULTURE OF WINGED PEARL OYSTER *PTERIA STERNA* (GOULD 1851) ON THE COAST OF PIURA, PERU

ABSTRACT: Between 2017 and 2018, extensive cultivation and pearl culture experiments were carried out with the Panamic winged pearl oyster *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae) on the coast of Los Órganos and Cabo Blanco (Piura, Peru). Three objectives were evaluated in sequential phases: collectors' spat collection efficiency (sites and depth), offshore cultivation in two types of artifacts (survival and growth), and trials on pearl culture by implantation (Mabe) and surgical (free pearl) techniques. The results demonstrated the feasibility of promoting community development of pearl farms in the region.

KEYWORDS: *Pteria sterna* / spat collection / extensive culture / pearl culture / integral outreach

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo extensivo de moluscos bivalvos se fundamenta en la captación de semilla salvaje en la columna de agua mediante colectores artificiales, prosiguiendo las etapas de cría en mar con artefactos contenedores (bolsas, charolas, canastas, carteras, linternas, sartas, etc.) que se colocan en sistemas suspendidos o sobre piso (fondo o zonas de marea) hasta la talla/edad de cosecha. En la actualidad, la producción comercial de muchas especies con valor *gourmet* combina el cultivo extensivo con el semiextensivo (recibe semilla producida en laboratorio), el cual paulatinamente gana terreno en número de especies incorporadas y volumen de producción (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020).

Ese modelo no difiere en mucho al de las granjas de ostras perleras, pero se dirige al mercado de la joyería con nácar y perlas cultivadas. Sin embargo, el progreso tecnológico hacia el siglo XXI ha impelido transformaciones sustanciales en la planificación y operación de una granja perlera (Monteforte y Cariño, 2013; Johnston, Hine y Southgate, 2018), viendo que no cesa el interés por la perlería en otros países y sus especies tanto de *Pinctada* como del género análogo, *Pteria*. Estas últimas son conocidas como ostras perleras aladas y son fáciles de distinguir a vista por dicha característica, así como por la forma ovoide alargada con valvas de curvatura moderadamente asimétrica. En los últimos años, ha crecido la producción de semilla en laboratorio a escala comercial de madreperlas chicas (*P. martensi*, *P. fucata*, *P. chemnitzii*), igualmente, se nota en especies grandes como *P. margaritifera* y en las gigantes de los respectivos géneros, *P. maxima* y *Pt. penguin* (Southgate, 2008). De hecho, la clasificación por tamaño establece una regionalización global en función de las especies presentes y el tamaño de perlas que pueden producir (Taylor y Strack, 2008; Monteforte y Cariño, 2013). Por ejemplo, dos especies grandes (*P. mazatlanica* y *Pt. sterna*) habitan en la Provincia Panámica, y en la zona del Caribe-Antillas están *P. imbricata* y *Pt. colymbus* que son especies chicas.

En sí, la finalidad de una granja perlera es proveer un número rentable y constante de ostras adultas aptas para recibir operaciones de perlicultura¹, es decir, la producción de perlas cultivadas mediante técnicas de implante (media-perla o Mabe) y de cirugía (perla libre) (Alagarswami y Dharmaraj, 1984; Haws, C. S. Ellis y P. E. Ellis, 2006; Taylor y Strack, 2008; Monteforte, 2013a). La evidencia muestra que el desarrollo de la industria comporta una historia de adaptaciones y mejoras sobre tecnologías, relativamente, similares, si bien es frecuente que cada granja desarrolle innovaciones propias (Southgate, 2008; Monteforte, 2013b). No obstante, es indispensable calibrar los indicadores

1 Por restricciones de espacio, para saber más acerca de los métodos y técnicas empleados en la producción inducida de perlas (perlicultura), remitimos al lector a las cuatro referencias base apuntadas, disponibles en internet. También en ese medio hay un rico acervo de videos y documentales donde se puede explorar con lujo de detalle esta temática.

bioecológicos de la(s) especie(s) objetivo en función de las condiciones reales que ofrezca algún sitio planteado, las cuales definirán la periodicidad y duración de las etapas de cría, la arquitectura de sistemas y artes de cultivo, los criterios para hallar sitios propicios, las rutinas de mantenimiento y monitoreo y las épocas de perlicultura, entre otras variables operativas. Naturalmente, el estado de la población natural —en especial, su potencial de reclutamiento— es el factor clave en la factibilidad integral de un proyecto perlero (o con un bivalvo *gourmet* en tal caso) en modalidad de extensivo y, por lo tanto, se debe examinar en prioridad mediante experimentos de captación de semilla.

En este trabajo se presenta un análisis técnico-operativo de las acciones que se llevan a cabo en el Perú desde 2017 para promover la instalación de granjas perleras con *Pt. sterna*, conocida localmente como concha perla o concha perlera. Los estudios se centraron en la zona norte, específicamente, en la provincia de Talara, involucrando especialistas del sector académico, entidades del Gobierno y privadas, y comunidades en la región, siendo Los Órganos y Cabo Blanco el demostrativo social del proyecto (Flores-Ysla, Rojas-Hurtado y Fernandini, 27 de septiembre de 2017; AgroMar del Pacífico, 2018). En este texto examinaremos los resultados de los experimentos simultáneos concernientes a la respuesta de *Pt. sterna* ante estrategias de manejo en la modalidad de cultivo extensivo. La información generada en esta área geográfica, que es nueva en la perlería global, tiene relevancia en el marco oceanográfico y biogeográfico de la especie por su valor comparativo respecto al golfo de California y la contracosta de la península de Baja California en el océano Pacífico, y otros sitios al sur donde se cuenta con datos útiles. El presente trabajo incluye resultados de las primeras sesiones de perlicultura y comentarios respecto al aprendizaje por los grupos objetivo en la comunidad.

2. MARCO DEL ESTUDIO

2.1 Medio ambiente

En el mar del Perú confluye la peculiar batimetría de la región con una compleja circulación de masas de agua y corrientes, dando lugar a una de las más importantes e intensas extensiones de afloramiento (surgencia) en el mundo-océano (Echevin, Aumont, Ledesma y Flores, 2008; Morón Antonio y Tenorio, 2011). Es así como a este mar se le reconoce por ser uno de los más productivos para la pesca comercial y en corolario esas condiciones promueven una alta concentración de fitoplancton y nutrientes que benefician a las granjas de moluscos bivalvos. De allí la representación de los dos recursos bandera respectivos, la anchoveta (*Engraulis ringens*) y la escalopa púrpura o concha abanico (*Argopecten purpuratus*) (Ramírez-Gastón, Sandoval-Méndez y Vicente-Cárdenas, 2018), junto a una rica biodiversidad en las aguas costeras. Además, la región recibe períodos de El Niño (calentamiento) y La Niña (enfriamiento) que provocan cambios drásticos en las condiciones oceanográficas y sus parámetros clave, como temperatura y nutrientes,

entre otros (Paredes *et al.*, 1998; Swartzman, Bertrand, Gutiérrez, Bertrand y Vásquez, 2008; Morón Antonio y Tenorio, 2011).

En la fauna marina y costera, estas variaciones pueden acortar o alargar el límite sur de la Provincia Panámica, con lo cual el mar peruano se comporta como una zona de transición tropical-subtropical que en ocasiones se detecta hasta el tercio norte de la costa de Chile (Álamo y Valdivieso, 1997; Paredes *et al.*, 1998). Esta situación se asemeja a lo que Lluch-Belda (2000) definió como centro de actividad biológica (BAC, por sus siglas en inglés), correspondiente a la plataforma continental y zona costera en el occidente de Baja California Sur (México), en particular, la región del golfo de Ulloa y los grandes sistemas lagunares (p. ej., San Ignacio, Boca de Santo Domingo y el complejo Magdalena-Almejas), donde se encuentran poblaciones de *Pt. sterna* bien asentadas (Keen, 1971, y observaciones personales de M. Monteforte).

La zona de Piura-Tumbes juega un papel importante en esta dinámica porque representa el emplazamiento poblacional estable más sureño para numerosas especies de peces e invertebrados de esa provincia faunística; tal es el caso de la ostra perlera *Pt. sterna* (Keen, 1971; Álamo y Valdivieso, 1997; Ordinola *et al.*, 2010). En efecto, las características particulares de clima y masas de agua en la costa del Perú han creado una suerte de ecotono variable en su posición y/o rango de efecto que es prácticamente constante, con parámetros oceanográficos cuyos valores suelen ser distintos entre el espacio norte y el del sur, aún en la misma época del año y a corta distancia (Echevin *et al.*, 2008; Swartzman *et al.*, 2008; Morón Antonio y Tenorio, 2011; Vergara *et al.*, 2016). Estas condiciones confieren alta pertinencia a la instalación de cultivos extensivos en la región, ya que esta modalidad depende de la estacionalidad reproductiva, así como de los rangos de parámetros clave en el agua que pueden afectar, positiva o negativamente, en la eficiencia de la captación de semilla y en el desarrollo de los animales durante la cría.

2.2 Antecedentes científicos y técnicos

Debido a convergencias históricas, en el golfo de California, particularmente en bahía de La Paz (Baja California Sur, México), se ha concentrado el mayor acervo de conocimiento científico y tecnológico disponible para *P. mazatlanica* y *Pt. sterna* (Monteforte y Cariño, en prensa). Esta última especie ha recibido mayor atención en los últimos años, tanto en el ámbito académico como el comercial, por su novedad en el mercado mundial y la exclusiva cromática de su nácar. Las dos empresas perleras actuales, ambas en el golfo de California (Perlas del Mar de Cortez desde 1996 en Guaymas, Sonora, y Perlas del Cortez fundada en La Paz en 2001, renovada recientemente) cultivan esta especie en modalidad de extensivo y utilizan dicho distintivo en sus estrategias de venta. La empresa de Guaymas ha sabido explotar exitosamente la primicia de la perla libre; mientras en La Paz, cuya producción hasta ahora se limita a perlas Mabe y joyería, se ha diversificado a productos cosméticos.

Los estudios fuera de esta región son puntuales, hechos en Costa Rica (Solano López, Cabrera Peña, Protti Quesada y Cruz Soto, 1995; Solano López, Cabrera Peña, Palacios y Cruz, 1997a, Solano López, Cabrera Peña, Cruz y Palacios, 1997b) y Panamá (Cipriani Guzmán y López, 2008), y se concentran en conocer la biología y ecología de las poblaciones de *P. mazatlanica*. Además, parece evidente que la captación de semilla de esta especie ha sido históricamente baja en los sitios donde se ha probado (Monteforte, 2013b).

En 2013, el gremio perlero mexicano consiguió instaurar una normatividad gubernamental para el cultivo y la perlicultura comercial de las cuatro especies de ostras perleras presentes en el litoral de México, que comprende los dos grandes mencionados en el golfo de California, y *P. imbricata* y *Pt. colymbus*, las dos pequeñas de la región Caribe-Antillas (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2013). En el Ecuador, últimamente, se ha definido otro polo de certificación científica y técnica para *Pt. sterna*, con especial énfasis en estudios sobre la producción de perlas Mabe (p. ej., Lodeiros *et al.*, 2018; Gregori *et al.*, 2019; Freites *et al.*, 2020; Jara *et al.*, 2020). Por el contrario, en el Perú se conoce poco del potencial perlero salvo por datos históricos de pesquería comercial de *Pt. sterna*, que siempre fue de baja captura y por poco tiempo (Murphy, 1923; Baudin, 1961). Luque Sánchez, Solís Acosta, Morón Antonio y Crispín Carpio (2001) describieron una pesquería esporádica de la especie hasta 1999, principalmente, con fines artesanales y consumo humano, reportando intensa extracción comercial en su momento frente a la costa de Piura por flotas marisqueras.

En todo caso, solo hasta los últimos 10-15 años algunos investigadores en el Instituto del Mar de Perú (IMARPE) y universidades con línea de ciencias marinas han dedicado estudios en *Pt. Sterna*, pero han sido escasos, discontinuos y, mayormente, enfocados en las poblaciones naturales y oceanografías con fines de manejo pesquero, aunque sin perder de vista la perlería (Luque Sánchez *et al.*, 2001; Ordinola *et al.*, 2010). En particular, Ordinola, Alemán y Vera (2013), examinaron el perfil bioecológico de una colonia aglomerada de *Pt. sterna* que hallaron sobre una red a la deriva; y se destaca una tesis de maestría por Treviño Zambrano (2018) quien estudió la respuesta de individuos recolectados ante tratamientos de maduración y desove en condiciones de laboratorio.

Las observaciones en el Perú muestran que la población natural de *Pt. sterna* es abundante en todas las clases de talla (plataformas petroleras, postes de muelles, boyas y objetos sumergidos, artes de cultivo de concha abanico, hasta en la carena de embarcaciones); los animales exhiben conchas robustas y bien ornamentadas, biso grueso y fuerte, y los grandes son vigorosos y muy grandes, tanto los silvestres como los cultivados. Llamó la atención su alta resistencia a tiempos de exposición bajo

anestesia, desecación y a manipulaciones, en general. En cuanto a la cromática del nácar, la banda marginal es ancha con tonos predominantes de esmeralda, bronce y lila/violeta, dentro del patrón de la especie.

3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA

Los experimentos con *Pt. sterna* apuntaron a tres objetivos simultáneos y de corto-mediano plazo de acuerdo con los lineamientos del Proyecto SNIP 162711. Tales objetivos fueron los siguientes: a) evaluar la captación de semilla en dos tipos de células recolectoras y dos sitios hasta 6 m de profundidad; b) evaluar supervivencia y crecimiento de un grupo testigo de juveniles en dos artes para cultivo en suspensión (un sitio) durante 7 meses, y c) formar un grupo de técnicos perleros, particularmente, en la cirugía de perla libre, y monitorear el desempeño de su aprendizaje. Es necesario señalar que los grupos experimentales estudiados en el segundo y tercer objetivo provienen de una recolecta de individuos epibiontes que abundan en las artes de cultivo de *A. purpuratus* (Flores-Ysla *et al.*, 27 de septiembre de 2017; AgroMar del Pacífico, 2018).

La cría de estos animales transcurrió en el módulo piloto de AgroMar del Pacífico en Los Órganos (figura 1) y para el presente estudio se consideraron tres grupos de talla, tomando la altura de la concha (eje dorso-ventral) como referencia: chica (20-40 mm), mediana (40-60 mm) y grande (70 mm y mayores). Esto bajo la premisa de que los granjeros de la concha abanico acostumbran a limpiar los artefactos cada 3-4 meses. Los individuos más grandes de este lote (>100 mm de alto, casi la mitad en *stock*, con 11-12 meses transcurridos en cultivo), se utilizaron en jornadas prácticas de perlicultura abiertas al público y en el entrenamiento de aprendices seleccionados en estas jornadas.

3.1 Área de estudio

Sistemas de captación de semilla y cultivo en suspensión se instalaron en el área de concesión de AgroMar del Pacífico en Los Órganos y en Cabo Blanco (figura 1). En esta selección se tomaron en cuenta criterios de factibilidad operativa por AgroMar del Pacífico y la cercanía a Cabo Blanco donde se ejecutó el demostrativo social del presente proyecto.

1a



1b



Figura 1. Zona de Los Órganos, coordenadas: $4^{\circ}10'04''S$ y $81^{\circ}07'53''O$ (1a). Zona de Cabo Blanco, coordenadas: $4^{\circ}14'53''S$ y $81^{\circ}14'07''O$ (1b)

Fuente: Google Earth (2016)

3.2 Captación de semilla

Para la evaluación de la abundancia en la captación de semilla, se instaló un sistema *long-line* de 50 m de longitud en Los Órganos y otro en Cabo Blanco, en cada sitio se probaron, simultáneamente, dos tipos de células colectoras: unas con substrato de fijación de malla Netlon azul envueltas en bolsa de malla nylon color verde con 1,5 mm de luz; otras en costal cebollero color rojo envuelto en el mismo tipo de bolsa. Las primeras son de uso común para la captación de *A. purpuratus*. Estas células se amarraron en racimos conteniendo los dos tipos de células colectoras, las cuales se repartieron en 10 líneas verticales hasta 6 m de profundidad en cada sitio (figura 2). Los colectores permanecieron sumergidos durante 80 días, entre septiembre y noviembre de 2017; al cabo de los cuales fueron lavados (sacudido o “desgrane”) en tinas llenas de agua marina, de donde se recuperaron las pequeñas conchas, registrando su repartición en las tres profundidades probadas en cada sitio. El tiempo de inmersión se estableció un tanto arbitrariamente procurando coincidir con la temporada fría “normal” en la costa del Perú.

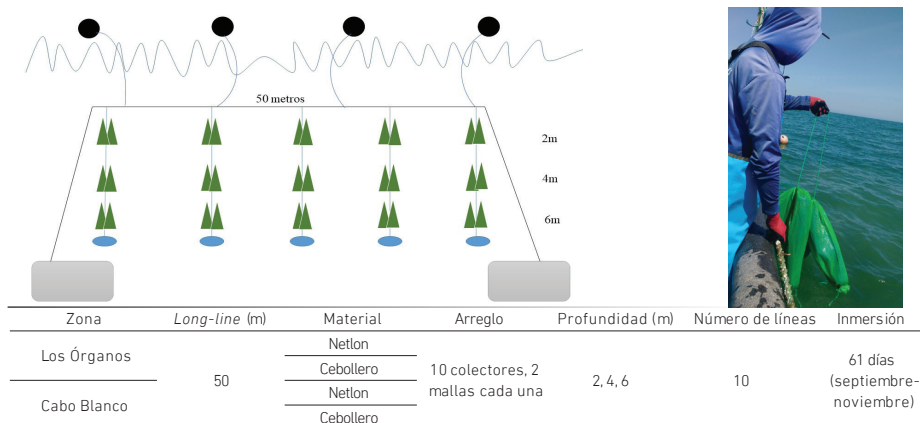


Figura 2. Sistema de captación de semilla de *Pteria sterna* colocado en Los Órganos y Cabo Blanco mostrando los detalles del diseño experimental

Elaboración propia

3.3 Etapa de cría en campo

Se usaron jaulas flexibles tipo linterna de tres pisos como las tradicionales para el cultivo de pectínidos y redes de cartera (*pocket-nets*) que son de uso común en las granjas de ostras perleras (figura 3). Los ejemplares utilizados para la siembra fueron provistos por el módulo piloto de AgroMar del Pacífico en Los Órganos. Los tres grupos de talla (chica, mediana y grande) se dividieron entre este módulo y el de Cabo Blanco; en el primero, se usaron linternas; en el segundo, las carteras. Con esas variables se analizó en cada sitio/artefacto el efecto de la densidad (número y repartición de individuos por artefacto) en comparativo a los grupos de talla (figura 3). El seguimiento por muestreo fue mensual durante siete meses, registrando la longitud y altura (en milímetros) de cada individuo en los lotes. La mortalidad sería registrada planeando sustituir las faltas por animales vivos con el fin de mantener densidades constantes en los artefactos. Sin embargo, el conteo mensual de muertos en los tres grupos siempre fue muy bajo y con alta frecuencia de ceros.

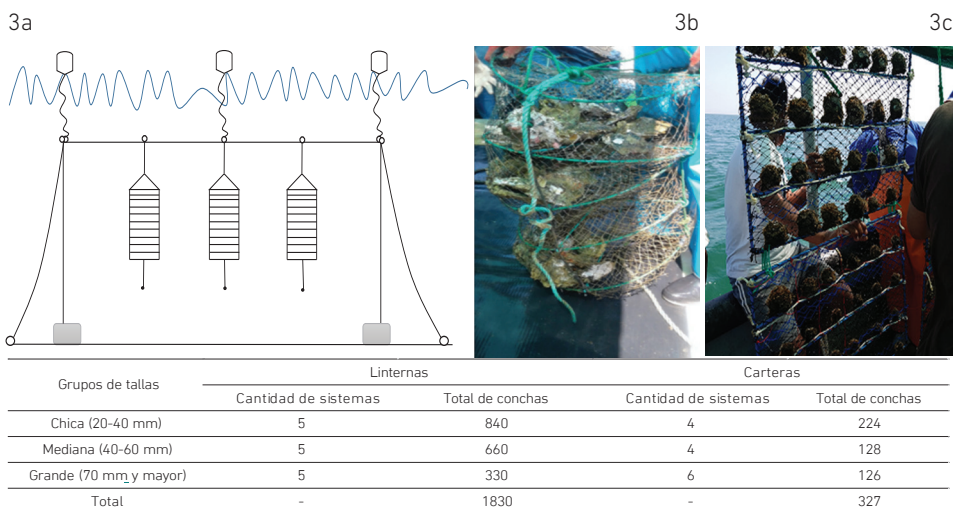


Figura 3. Diseño del sistema de cultivo en suspensión con *long-line* de 50 m de longitud (3a). Arreglo de linternas utilizadas en Los Órganos (3b). Arreglo de carteras en Cabo Blanco. Parte inferior de la figura se muestra el detalle de los experimentos realizados durante la etapa de cultivo tardío de *Pteria sterna* en Los Órganos con el arreglo experimental en linternas y en Cabo Blanco con el arreglo experimental en carteras (3c)

Elaboración propia

3.4 Ensayos de perlicultura

Entre septiembre y octubre de 2018, se realizaron dos jornadas de perlicultura abiertas al público en las cuales el grupo de AgroMar del Pacífico (el instructor y tres aprendices, directamente preparados) impartió prácticas de implante (Mabe o media-perla) y de cirugía (perla libre nucleada) siguiendo los métodos tradicionales para madreperla (Alagarswami y Dharmaraj, 1984; Haws *et al.*, 2006; Taylor y Strack, 2008; Monteforte, 2013a) adaptados a *Pt. sterna*. Un total de 712 individuos producto de los experimentos de cultivo en el módulo piloto de Los Órganos, que a su vez fueron recolectados a mano en los sistemas de la concha abanico unos 12-13 meses antes (Flores-Ysla *et al.*, 27 de septiembre de 2017), se seleccionaron entre los de mayor tamaño (100-120 mm de longitud de concha) y se dividieron en dos grupos: uno de 508 individuos para implantar media-esfera de plástico con diámetro variado entre 8 y 12 mm; otro de 204 individuos para cirugía de perla libre con núcleos esféricos comerciales de 6,8; 8,0 y 9,3 mm de diámetro.

En esta ocasión se aplicó anestesia con Eugenol en dosis de 3 ml/L y con 5-7 min de exposición por lotes de 15-20 ostras a turnos, esto en el entendido de que dicha sustancia no era del todo adecuada, pero no fue posible conseguir propileno de fenoxetol ni benzocaína pura como recomiendan algunos autores (Granados-Amores *et al.*, 2018).

Como pegamento para los implantes de Mabe se utilizó uno de tipo contacto, disponible en el comercio local. La adhesividad fue alta, pues pocos implantes se despegaron, pero al parecer era más volátil que otras resinas epóxicas o de acrilato, comúnmente, preferidas entre los productores.

Estas jornadas fueron parte de las diversas actividades extensionistas dedicadas a la comunidad de Los Órganos y Cabo Blanco que se realizaban en el seno del proyecto institucional. La alta abundancia de semilla detectada en los colectores y la riqueza de los bancos naturales, confirieron suficiente seguridad de utilizar esas 712 ostras (casi la mitad del *stock* en cultivo), en primer lugar, para promover la apropiación del proyecto; en segundo lugar, para identificar personas con aptitud quirúrgica que pudieran incorporarse al grupo de aprendices. En este contexto, actualmente, se cuenta con tres mujeres y un hombre reclutados de estas jornadas, quienes continuaron entrenando cirugía hasta la fecha en que la pandemia de la COVID-19 detuvo el trabajo.

Por dichas razones, en las prácticas de Mabe no siempre fue posible mantener control en que los protocolos se hicieran correctamente según las recomendaciones para *Pt. sterna* en cuanto al número y repartición de los medios-núcleos en las valvas (Monteforte *et al.*, 1994; Ruíz-Rubio, Acosta-Salmón, Olivera, Southgate y Rangel-Dávalos, 2006; Jara *et al.*, 2020). En esta práctica, participaron por lo menos doce personas con amplia mayoría de mujeres adultas y adolescentes. Sin embargo, los resultados con respecto al recubrimiento de nácar sirvieron para probar extremos, debido a que en ocasiones se encontraron hasta cuatro implantes en una u otra de las valvas (figura 4). De los 204 individuos reservados para cirugía de perla libre, se usó una veintena para que practicaran varios voluntarios, mujeres, en particular, y en el resto los técnicos de AgroMar del Pacífico continuaron su entrenamiento.



Figura 4. Muestra de implantes de media-perla en *Pteria sterna* realizados durante la jornada pública de perlicultura en Cabo Blanco. En las dos fotografías, el número de núcleos y su posicionamiento en la valva (cóncava y plana, respectivamente) no cumplen con las recomendaciones establecidas (ver texto)

Elaboración propia

Los animales operados en esas jornadas se trasladaron al sistema de *long-line* en Los Órganos, dentro de sus respectivas redes de cartera, encerrando a los de perla libre en bolsas individuales de malla tipo mosquitero a fin de evaluar mortalidad y rechazos de núcleos. La costumbre entre las granjas perleras (de *Pinctada spp.*) es retirar estas bolsas al estabilizarse la mortalidad, igualando al estándar de los animales no operados, y esperar que no se detecten más rechazos (Alagarswami y Dharmaraj, 1984; Taylor y Strack, 2008). En ambos indicadores, esto ocurre dentro de las primeras 8-10 semanas poscirugía, y en *Pt. sterna* lo es para aprendices con buena aptitud que ya cuenten al menos con mil ensayos en su bitácora personal (Nava, Arizmendi, Farell y McLaurin, 2000).

3.5 Análisis estadístico

Para evaluar el perfil de la captación de semilla se aplicó un análisis de conteo por sitio (Los Órganos y Cabo Blanco), célula colectora (Netlon, en el primer sitio, y cebollera, en el segundo) y profundidad (2, 4 y 6 m). En la etapa de cultivo, se evaluó el crecimiento de la concha en función de tres grupos de talla: chica (20-40 mm), mediana (40-60 mm) y grande (70 mm y mayores), tomando como referencia la variación de altura promedio mensual de julio de 2017 a enero de 2018. Para el análisis estadístico del cultivo en linternas y en carteras, se evaluó el crecimiento de los individuos a dos densidades de siembra por grupo de tallas (tabla 1), mediante una prueba de ANOVA de dos vías con un nivel de confianza al 95 %, utilizando el programa estadístico Minitab 17. Previamente, se examinó la normalidad y homocedasticidad de varianzas con la prueba de residuales de Anderson-Darling disponible en dicho programa, la cual se basa en el ajuste a una distribución normal hipotética, que, en este caso, fue la t-Student. Así se determinó que los datos a analizar cumplían aceptablemente con los supuestos. Los factores con un efecto significativo ($p < 0,05$) se examinaron con pruebas de rango *post-hoc* de Tukey.

Tabla 1

Arreglo de las densidades de siembra de *Pteria sterna* en linternas y carteras por grupos de tallas

Grupo de tallas	Linterna		Cartera	
	Densidad (unidades/piso)		Densidad (unidades/cartera)	
	d1	d2	d1	d2
Chica	30	50	24	32
Mediana	20	40	15	18
Grande	10	20	6	12

Elaboración propia

Con respecto a la perlicultura, tanto en los lotes de perla libre como en los de Mabe, se realizaron muestreos visuales de corto intervalo (conteo de muertos y rechazos),

durante los dos primeros meses, postratamiento, y, luego, se alargaron a bimensual o trimestral, con sacrificio en cada muestreo (5-6 individuos al azar, en cada visita) y en octubre-noviembre de 2019 (11-12 meses, postratamiento, contando la permanencia en las artes de cultivo de *A. purpuratus*) se procedió a la cosecha. Las calificaciones de observación en las Mabe correspondientes a los muestreos y a la cosecha final se adjudicaron de manera descriptiva. Las ostras trabajadas con cirugía se sacrificaron en su totalidad al sexto mes, pues quedaban pocas supervivientes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Vista general de las condiciones oceanográficas

El comportamiento de la temperatura del agua durante el estudio mostró una situación particular derivada de las características de la región. En la figura 5, se observa que Los Órganos presentó temperaturas altas todos los meses, con un promedio de 22,57 °C, en tanto que Cabo Blanco fue más frío, con un promedio de 19,11 °C. Este último sitio, se encuentra más expuesto a la corriente fría de Humboldt y también influye en la estratificación de las capas de agua. A este escenario se suma una temporada de El Niño que sucedió a principios de 2017 y la subsiguiente de La Niña durante el 2018.

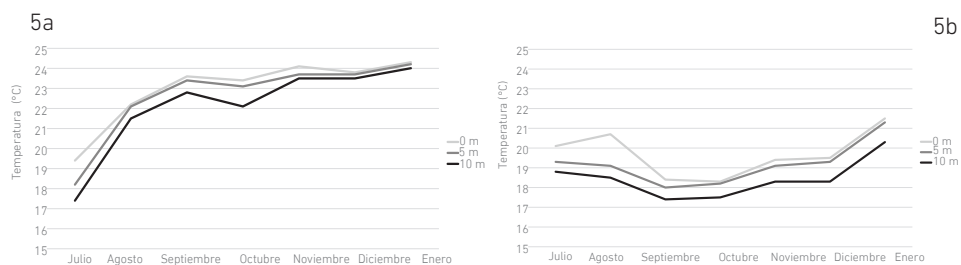


Figura 5. Variación de la temperatura mensual en Los Órganos (5a) y variación en Cabo Blanco (5b) durante el intervalo de tiempo en el presente estudio

Elaboración propia

4.2 Captación de semilla

La figura 6 presenta los resultados de la captación de semilla de *Pt. sterna*, durante la prueba experimental, con tiempo de inmersión de ochenta días, recordando que el estudio transcurrió durante la temporada posterior al evento de El Niño en el Perú y que, por lo tanto, hubo diferencias en el perfil de temperatura, entre los sitios de estudio, con valores diferentes hasta de ± 5 °C en los mismos meses (figura 5). El perfil de temperatura muestra que para los meses de captación (septiembre a noviembre) la temperatura

promedio fue de 23,30 °C, en el primer sitio, y fue menor, registrando un promedio de 18,29 °C, para el segundo lugar.

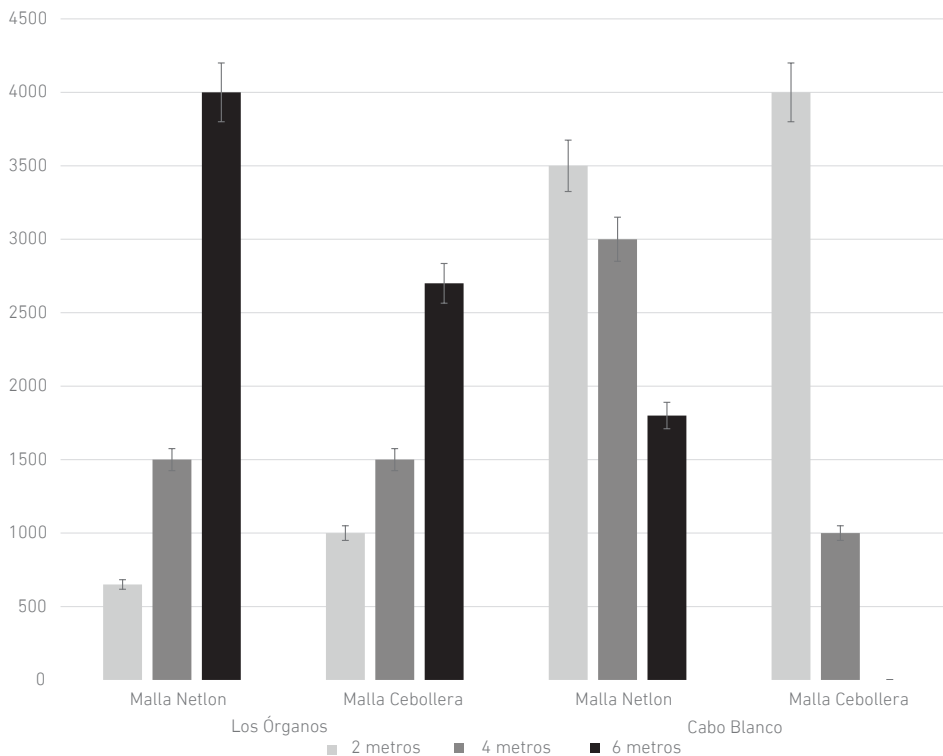


Figura 6. Conteo de semilla de *Pteris sterna* recuperada durante las secuencias de captación de semilla (septiembre-noviembre de 2017) en función de las variables probadas (tipo de colector, profundidad y sitio de estudio)

Elaboración propia

Se observó una suerte de imagen en espejo de la repartición vertical de la semilla al comparar Cabo Blanco y Los Órganos. En el primero, que se comportó como sitio frío, hubo tendencia de fijaciones a menor profundidad, en especial, la malla cebollera en ese sitio tuvo comparativamente poca captación a 4 y 6 m contra más de 4000 semillas a 2 m. En Los Órganos, que fue el sitio cálido, ocurrió el caso contrario, con una preferencia por la cota de 6 m de profundidad y, en particular, por la malla Netlon, con captación relativamente menor a 2 m de profundidad. En términos generales, no se detectó que la semilla de *Pt. sterna* exhibiera preferencia por fijarse en costal cebollero o malla Netlon y tampoco que el tipo de colector tuviera relación con su repartición vertical, fuera esta de patrón frío o cálido. Las sumas de abundancia sugieren que el espacio frío de Cabo Blanco favoreció la eficiencia de la captación en ese sitio (figuras 5 y 6). Evidentemente,

la interpretación de estos datos debe ser tomada con precaución debido a la diferencia de temperaturas y condiciones oceanográficas de Cabo Blanco y Los Órganos (figura 5).

Por otro lado, este estudio coincide con el intervalo del Niño/Niña de 2016-2018, que fue de efecto superior a lo moderado, en especial, hacia el Pacífico Sur. Al comparar el perfil de captación de *Pt. sterna* en el golfo de California (Monteforte, Kappelman-Piña y López-Espinosa, 1995), Acapulco (Torres-Zepeda, Morales-Salvador y Peralta-Montes, 2002) y Ecuador (Gregori *et al.*, 2019) con los resultados en el Perú, los contrastes más notables residieron en la abundancia de semilla, aún en las temporadas de mayor captación, las cuales coinciden con temporadas frías en todos los casos. Es claro que la periodicidad estacional y/o la distribución vertical de la semilla pudieron variar debido a la ocurrencia de años del Niño y La Niña que afectan diferente al hemisferio norte y sur. Más aún, en bahía de La Paz, Saucedo y Monteforte (1997) reportan que la presencia de individuos maduros es continua todo el año, situando los principales desoves en la temporada fría (noviembre a febrero).

Asimismo, Cáceres Puig (2012) menciona que la especie desova, principalmente, en la temporada fría, ello explica la gran cantidad de semilla captada en Cabo Blanco, pues esta zona registró una temperatura promedio de 18,29 °C, entre septiembre y noviembre. En Guaymas, los desoves ocurren en marzo-abril (Arizmendi-Castillo, 1996) y, por lo general, se colocan los colectores en ese período hasta el inicio de verano (junio-julio). En bahía de La Paz, las captaciones más abundantes se dan entre diciembre-enero y marzo (invierno-primavera), con marcada tendencia por profundidades superficiales por encima de 4-5 m, y si ocurre reclutamiento en verano, este es escaso y se distribuye por debajo de los 9-10 m de profundidad, hasta los 15 m probados por Monteforte *et al.* (1995).

Dicho patrón es similar en Guaymas (Arizmendi-Castillo, 1996) y Acapulco (Torres-Zepeda *et al.*, 2002). En Ecuador, la mayor intensidad de reclutamiento sucede entre junio y agosto (temporada fría del sur), con preferencia por profundidades alrededor de 6 m (Gregori *et al.*, 2019). Es evidente que las condiciones climáticas y otros factores que influyen en la cantidad de alimento disponible en el mar (temperatura, oxígeno, clorofila, minerales disueltos, dinámica de corrientes, estratificación, etc.) son determinantes en la tasa de reclutamiento de semilla natural y, por ende, en el rendimiento de los colectores. De todas maneras, es necesario estudiar con mayor detalle espacial y temporal el ciclo reproductivo y de reclutamiento de *Pt. sterna* en el Perú.

4.3 Cultivo en campo por grupo de talla

La densidad de individuos de *Pt. sterna* en las artes de cultivo tuvo un efecto diferente sobre el crecimiento (altura de la concha), dependiendo del grupo de talla (chica, mediana y grande) y/o el tipo de artefacto probado en cada sitio (linternas en Los Órganos y redes

de cartera en Cabo Blanco) (tabla 1). En el primer sitio/artefacto, la prueba de ANOVA no detectó diferencias significativas en la talla final, entre densidades en el seno de cada grupo de talla ($F = 1,95, p = 0,124$) y el esquema general de la tasa de crecimiento sugirió que esta habría sido más rápida en las linternas de Los Órganos que en las carteras de Cabo Blanco (tablas 2-4).

En efecto, en las ostras de talla chica, dentro de linternas en Los Órganos (tabla 2), se registró una ganancia en altura promedio de 7,56 mm/mes, para la densidad d1, y 8,68 mm/mes, para d2, con talla promedio final de $94,7 \pm 8,7$ mm y $97,3 \pm 9,5$ mm, respectivamente; mientras que las de talla grande crecieron más lento, con una ganancia de 4,22 mm/mes, para d1, y 5,03 mm/mes, para d2, con talla promedio final de $130,7 \pm 8,4$ mm y $130,6 \pm 7,4$ mm, respectivamente (tabla 4). Las ostras de talla mediana no presentaron diferencias significativas en la tasa de crecimiento, con respecto a los otros dos grupos y a sus propias densidades (7,47 mm/mes en d1 y 6,20 mm/mes en d2, con talla promedio final de $124,9 \pm 5,1$ mm y $122,5 \pm 5,9$ mm) (tabla 3). El desglose *post-hoc* de Tukey muestra que la tasa de crecimiento del grupo de talla chica fue, significativamente, mayor que en el grupo de las tallas mediana y grande, aunque el valor de confianza es relativamente bajo ($p = 0,044$), favoreciendo a la densidad de 50 unidades por piso (d2) (tabla 1).

Tabla 2

Biometría promedio mensual del grupo de talla chica de concha perlera Pteria sterna a dos diferentes densidades de siembra en linternas en Los Órganos

Talla chica Mes	d1 (30 unidades por piso linterna)		d2 (50 unidades por piso linterna)	
	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)
Julio	$50,0 \pm 9,1$		$45,2 \pm 10,9$	
Agosto	$60,0 \pm 8,5$	10,00	$60,0 \pm 12,5$	14,80
Septiembre	$72,5 \pm 8,8$	12,50	$68,0 \pm 12,0$	7,98
Octubre	$77,3 \pm 9,8$	4,63	$75,7 \pm 9,5$	7,72
Noviembre	$81,2 \pm 8,0$	4,70	$79,6 \pm 9,0$	3,90
Diciembre	$88,2 \pm 8,9$	7,00	$87,3 \pm 9,2$	7,70
Enero	$94,7 \pm 8,7$	6,50	$97,3 \pm 9,5$	10,00
Promedio		7,56		8,68

Elaboración propia

Tabla 3

Biometría promedio mensual del grupo de talla mediana de concha perlera Pteria sterna a dos diferentes densidades de siembra en linternas en Los Órganos

Talla mediana	d1 (20 unidades por piso linterna)		d2 (40 unidades por piso linterna)	
Mes	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)
Julio	80,1 ± 7,3		85,3 ± 10,6	
Agosto	94,0 ± 11,0	13,90	95,0 ± 7,0	9,70
Septiembre	98,0 ± 7,8	4,00	98,9 ± 6,9	3,90
Octubre	104,6 ± 4,8	6,60	103,7 ± 5,8	4,80
Noviembre	109,6 ± 4,4	5,00	108,3 ± 5,1	4,60
Diciembre	116,2 ± 4,7	6,60	113,4 ± 5,9	5,10
Enero	124,9 ± 5,1	8,70	122,5 ± 5,9	9,10
Promedio		7,47		6,20

Elaboración propia

Tabla 4

Biometría promedio mensual del grupo de talla grande de concha perlera Pteria sterna a dos diferentes densidades de siembra en linternas en Los Órganos

Talla grande	d1 (10 unidades por piso linterna)		d2 (20 unidades por piso linterna)	
Mes	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)
Julio	105,4 ± 9,8		100,4 ± 7,5	
Agosto	112,0 ± 7,4	6,60	108,0 ± 8,8	7,60
Septiembre	116,9 ± 9,5	4,90	113,4 ± 8,3	5,35
Octubre	117,1 ± 8,0	0,20	113,9 ± 7,8	0,55
Noviembre	120,0 ± 8,1	2,90	117,9 ± 7,3	4,00
Diciembre	123,3 ± 8,4	3,30	121,8 ± 7,1	3,90
Enero	130,7 ± 8,4	7,40	130,6 ± 7,4	8,80
Promedio		4,22		5,03

Elaboración propia

En las redes de cartera en Cabo Blanco, la densidad fue más influyente en el crecimiento comparado con las linternas en Los Órganos (tablas 5-7). En los tres grupos de talla, se detectaron diferencias significativas en altura promedio y/o tasa de crecimiento mensuales y finales, en función de la densidad de siembra. Así, en el grupo de talla chica, se registró una talla final de $75,9 \pm 8,4$ mm y ganancia promedio de

4,48 mm/mes, en la densidad d1, contra una talla final de $71,3 \pm 8,7$ mm y ganancia promedio de 4,80 mm/mes, en la densidad d2 (tabla 5) ($F = 11,34$, $p = 0,001$). Para el grupo de talla mediana, en la densidad d1, se registró una talla promedio final de $109,9 \pm 8,2$ mm con crecimiento promedio mensual de 5,20 mm y, en la densidad d2, una talla final de $100,6 \pm 8,9$ mm que crecieron un promedio de 4,92 mm/mes (tabla 6) ($F = 15,97$, $p = 0,000$). Finalmente, en el grupo de talla grande, bajo la densidad d1, se registró una talla promedio final de $128,6 \pm 6,6$ mm y crecimiento mensual de 3,83 mm/mes, y, en la densidad d2, la talla promedio final fue de $124,4 \pm 6,7$ mm con tasa de crecimiento promedio de 4,10 mm (tabla 7) ($F = 4,4$, $p = 0,045$). El desglose *post-hoc* de Tukey parece favorecer a las densidades menores con valores de p entre 0,03 (talla grande) y 0,004 (talla chica). Sin embargo, en el comparativo de conjuntos, respecto a las linternas de Los Órganos, los indicadores de talla y crecimiento en las carteras de Cabo Blanco mostraron inclinación a ser menores en los tres grupos de talla, en particular, el de las chicas que, en las linternas, los indicadores están casi al doble valor de los iniciales respectivos (tablas 2 y 5).

Tabla 5

Biometría promedio mensual del grupo de talla chica de concha perlera Pteria sterna a dos diferentes densidades de siembra en carteras en Cabo Blanco

Talla chica	d1 (24 unidades por cartera)		d2 (32 unidades por cartera)		
	Mes	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)
Julio		$51,3 \pm 8,2$		$44,1 \pm 8,5$	
Agosto		$51,3 \pm 7,7$	0,00	$46,1 \pm 9,6$	2,00
Septiembre		$56,1 \pm 7,6$	4,80	$49,5 \pm 8,0$	3,40
Octubre		$65,0 \pm 8,8$	8,90	$59,2 \pm 9,3$	9,70
Noviembre		$69,4 \pm 8,3$	4,40	$60,4 \pm 9,0$	1,20
Diciembre		$73,7 \pm 8,6$	4,30	$68,3 \pm 8,5$	7,90
Enero		$75,9 \pm 8,4$	2,20	$71,3 \pm 8,7$	3,00
Promedio			4,48		4,80

Elaboración propia

Tabla 6

Biometría promedio mensual del grupo de talla mediana de concha perlera Pteria sterna a dos diferentes densidades de siembra en carteras en Cabo Blanco

Talla mediana	d1 (15 unidades por cartera)		d2 (18 unidades por cartera)	
Mes	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)
Julio	78,6 ± 7,2		71,1 ± 7,6	
Agosto	84,6 ± 6,2	6,00	77,1 ± 6,7	6,00
Septiembre	91,6 ± 8,9	7,00	82,8 ± 8,7	5,70
Octubre	95,5 ± 8,2	3,90	86,1 ± 9,1	3,30
Noviembre	99,7 ± 8,3	4,20	90,5 ± 9,4	4,40
Diciembre	104,7 ± 8,2	5,00	94,9 ± 8,8	4,40
Enero	109,9 ± 8,2	5,20	100,6 ± 8,9	5,70
Promedio		5,22		4,92

Elaboración propia

Tabla 7

Biometría promedio mensual del grupo de talla grande de concha perlera Pteria sterna a dos diferentes densidades de siembra en carteras en Cabo Blanco

Talla grande	d1 (6 unidades por cartera)		d2 (12 unidades por cartera)	
Mes	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)	Altura promedio (mm)	Crecimiento altura mensual (mm/mes)
Julio	105,7 ± 10,6		99,8 ± 9,5	
Agosto	109,5 ± 12,1	3,80	104,2 ± 6,7	4,40
Septiembre	117,2 ± 18,7	7,70	111,9 ± 10,8	7,70
Octubre	118,3 ± 5,9	1,10	112,2 ± 6,9	0,30
Noviembre	120,8 ± 5,0	2,50	116,0 ± 5,9	3,80
Diciembre	124,8 ± 5,4	4,10	119,6 ± 6,5	3,60
Enero	128,6 ± 6,6	3,80	124,4 ± 6,7	4,80
Promedio		3,83		4,10

Elaboración propia

Para comparar estos resultados con otros trabajos sobre crecimiento de *Pt. sterna* en condiciones de cultivo, se cuenta con datos en bahía de Los Ángeles (Vollolina-Lobina, Buckle-Ramírez, Morales y Valenzuela, 1992), La Paz (Monteforte, 2013a) y Ecuador (Lodeiros *et al.*, 2018), pero los espacios geográficos y las temporadas en que se llevaron a cabo estos estudios son diferentes en cuanto a condiciones oceanográficas. En

particular, durante la época en que se realizó el presente trabajo ocurrió un evento de El Niño de alta intensidad seguido de un La Niña relativamente moderado.

Los Órganos y Cabo Blanco presentaron regímenes diferentes de temperatura (figura 5), con lo cual la interpretación de contrastes en el crecimiento de *Pt. Sterna*, entre ambos sitios, debe ser tomada con precaución como en el caso de la captación de semilla. Sin embargo, pareciera que el común denominador es que la especie responde mejor durante la temporada fría, por lo que el crecimiento en carteras en Cabo Blanco tuvo tendencia a ser más rápido que en linternas en Los Órganos para todos los grupos de talla y las densidades probadas. En términos generales, todo parece indicar que *Pt. sterna* habría presentado una tasa de crecimiento más rápida y tallas mayores en el Perú que en los sitios estudiados en Ecuador y México, a reserva de ser examinado durante un año "normal".

Según Ruíz-Rubio *et al.* (2006), *Pt. sterna* es la ostra perlera más pequeña usada en la producción comercial de Mabe. Los estudios en torno a la respuesta de *Pt. sterna* bajo operaciones de implante o cirugía (La Paz, Guaymas, Acapulco y Ecuador) coinciden en señalar que la talla mínima de altura de la concha debe ser 75-80 mm, como lo especifica la normativa establecida en México para esta especie (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2013). Sin embargo, hay diferencias en cuanto al tiempo en cultivo para llegar a ese estándar dependiendo de las regiones. En La Paz, Guaymas y Acapulco oscila entre 15 y 18 meses (Kiefert, McLaurin Moreno, Arizmendi, Hänni y Elen, 2004; Monteforte, 2013b; Serna-Gallo *et al.*, 2014), en tanto que Lodeiros *et al.* (2018) para Ecuador reportan esa talla estándar en menos de un año con cultivo en artefactos tipo cartera, y hasta 100 mm en 12-14 meses.

En el presente trabajo, se encontró que respecto al *Pt. Sterna* cultivada durante 10-11 meses, la gran mayoría de individuos en los grupos de talla mediana y grande sobrepasaba 100 mm de altura de la concha, notándose mejor crecimiento en las carteras, aunque no excesivamente significativo ($p = 0,048$) (tablas 2-7), pero sí en cuanto a la regularidad en la forma de la concha con respecto a los individuos desordenados en las linternas.

4.4 Resultados y comentarios de la perlicultura

Como se explicó con antelación, el propósito del proyecto en esta ocasión se dirigió a construir los principales bloques sociales en la región objetivo en torno al modelo de granja perlera con *Pt. sterna*. El seguimiento de los 508 implantados con media-perla permitió apreciar la buena calidad en el recubrimiento de nácar de manera que, en el muestreo de cosecha (unos 200 individuos en total, todos con al menos una pieza de Mabe), se obtuvieron casi 250 Mabe de calidad buena a muy buena, hasta unas 5 o 6 que fueron joyas (figura 7), a pesar de que pocos casos cumplieron con la repartición 2:1 o 2:2,

recomendada para la especie, y también con la colocación de los implantes (Monteforte *et al.*, 1994; Ruíz-Rubio *et al.*, 2006; Jara *et al.*, 2020). En la figura 7 se presentan los resultados de algunos muestreos, notando que la cromática del nácar se asemeja al patrón general de la especie.

La mortalidad de este lote llegó al punto de inflexión en el mes 4, con un acumulado del 35 % contra menos del 10 % en animales no operados. Suponemos toxicidad debido a la volatilidad del pegamento y/o anestésico incorrecto, pues la mortalidad fue aguda desde la primera semana postratamiento. De allí en adelante ambos lotes mantuvieron una supervivencia del 95 % hasta octubre de 2019 cuando se levantó la cosecha (figura 7). Por el contrario, la mortalidad poscirugía de perla libre llegó al 75 % en el mes 4. Del restante 25 % (51 supervivientes), casi la mitad había rechazado su respectivo núcleo durante los primeros dos meses poscirugía. El sacrificio de estos animales reveló que algunos núcleos estaban descolocados del punto correcto de inoculación y sin cubrimiento, otros se encontraron sueltos fuera de la masa visceral (sin expulsión definitiva), y en ningún caso hubo indicios de granos de nácar (Keshi), que se forman a partir del injerto (el trozo de manto, o *saibo*, como lo nombran algunos autores) cuando el núcleo ha sido rechazado.



Figura 7. Resultados de piezas de artesanía local en concha. En la parte izquierda del panel nótese las tres conchas de *Pt. sterna*, una de ellas con cuatro núcleos, y el corte de Mabe en la segunda hilera con tres núcleos

Elaboración propia

Al final de la línea, el proyecto está generando un ejemplo de éxito en el Perú, lo cual se ha concretado en una empresa comunitaria denominada Perlas del Mar de Cabo Blanco, con su grupo de perlicultura bien definido. Esto ha permitido la puesta en obra de experimentos encaminados a afinar las técnicas de implante y cirugía. En adición, los datos generados en este trabajo vienen a enriquecer y ampliar geográficamente el conocimiento sobre *Pt. sterna*.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La oceanografía del mar costero en la región de estudio es determinante en el perfil poblacional de *Pteria sterna* y su respuesta al manejo en condiciones de cultivo extensivo. Un fenómeno de ecotono, combinado con influencias de eventos ENSO, dio lugar a que Los Órganos y Cabo Blanco se comportaran como la zona de transición que ocurre en la región marina-costera al noroeste de México.
- El rendimiento de captación sobrepasó expectativas, con un total de 24 250 semillas cosechadas. Los conteos de hasta 1500 unidades o más por célula colectora fueron frecuentes en condiciones de pico (figura 6). Los resultados sugieren una preferencia por el mismo tipo de células colectoras utilizadas en las granjas de concha abanico, *A. purpuratus* (sustrato de malla Netlon azul, embolsado en nailon verde 1,5 mm de luz). En la repartición vertical se notó tendencia por mayor profundidad en condiciones cálidas (Los Órganos) y hacia la superficie en condiciones frías (Cabo Blanco), y por una mayor abundancia comparativa en condiciones frías (figura 6). Esto parece coincidir con lo conocido en México y Ecuador.
- Los resultados de crecimiento y supervivencia de individuos de *Pt. sterna* recolectados en las granjas de concha abanico mostraron tendencia a mejores indicadores en las linternas de Los Órganos que en las carteras de Cabo Blanco. En el primer sitio, el efecto de densidad tuvo poca influencia en la respuesta de los tres grupos de talla; mientras que, en el segundo, a menor densidad en conjunto se notó mejor crecimiento y tallas grandes en los tres grupos de talla, particularmente, en el de las chicas. Este patrón no es conclusivo debido al escenario general propio a cada sitio.
- Los resultados de la perlicultura demostraron la amplia factibilidad técnica y el valor en la formación de recursos humanos en comunidades vulnerables.
- Se recomienda continuar con los estudios sistematizados apuntando a afinar el manejo del cultivo extensivo en las condiciones del Perú, así como las técnicas de perlicultura cuando el estado de pandemia por la COVID-19 lo permita.

REFERENCIAS

- AgroMar del Pacífico (2018). *Crianza experimental de concha perlera - Tercera experiencia. Fortalecimiento de capacidades para mejorar las condiciones operativas productivas en la actividad pesquera-acuícola artesanal en las provincias de Talara, Paíta y Sechura*. Reporte del proyecto SNIP 162711. Gobierno Regional de Piura.
- Alagarswami, K., y Dharmaraj, S. (1984). Manual of Pearl Culture Techniques. *CMFRI Special Publication, 20*, 1-42.
- Álamo, V., y Valdivieso, V. (1997). *Lista sistemática de moluscos marinos del Perú* (2.ª ed.). Callao, Perú: Instituto del Mar del Perú.
- Arizmendi-Castillo, E. (1996). *Ciclo reproductivo de las ostras perleras, Pinctada mazatlanica (Hanley, 1856) y Pteria sterna (Gould, 1851), (Pteriidae), en el área de Guaymas, Sonora, México* (tesis de maestría). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey-Guaymas, México.
- Baudin, L. (1961). *A socialist empire. The Incas of Peru*. Princeton, New Jersey: D. Van Nostrand Co. Ltd.
- Cáceres Puig, J. I. (2012). *Dinámica del Reclutamiento de Juveniles de Concha Nácar Pteria sterna en la bahía de La Paz, Baja California Sur, México* (tesis doctoral). Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, México. Recuperada de <http://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/193>
- Cipriani, R., Guzmán, H. M., y López, M. (2008). Harvest history and current densities of the pearl oyster *Pinctada mazatlanica* (Bivalvia: Pteriidae) in Las Perlas and Coiba Archipelagos, Panama. *Journal of Shellfish Research, 27*(4), 691-700. [https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2008\)27\[691:hhacdo\]2.0.co](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2008)27[691:hhacdo]2.0.co)
- Echevin, V., Aumont, O., Ledesma, J., y Flores, G. (2008). The seasonal cycle of surface chlorophyll in the Peruvian upwelling system: A modelling study. *Progress in Oceanography, 79*(2-4), 167-176.
- Flores-Ysla, F. E., Rojas-Hurtado, D., y Fernandini, F. (27 de septiembre de 2017). Cultivo de concha perlera en sistema suspendido en Los Órganos y Cabo Blanco. *Jornada Acuicola Internacional, Piura, Perú*.
- Freites, L., Franklin, J., Gregori, M., Márquez, A., Saucedo, P. E., y Lodeiros, C. (2020). Performance of the winged pearl oyster *Pteria sterna* (Gould, 1851), implanted for half-pearl (Mabe) production in two size groups. *Aquaculture, 524*. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735267>
- Google Earth (2016). *Zona de Los Órganos y Zona de Cabo Blanco*. Piura, Perú.

- Granados-Amores, A., Saucedo, P. E., Mazón-Suástegui, J. M., Rodríguez-Jaramillo, C., Acosta-Salmón, H., Zenteno-Savin, T., y Campa-Córdova, Á. I. (2018). Does relaxation as a sedative therapy previous to pearl production affect antioxidant response and cause oxidative damage in the winged pearl oyster *Pteria sterna*? *Aquaculture*, 491, 295-301. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.051>
- Gregori, M., Villón, J., Jara, F., Gonzabay-Tomalá, P., y Freites, L. (2019). Spatial and temporal spatfall of the winged pearl oyster *Pteria sterna* (Gould, 1851) in Equatorial Coasts. *Aquaculture*, 511, 734258. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734258>
- Haws, M. C., Ellis, C. S., y Ellis, P. E. (2006). *Producing half-pearls (Mabe)*. Western Indian Ocean Marine Science Association, University of Dares es Salaam, University of Hawaii, Hilo and the Coastal Resources Center, University of Rhode Island,
- Jara, F., Gregori, M., Rodríguez-Pesantes, D., Freites, L., Lodeiros, C., y Márquez, A. (2020). Efecto del tamaño del núcleo en la calidad de las medias perlas (Mabe) producidas por la ostra alada *Pteria sterna* (Gould, 1851) en costas ecuatorianas. *XXII Foro dos Recursos Mariños e da Acuicultura das Rías Galegas*, 361-367.
- Johnston, W. L., Hine, D., y Southgate, P. C. (2018). Economic modeling of round pearl culture in Fiji and assessment of viable farm size. *Journal of Shellfish Research*, 37(1), 79-91.
- Keen, M. (1971). *Sea shells of tropical west America: marine mollusks from Baja California to Peru* (2.ª ed.). Stanford, California: Stanford University Press.
- Kiefert, L., McLaurin Moreno, D., Arizmendi, E., Hänni, H. A., y Elen, S. (2004). Cultured pearls from the Gulf of California, Mexico. *Gems and Gemology*, 40(1), 26-38. doi:10.5741/GEMS.40.1.26
- Lluch-Belda, D. (2000). Centros de actividad biológica en la costa occidental de Baja California. En D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S. E. Lluch-Cota, y G. Ponce-Díaz (Eds.), *BAC, Centros de actividad biológica en el Pacífico mexicano* (pp. 49-64). México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Lodeiros, C., Rodríguez-Pesantes, D., Márquez, A., Revilla, J., Freites, L., Lodeiros-Chacón, C., y Sonnenholzner, S. (2018). Growth and survival of the winged pearl oyster *Pteria sterna* (Gould, 1851) in suspended culture in the tropical Eastern Pacific: Influence of environmental factors. *Aquaculture Research*, 49(2), 832-838. <https://doi.org/10.1111/are.13514>
- Luque Sánchez, C., Solís Acosta, J., Morón Antonio, O., y Crispín Carpio, M. (2001). Prospección de la concha perlífera *Pteria sterna* en Talara, noviembre 2000. *Informe Progresivo Instituto del Mar de Perú*, (154).

- Monteforte, M. (2013a). Evolución de la perlicultura: Sinopsis gráfica comentada de una tecnología milenaria. *XIII Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortes (AIMAC)*. Ensenada BC, México. doi:10.13140/RG.2.2.34875.67367
- Monteforte, M. (2013b). *Instalación y operación de granjas perleras. Un manual para Pinctada mazatlanica y Pteria sterna*. Editorial Académica Española.
- Monteforte, M., y Cariño, M. (2013). Condiciones para el desarrollo de granjas perleras y producción de perlas: estado del arte, potencial y perspectivas. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(1), 1-16. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572013000100001>
- Monteforte, M., y Cariño, M. (en prensa). *Apuntes para la historia de la acuicultura en el golfo de California*. En M. Cariño y W. Domínguez (Eds.), *Nuestro mar* (vol. II, Extractivismo industrial y comercial del golfo de California) (pp. 175-224). Universidad de Granada, España/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México.
- Monteforte, M., Bervera, H., Morales, S., Pérez, V., Saucedo, P., y Wright, H. (1994). Results on the production of cultured pearls in *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* from bahía de La Paz, South Baja California, México. *Journal of Shellfish Research*, 13(1), 344-345.
- Monteforte, M., Kappelman-Piña, E., y López-Espinosa, B. (1995). Spatfall of pearl oyster, *Pteria sterna* (Gould), on experimental collectors at bahía de La Paz, South Baja California, Mexico. *Aquaculture Research*, 26(7), 497-511. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1995.tb00940.x>
- Morón Antonio, O., y Tenorio, J. (2011). Aspectos oceanográficos en primavera 2003: Crucero bento-demersal BIC Humboldt 0310. *Informe del Instituto del Mar Perú*, 38(1), 75-80.
- Murphy, R. C. (1923). Fisheries resources in Peru. *The Scientific Monthly*, 16(6), 594-607.
- Nava, M., Arizmendi, E., Farrell, S., y McLaurin, D. (2000). Evaluation of success in the seeding of round nuclei in *Pteria sterna* (Gould 1851), a new species in pearl culture. *SPC Pearl Oyster Information Bulletin*, 14, 12-16.
- Ordinola, E., Alemán, S., y Vera, M. (2013). Características biológicas de una población de *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae) en Zorritos, Tumbes, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 20(2), 181-186.
- Ordinola, E., Montero, P., Alemán, S., Argüelles, J., Beltrán, L., y Llanos J. (2010). El bivalvo concho perlífera, *Pteria sterna* (Gould), en Talara, Perú. Abril 2007. *Instituto del Mar del Perú. Perú*, 37(3-4), 127-137.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). The State of the World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in action. The State of the World Series. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>
- Paredes, C., Tarazona, J., Canahuire, E., Romero, L., Cornejo, O., y Cardoso, F. (1998). Presencia de moluscos tropicales de la provincia panameña en la costa central del Perú y su relación con los eventos "El Niño". *Revista Peruana de Biología*, 5(2), 123-128.
- Ramírez-Gastón, J., Sandoval-Méndez, N., y Vicente-Cárdenas, K. (2018). *Sistema Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura. Fundamentos y propuesta 2017-2022*. Serie Estudios Preinversión 3. Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura, Ministerio de la Producción. Perú.
- Ruíz-Rubio, H., Acosta-Salmón, H., Olivera, A., Southgate, P. C., y Rangel-Dávalos, C. (2006). The influence of culture method and culture period on quality of half-pearls ('mabé') from the winged pearl oyster *Pteria sterna*, Gould, 1851. *Aquaculture*, 254(1), 269-274.
- Saucedo, P., y Monteforte, M. (1997). Breeding cycle of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae) at Bahía de La Paz, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 16(1), 103-110.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2013). Norma Oficial Mexicana NOM-058-SAGg/PESC/SEMARNAT-2013 para regular el cultivo de las ostras perlas: madreperla (*Pinctada mazatlanica*), concha nácar (*Pteria sterna*), madreperla del atlántico (*Pinctada imbricata*) y la ostra perlera alada del atlántico (*Pteria colymbus*) en aguas marinas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Recuperada de http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/5276/sagarpa11_C/sagarpa11_C.html
- Serna-Gallo, I., Ruíz-Velazco, J. M., Acosta-Salmón, H., Peña-Messina, E., Torres-Zepeda, G., y Saucedo, P. E. (2014). Patrones de crecimiento y reproducción de la concha nácar, *Pteria sterna*, cultivada en un ambiente tropical de México: Implicaciones para el cultivo de perlas. *Ciencias Marinas*, 40(2), 75-88. <https://doi.org/10.7773/cm.v40i2.2393>
- Solano López, Y., Cabrera Peña, J., Cruz, R. A., y Palacios, J. A. (1997b). Estructura de la población y crecimiento de *Pinctada mazatlanica* (Pterioida: Pteriidae), golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 45(3), 1055-1060.
- Solano López, Y., Cabrera Peña, J., Palacios, J. A., y Cruz, R. A. (1997a). Madurez sexual, índice de condición y rendimiento de *Pinctada mazatlanica* (Pterioida: Pteriidae), golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 45(3): 1049-1054.

- Solano López, Y., Cabrera Peña, J., Protti Quesada, M., y Cruz Soto, R. (1995). Relaciones morfométricas de *Pinctada mazatlanica* (Bivalvia: Pteriidae) en Puntarenas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 43(1-3), 177-180.
- Southgate, P. C. (2008). Pearl oyster culture. En P. C. Southgate y J. S. Lucas (Eds.), *The pearl oyster* (pp. 231-272). Elsevier Science.
- Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., Bertrand, S., y Vásquez, L. (2008). The relationship of anchovy and sardine to water masses in the Peruvian Humboldt Current System from 1983 to 2005. *Progress in Oceanography*, 79(2-4), 228-237. doi:10.1016/j.pocean.2008.10.021
- Taylor, J., y Strack, E. (2008). Pearl production. En P. C. Southgate y J. S. Lucas (Eds.), *The pearl oyster* (pp. 273-302). Elsevier Science.
- Torres-Zepeda, M. G., Morales-Salvador, J., y Peralta-Montes, L. (2002). Evaluación de la captación estacional y batimétrica de semilla de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) y la concha nácar *Pteria sterna* (Gould 1851) en colectores artificiales en la bahía de Acapulco (Guerrero, México). *Memorias del Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura CIVA 2002*.
- Treviño Zambrano, L. M. (2018). *Acondicionamiento gonádico e inducción al desove por "shock" térmico en la ostra perlífera Pteria sterna (Gould, 1851) en condiciones de laboratorio* (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vergara, O., Dewitte, B., Montes Torres, I., Garçon, V., Ramos, M., Paulmier, A., y Pizarro, O. (2016). Seasonal variability of the oxygen minimum zone off Peru in a high-resolution regional coupled model. *Biogeosciences*, 13(15), 4389-4410. <https://doi.org/10.5194/bg-13-4389-2016>
- Voltolina-Lobina, D., Buckle-Ramírez, L. F., Morales, E., y Valenzuela, B. F. (1992). Spat settlement and growth of *Pteria sterna* (Gould) (mollusca, bivalvia) in Bahía de Los Angeles, Baja California, México. *Tropical Ecology*, 33(2), 137-147.

**CIENCIA
Y TECNOLOGÍA**

Science and Technology

DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ARTESANAL DE PRODUCCIÓN DE HILO DE FIBRA DE ALPACA EN PUNO, PERÚ*

BERTHA DÍAZ-GARAY*

<https://orcid.org/0000-0002-8409-3210>

ROSA PATRICIA LARIOS-FRANCIA*

<https://orcid.org/0000-0002-1471-9185>

WILFREDO HERNÁNDEZ GORRITI*

<https://orcid.org/0000-0002-6122-4935>

RAFAEL CHÁVEZ UGAZ*

<https://orcid.org/0000-0002-9450-0158>

CARLOS ALBERTO GÁLVEZ ZÁRATE*

<https://orcid.org/0000-0002-7723-234X>

Universidad de Lima, Perú

ANDRÉS CONDORI TICONA*

<https://orcid.org/0000-0001-5959-3515>

Centro de Innovación Tecnológica (CITE) de los Camélidos Sudamericanos Puno, Perú

TEODOSIO HUANCA MAMANI (†)

<https://orcid.org/0000-0001-5881-8671>

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Puno, Perú

Recibido: 30 de agosto del 2020 / Aprobado: 04 de diciembre del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5149>

RESUMEN: Esta investigación buscaba conocer el estado actual del proceso artesanal de producción de hilo de fibra de alpaca, de la región de Puno en el Perú. Por tal motivo, se realizó un estudio con una perspectiva de alcance descriptivo y exploratorio, teniendo como unidad de análisis a los alpaqueros, artesanos, productores medianos y algunos

*Esta investigación ha sido financiada por el Proyecto Concytec - Banco Mundial "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica" 8682-PE, a través de su unidad ejecutora ProCiencia, C089-2018 Fondecyt-BM-IADT-MU, con el objetivo de diagnosticar el estado de la cadena productiva de la fibra de alpaca de la región de Puno.

** Correos electrónicos: bdiaz@ulima.edu.pe, rlariosf@ulima.edu.pe, Rhernand@ulima.edu.pe, Rchavez@ulima.edu.pe, Cgalvez@ulima.edu.pe, contiamaru@gmail.com

directivos del sector textil. Se diseñó una investigación documental para obtener datos cualitativos y cuantitativos sobre la producción del hilado de alpaca. En el 2019 se hizo la investigación de campo para recolectar los datos directamente de las comunidades alpaqueras, obteniendo información sobre los métodos del proceso de producción de hilos de fibra de alpaca. Se concluyó que la fabricación artesanal de hilo de alpaca mantiene, principalmente, un proceso manual, sin embargo, se han incorporado pequeñas máquinas como la abridora y la de hilatura, compuestas de dispositivos mecánicos simples, con la finalidad de reducir el tiempo de producción de la fibra y mejorar la calidad del hilo obtenido.

PALABRAS CLAVE: fibra de alpaca / hilos de alpaca / tejido artesanal / hilado artesanal

A DIAGNOSIS OF THE ARTISANAL PRODUCTION PROCESS OF ALPACA FIBER YARN IN PUNO, PERU

ABSTRACT: This research aimed to find out the current state of the artisanal production process of alpaca fiber yarn in the department of Puno, Peru. To that end, a descriptive and exploratory study was carried out, having as unit of analysis the *alpaqueros* (alpaca breeders), artisans, medium-scale producers and some textile managers. A documentary research was conducted to obtain qualitative and quantitative data on the production of alpaca yarn. In 2019, field research was carried out to collect the data directly from the *alpaquero* communities, thus obtaining information on the methods of the production process of alpaca fiber yarn. It was concluded that the artisanal production of alpaca yarn mainly maintains a handmade process. However, small machines such as opening machines and spinning machines, which consist of simple mechanical devices, have been incorporated in the production process to reduce the fiber production time and to improve the yarn quality.

KEYWORDS: alpaca fiber / alpaca yarn / artisanal fabric / artisanal yarn

1. INTRODUCCIÓN

La alpaca (*Vicugna pacos*) es una especie doméstica de la familia de los camélidos sudamericanos, se estima que existen alrededor de 114 mil productores agropecuarios que tienen al menos una alpaca, de los cuales el 99 % se concentra en la región andina del Perú, lo que caracteriza a este grupo de productores es el nivel de pobreza, debido a la magnitud e inseguridad de sus ingresos reales, ya que estos no garantizan su subsistencia (Dirección General de Políticas Agrarias, 2017).

Entre los años de 1994 al 2018, se ha logrado incrementar la producción de alpacas en un 50 %, según (Huanca, Apaza y Gonzales, 2007) la producción de camélidos está sustentada en cuatro factores importantes, tres de ellos relacionados con el medio ambiente, como la sanidad, la alimentación y el manejo; y el cuarto relacionado con la biología del animal a través de la genética. Sin embargo, no se conocen indicadores que reflejen, paralelamente, un incremento en la productividad de la fibra de alpaca. En ese sentido, los principales problemas que afectan la producción están asociados a la calidad del hilo y la incipiente innovación tecnológica del proceso productivo de hilado de fibra de alpaca.

Dentro de los aspectos más importantes que afectan la calidad, se asocian los cambios climáticos de la región, los cuales son conocidos como “heladas”. Para el año 2019, el Poder Ejecutivo destinó un presupuesto de 230 millones de soles para la protección de los productores pecuarios ubicados en zonas altas del país ante las heladas (Dirección General de Políticas Agrarias, noviembre de 2018).

Otro de los aspectos que afectan la producción pecuaria de alpaca, específicamente, al hilado, es la calidad del mismo, debido a posibles factores como el proceso productivo, la falta de estandarización en los métodos artesanales y la escasa innovación tecnológica de los equipos empleados (Alzamora Montes, 2017; Parodi Núñez, 2011).

Bajo este contexto, tanto en el aspecto climático como en el aspecto productivo, la problemática actual hace necesaria la intervención de todas las instituciones, tanto públicas como privadas, organismos del Estado, universidades y centros de investigación, que puedan contribuir a mejorar y solucionar estos aspectos que afectan uno de los principales sectores de la industria peruana como lo es el sector pecuario de la fibra de alpaca.

2. ANTECEDENTES

2.1 Situación actual de la cadena productiva de la alpaca en el Perú

Según estimaciones de la Dirección General de Políticas Agrarias (septiembre de 2019), “la población mundial de alpacas en el año 2018 ascendió a más de 6 millones de

unidades; siendo Perú el de mayor población (71,7 %), seguido de Bolivia (8,6 %), Australia (8,2 %), Estados Unidos (5,8 %), Europa (2,5 %), Canadá (0,9 %), Nueva Zelanda (0,7 %), Chile (0,6 %)”.

Según el IV Censo Nacional Agropecuario (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2013), informa que la población de alpacas fue de 3 685 516. El 78,9 % de la producción de alpaca corresponde a la raza Huacaya, esta se caracteriza por tener la cobertura total del cuerpo con un vellón muy denso, fibra pesada y un crecimiento de sus hebras en forma vertical hacia el suelo; mientras que el 12 % corresponde a la raza Suri, cuyo vellón es más sedoso, lacio y de mayor crecimiento (Dirección General de Políticas Agrarias, noviembre de 2018). Se considera que la fibra de la especie Suri es de mejor calidad que la Huacaya. Un porcentaje pequeño de la producción de alpacas (7,2 %) corresponde a alpacas cruzadas.

Entre las regiones con mayor población de alpacas, destaca la región Puno, con aproximadamente 1 459 903 alpacas, y, en segundo lugar, se encuentra el Cusco, con una población de 545 454 alpacas.

De acuerdo al análisis realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), en la cadena de comercialización de la fibra de alpaca existe una serie de eslabones de intermediación hasta llegar a su destino final (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2005), es así que la fibra de alpaca obtenida por los pequeños productores es distribuida a través de los alcanzadores, quienes tienen un trato directo con los productores, posterior a ello se encuentran los rescatistas, quienes acopian la fibra de los productores, siguiendo en la cadena, los agentes comerciales, hasta llegar, finalmente, a las empresas comercializadoras.

Por su parte, según el informe del South Africa Mohair Cluster (marzo de 2019), respecto al análisis de la cadena de valor de la alpaca peruana, evidenciaron una estructura compleja que implica una multitud de diferentes actores, la misma que se observa en la figura 1: los alpaqueros, quienes son los responsables de la producción, la esquila, la rotación de pastos y tratamiento veterinarios y genéticos; los alcanzadores y rescatistas, quienes actúan como intermediarios entre el productor y los agentes comerciales, que a su vez venden a las unidades de procesamiento, las cuales están constituidas por las empresas que operan internacionalmente; los artesanos, que en su mayoría son mujeres dedicadas a las actividades del tejido; organismos gubernamentales, responsables de la promoción, coordinación y asistencia técnica a los principales actores y las ONG, quienes ofrecen asistencia técnica a los productores para impulsar las actividades de comercialización.

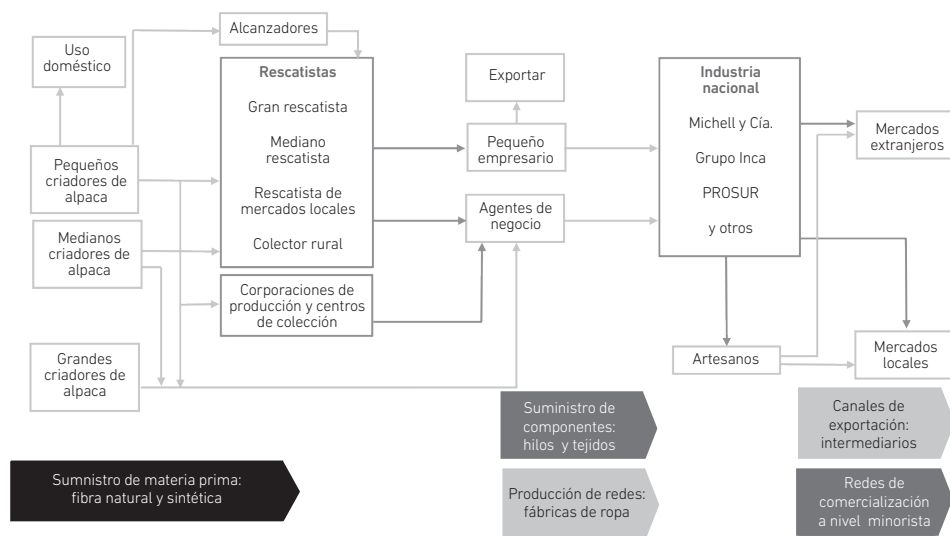


Figura 1. Cadena de valor de producción de la alpaca en el Perú

Fuente: South Africa Mohair Cluster (marzo de 2019)

Con respecto a la producción anual de fibra de alpaca en el Perú, desde el año 2001, la producción se incrementó a una tasa promedio del 1,79 %. Esto debido al aumento en el número de animales que son esquilados, registrando un incremento de 1,94 a 2,37 millones de unidades (Dirección General de Políticas Agrarias, 2017). Al 2015, la producción de fibra de alpaca alcanzó 4478 toneladas a nivel nacional, siendo la región de Puno la que registró la mayor producción de fibra, 2732 toneladas (tabla 1), aproximadamente, representa el 61 % del total (Dirección General de Políticas Agrarias, 2017). En el año 2018, la producción de fibra superó las 4600 toneladas (Dirección General de Políticas Agrarias, septiembre de 2019), sin embargo, tal como se muestra en la figura 2 y en la tabla 1, se observa una disminución de la producción promedio de fibra en los últimos siete años, debido a los bajos rendimientos de producción de fibra. Según el Plan Nacional de Desarrollo Ganadero 2017-2027, una de las metas es incrementar el rendimiento de 2,1 al 2021 hasta 2,3 kg/alpaca/año proyectado al 2027 (Dirección General de Políticas Agrarias, 2019).

Según el estudio realizado por la Dirección General de Políticas Agrarias (septiembre de 2019), indica que un aspecto que afecta la producción pecuaria de alpaca es la calidad del hilo y la irregularidad que presentan los productos debido a factores productivos tal como el proceso, la estandarización en el método de hilar artesanal, así como la deficiente innovación tecnológica de los equipos empleados. Así mismo, en el año 2018, el rendimiento promedio de fibra de alpaca fue de 1,9 kg/alpaca/año, esta cifra en

decrecimiento es aún más preocupante si se compara con las ratios de rendimiento en Norte América, que alcanza entre 2,3 a 4,5 kg/alpaca/año, y en Reino Unido, que reporta rendimientos promedios de 2,4 kg/alpaca/año, indicando que algunos animales tienen un potencial de 4 a 6 kg por año.

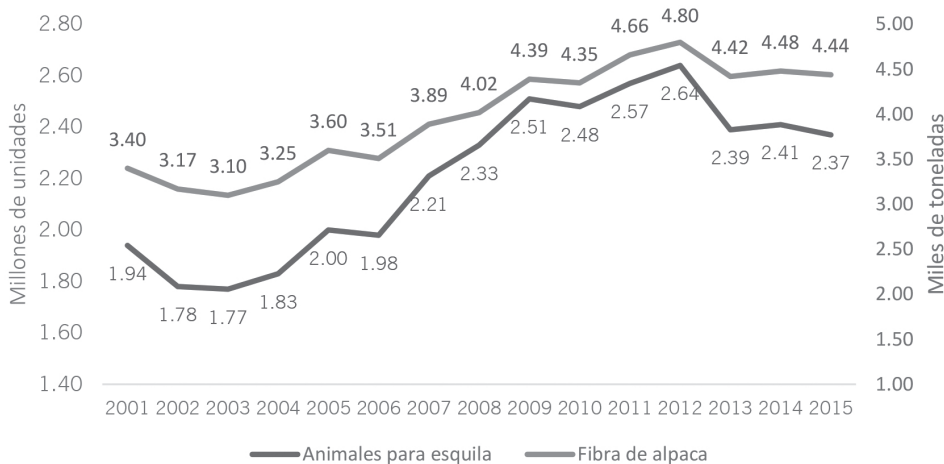


Figura 2. Producción de fibra de alpaca y animales para la esquila

Fuente: Dirección General de Políticas Agrarias (2017)

Tabla 1

Producción de fibra de alpaca en el Perú según región (2012-2018)

	(Toneladas)					
	2012	2013	2014	2015	2017	2018
Puno	2805	2707	2764	2732	2642	2644
Cusco	727	583	598	605	569	694
Arequipa	385	370	415	296	209	186
Ayacucho	157	173	139	133	154	180
Pasco	108	130	124	149	162	177
Junín	120	102	139	118	141	188
Apurímac	156	154	147	138	91	81
Huancavelica	168	100	69	94	152	164
Moquegua	98	49	41	76	78	83
Tacna	47	31	26	71	63	119
Lima	8	4	4	5	31	35

(continúa)

(continuación)

La Libertad	15	17	17	17	18	17
Huánuco	1	0	1	2	6	6
Áncash	3	0	0	0	0	0
Total	4798	4420	4484	4436	4316	4574

Fuente: Dirección General de Políticas Agrarias (2019)

Otro factor negativo, evidenciado en las prácticas de producción de fibra de alpaca, en el Perú, está relacionado a la conservación genética de la alpaca color que tiene alrededor de 22 colores naturales, que según las preferencias del mercado optan por la fibra de color blanco. Sin embargo, las características de colores naturales cada vez alcanzan un mayor reconocimiento en el mercado internacional, sobre todo en el mercado de lujo y en el consumidor que busca prendas sostenibles (Gallucio, 28 de noviembre de 2018; Rojas Chú, 2016; South Africa Mohair Cluster, marzo de 2019).

2.2 *Proceso productivo artesanal del hilo de fibra de alpaca*

Para describir las características del proceso textil y los métodos que influyen en la producción del hilado, se han observado factores relacionados al estado de tecnificación y automatización, diferenciando del nivel de intensidad manual o artesanal, o una combinación de ambos, cuyos factores influyen en los métodos del proceso de producción del hilado. En ese sentido, se consideran elementos significativos del proceso de producción, la capacidad de detectar defectos u otros problemas, la capacidad de integrar los resultados y parámetros de simulación en la maquinaria textil, así como la fabricación de precisión, herramientas de visualización y diseño de textiles técnicos multifuncionales, o la mejora en la velocidad y el desarrollo flexible de nuevos productos textiles, lo que permite simplificar el proceso de producción, aumentar la tasa de nuevos productos y encontrar nichos de mercado (Bullón, González Arrieta, Hernández Encinas y Dios, 2017).

El proceso textil presenta diferentes tratamientos que se aplican a la fibra de alpaca para su transformación en hilo, el mismo que se puede realizar en forma manual y empleando maquinarias, que en general siguen los procesos que se indican en la figura 3.

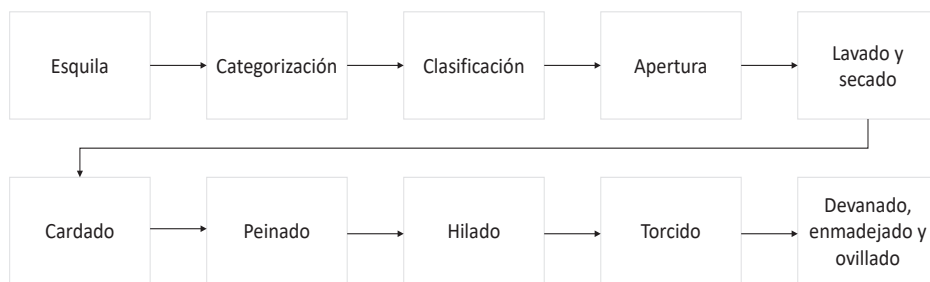


Figura 3. Diagrama de bloques del proceso textil de transformación de la fibra de alpaca

Fuente: Terroba Galarreta (mayo de 2017)

La importancia de los métodos tradicionales, la introducción de la tecnología y el logro de la sinergia entre la tecnología y lo artesanal, serán observados durante el proceso textil de la fibra de alpaca, por ello, se establece un parámetro de análisis transversal que permita observar variables que, si bien son propias para el contexto de los Andes peruanos, estas se explican de manera pertinente y sostienen sus prácticas actuales.

2.2.1 Esquila

La primera etapa del proceso es la obtención de la fibra y se realiza mediante la esquila, que consiste en cortar y separar el vellón o conjunto total de fibra que cubre a la alpaca (Quispe Peña, Poma Gutiérrez y Purroy Unanua, 2013). La esquila se hace según las normas técnicas peruanas. Las prácticas de esquila a nivel artesanal no varían mucho entre ellas, pues solo se necesitan herramientas básicas como tijeras, cuchillos para el corte del vellón y sogas o el uso de la fuerza humana para evitar movimientos bruscos del animal que puedan conllevar a un corte en su piel (Arciniega Báez, 2013). Según Terroba Galarreta (mayo de 2017), será más eficiente el uso de herramientas eléctricas como cortadoras, a fin de tener mayor número de vellones en menos tiempo; sin embargo, el Instituto Nacional de Innovación Agraria (10 de enero de 2014) indica que luego de realizarse la esquila, debe separarse la braga del vellón para facilitar el clasificado de la fibra.

2.2.2 Categorización

Según el Centro de Innovación Tecnológica de Camélidos Sudamericanos Región Puno (2015), la categorización de la fibra de alpaca se realiza por cada vellón esquilado y su calidad se determina en función al porcentaje de fibra fina que se obtenga. Estas categorías son: extrafina, fina, semifina y gruesa.

2.2.3 Clasificación de la fibra de alpaca

En esta etapa del proceso, se realiza la clasificación de fibra de alpaca por raza, color, longitud y finura (Centro de Innovación Tecnológica de Camélidos Sudamericanos Región Puno, 2015).

Cabe resaltar que la mayoría de las empresas realizan este proceso manualmente con la ayuda de personas (por lo general, mujeres) expertas en técnicas visuales que con el uso del tacto permiten diferenciar fácilmente las diferentes finuras de la fibra presentes en las distintas partes del vellón de la alpaca. Existen varias clasificaciones de color, se toma como estándares las siguientes:

Tabla 2
Nomenclatura para variantes de color

Colores enteros	
Color	Nomenclatura
Blanco	B
Beige	LFX
Vicuña	LFY
Vicuña intenso	LFZ
Café claro	CC
Café oscuro marrón	COM
Café oscuro negro	CON
Gris plata	GP
Gris oscuro	GO
Negro	N
Colores canosos	
Blanco manchado claro	BMC
Blanco manchado oscuro	BMO
Gris claro	GC
Negro manchado	NM
Colores indefinidos	
Colores que pueden tomar diferentes tonalidades	

Fuente: Centro de Innovación Tecnológica de Camélidos Sudamericanos Región Puno (2015)

Según Machaca Machaca *et al.* (2017) y la Norma Técnica Peruana 231.301:2014 – Fibra de alpaca clasificada (Instituto Nacional de Calidad, 2014), la clasificación para la finura de la fibra es la siguiente: alpaca súper *baby*, igual o menor de 20 micrones; alpaca *baby*, 20,1 a 23 micrones; alpaca *fleece*, 23,1 a 26,5 micrones; alpaca *medium fleece* de

26,6 a 29; huarizo, de 29,1 a 31,5 micrones; gruesa, más de 31,5 micrones, y *mixed pieces*, fibras cortas superior a los 32 micrones.

La longitud se refiere al largo de la fibra. De acuerdo a lo establecido en la NTP 231.301:2004, la alpaca *baby* puede llegar a tener una longitud de 65 mm, mientras que la alpaca *fleece*, alpaca *medium* y huarizo hasta 70 mm de longitud. La longitud de la alpaca corta está en el rango de 20 a 50 mm. Schmid (2006) y Rosas Espejo (2012) señalan que, en la práctica, aún existen sistemas de clasificación según la institución que la realice, a pesar de la existencia de normas técnicas. Saldaña Perales (2017) afirma que más del 50 % del vellón de una alpaca corresponde a calidades inferiores (huarizo y gruesas), 35 % a *fleece* y 8 % a alpaca *baby* (calidades superiores) y el resto son fibras cortas y mermas (paja, tierra, otros desperdicios, etc.).

2.2.4 Escarmenado o apertura de la fibra

Según el Centro de Innovación Tecnológica de Camélidos Sudamericanos Región Puno (2015) y Schmid (2006), en el trabajo artesanal, el escarmenado permite la separación de impurezas como pajas, abono de animal, mechas quemadas por el sol, sustancias insolubles, material mineral y humedad; mientras Saldaña Perales (2017) menciona que la apertura es necesaria para facilitar la carga y realizar un eficiente lavado.

Arciniega Báez (2013) señala dos formas artesanales para realizar el escarmenado, la forma manual en la cual se abre y se extraen los residuos manualmente para obtener la fibra limpia y evitar la formación de los copos o grupos de fibras y disgregarlos; y en la abridora artesanal se evita que la fibra sea maltratada y, además, permite eliminar la mayor cantidad de impurezas para obtener fibra desintegrada mucho más limpia. Por su parte, Aguilar Sánchez (2014) señala que el proceso de apertura debe incluir tres etapas de operación: reclasificado, escarmenado y apertura.

2.2.5 Lavado y secado

En el proceso artesanal de lavado, el Centro de Innovación Tecnológica de Camélidos Sudamericanos Región Puno (2015) explica que en esta etapa se eliminan las impurezas, la grasa y la suciedad de la fibra, pero a nivel artesanal el lavado se realiza una vez que se ha obtenido la madeja, se utilizan de 2 a 5 tinajas de material plástico, pasando por proceso de lavado con detergente y bicarbonato de sodio y enjuague (Talledo Benites, Chanjé Díaz, Peche Carbonel y Aucahuasi Oviedo, 2017; Terroba Galarreta, mayo de 2017).

Con respecto al secado a nivel artesanal, se usan colgadores, en donde con ayuda del flujo de aire se espera reducir los niveles de humedad (Aguilar Sánchez, 2014). Otros autores señalan la importancia de usar superficies respirables y secadores que generen flujo de aire caliente que permita que el exceso de agua sobre la fibra se evapore.

2.2.6 Cardado

El cardado permitirá convertir la fibra enredada en un “sliver” (fibra cardada) con una mejor paralelización de las fibras. Además, esta operación permite abrir, individualizar mechones de alpaca enredados y desgrasados previamente con una rotura de fibras mínima, mezclar uniformemente fibras de diferentes tipos, eliminar impurezas que causen defectos en la apariencia del hilo y alinear fibras casi paralelamente, evitando daños en la fibra (X. Wang, L. Wang y Liu, 2003). La finalidad es uniformizar el color y la textura de la fibra, y artesanalmente se realiza deslizando o estirando uniformemente la fibra hasta tener “tops”, que son fibras preparadas para el hilado que se enroscan u ovillan (Centro de Innovación Tecnológica de Camélidos Sudamericanos Región Puno, 2015).

A nivel artesanal se cuentan con máquinas cardadoras elaboradas a partir de madera, las cuales limitan la producción de la fibra, tal como se comprobó en la visita tecnológica a las comunidades de Wawa Paqocha y se confirmó en Quimsachata (región de Puno) en el año 2019, donde utilizaban una máquina cardadora de madera con dos tambores con púas (uno para acumular la fibra y otro usado como peine); sin embargo, estos no son usados regularmente en el proceso afectando la calidad del mismo (Aguilar Sánchez, 2014), bastará realizar esta operación con una cardadora de madera artesanal.

A nivel industrial y semiindustrial, el cardado permite peinar y unificar la fibra, obteniéndose una mecha uniforme, a través de una serie de rodillos con púas, las cuales peinan la fibra en todo el ancho de la máquina, para posteriormente unirla en una mecha.

2.2.7 Hilatura

La hilatura es el proceso mediante el cual se adelgaza la cinta de carda y del tren de estiraje y se realiza la torsión para otorgar resistencia. Posterior a ello, se procede al peinado requerido para obtener un hilo de alta calidad. Como parte del proceso de hilatura, se realiza un subproceso de estirado, que es necesario para dar regularidad a la fibra, enderezándola, ya que la fibra de alpaca es lisa y ondulada.

Los objetivos en esta etapa son: eliminar fibras cortas y muy enredadas, además de descartar materias extrañas (como impurezas), ordenar las fibras largas restantes y ensamblarlas a una cinta continua. El subproducto de esta etapa se denominará “top”, el cual es importante para productos finos e hilos de estambre fuertes (X. Wang *et al.*, 2003).

En esta operación se convierte la fibra de alpaca en hilo. Los números que describen las características de un hilo se denominan “título”. El título es la relación entre peso y longitud de un hilado (kg/km o g/m), por ejemplo, un título 2/16 indica que en 2 kg se tienen 16 km de hilo (Centro de Innovación Tecnológica de Camélidos Sudamericanos Región Puno, 2015).

2.2.8 *Torcido*

Se define como la acción y el efecto de dar vueltas sobre su propio eje, por unidades de longitud de un hilo o hebra textil. Al torcer una mecha de fibras estiradas para convertirlas en hilo, se le brinda la resistencia y la elasticidad necesaria para su uso en tejeduría. La torsión es un parámetro de gran importancia en el diseño de los tejidos. Se realiza tomando dos o más hebras de hilo y juntándolas. También se efectúa el retorcido, este proceso comprende torcer en sentido contrario dos o más cabos de hilo torcido. El proceso artesanal se hace de acuerdo con el tipo de tejido a realizar, para tejido de punto deberá ser ligero y para tejido plano debe ser un torcido más rígido.

2.2.9 *Devanado, enmadejado y ovillado*

El devanado es un proceso en el cual se trata de enrollar el hilo sobre un instrumento llamado "cañón" o "bobina". El enmadejado o "aspar" se realiza como proceso artesanal y permite ordenar en forma de madeja para facilitar el lavado y teñido, la cual debe estar bien hecha para no dificultar la formación del ovillo. En varias comunidades, luego del enmadejado, recién se procede al lavado. El ovillado es una operación previa al tejido, en el cual el hilo se envuelve, uniformemente, para una adecuada presentación y fácil tejido (Centro de Innovación Tecnológica de Camélidos Sudamericanos Región Puno, 2015). Se puede también realizar el bobinado, proceso en el cual se elaboran mezclas de diferentes hilos, colores e incluso diferentes títulos.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizó un estudio con una perspectiva de alcance descriptivo y exploratorio, utilizando el muestreo discrecional para la selección de individuos, debido a que los encuestados deben ser conocedores del proceso de hilatura, por ello se consideró como unidad de análisis a los alpaqueros, artesanos, productores medianos y algunos directivos del sector textil alpaquero. Para un mejor entendimiento del proceso productivo y con la finalidad de evaluar las oportunidades de mejora que se deberán aplicar, en cada una de las actividades de transformación desde fibra hasta hilo, se diseñó una investigación documental a través de los trabajos previos y material bibliográfico para obtener datos cualitativos y cuantitativos sobre la producción del hilado de alpaca. Se revisó la literatura para conocer los procesos industriales y hacer una comparación con los artesanales y, luego, el año 2019, se hizo una investigación de campo para recolectar los datos, directamente, de las comunidades alpaqueras de la región de Puno.

Como parte del trabajo de campo, se seleccionaron a los dieciséis entrevistados de acuerdo con sus conocimientos, experiencias y habilidades en el proceso de hilatura, materia de estudio. Se organizó un taller donde participaron los diferentes actores del sector alpaquero en la ciudad de Puno, formulándoles las siguientes preguntas:

- ¿Qué problemas se presentan en la producción artesanal del hilo de alpaca?
- ¿Qué diferencias existen entre la producción artesanal y la producción industrial?
- ¿Qué mejoras consideran ustedes que podrían realizarse en las operaciones del proceso de producción de hilos de alpaca?

Los instrumentos utilizados fueron: cuestionarios de enfoque cuantitativo y cualitativo, para identificar las características de las organizaciones, comunidades u asociaciones, información de producción, así como de mercado. Además, se realizaron entrevistas dirigidas a profesionales del sector textil, autoridades de instituciones del Gobierno y empresarios alpaqueros de la región de Puno. Los participantes de las entrevistas de investigación se mencionan en la tabla 3.

Tabla 3
Lista de entrevistados según su actividad y lugar de trabajo

Nombre	Actividad	Localidad
Entrevistado 1	Médico veterinario del INIA	Puno
Entrevistado 2	Criadora alpaquera	Zona de Santa Lucía
Entrevistado 3	Maestra de hilado artesanal	Provincia de Lampa
Entrevistado 4	Asociación de Artesanas Chuspa de Oro	Distrito de Vila, provincia de Lampa
Entrevistado 5	Presidenta de la Asociación de Artesanas	Comunidad de Chingana
Entrevistado 6	Alpaquera y facilitadora	Puno
Entrevistado 7	Artesana de hilos y tejidos	Puno
Entrevistado 8	Fiscal y expresidenta de la Asociación de Artesanas Chuspa de Oro	Distrito de Vila, provincia de Lampa
Entrevistado 9	Médico veterinario de la Agencia Agraria	Lampa
Entrevistado 10	Criador alpaquero	Puno
Entrevistado 11	Médico veterinario, director ejecutivo del CITE de los Camélidos Sudamericanos	Puno
Entrevistado 12	Coordinadora del proyecto Tejiendo la Solidaridad	Corporación Internacional Italiana / proyecto binacional Perú-Bolivia
Entrevistado 13	Gerente de Operaciones de la Empresa Textilogía S. A.	Huancavelica/Lima
Entrevistado 14	Encargado del área de producción de la ganadería Wawa Paqocha	Cojata, Puno
Entrevistado 15	Gerente de la empresa comercializadora Awaq Pacocha	Cojata, Puno
Entrevistado 16	Director del Centro de Innovación Tecnológica CITE Textil Camélidos Puno	Puno

Elaboración propia

4. RESULTADOS

Los hallazgos encontrados permitieron categorizar cada una de las actividades del proceso de producción artesanal de hilo de fibra de alpaca, describiéndose el método empleado, las tecnologías utilizadas, el nivel de uso de mano de obra, los materiales y los recursos nativos, las costumbres y las tradiciones presentes en sus actividades, acceso a técnicas externas, así como el lugar de trabajo.

4.1 La esquila y categorización de fibra de alpaca

Los entrevistados manifestaron haber realizado mejoras en la operación de la esquila, producto de las capacitaciones recibidas; la mayoría de las organizaciones de alpaqueros tienen conocimiento acerca del proceso de esquila. Después de la esquila, sigue la categorización, teniendo en cuenta la separación por razas y por colores, con un especial cuidado con el color blanco. Las categorías trabajadas son extrafina, fina, semifina y gruesa. Un aspecto importante en la categorización es la separación del manto y bragas como parte del vellón esquilado.

4.2 La clasificación y limpieza de la fibra

De acuerdo con lo mencionado por los entrevistados, la fibra de alpaca es clasificada en calidades: súper *baby*, *baby*, *fleece*, *medium* FI, huarizo, alpaca gruesa [AG] y alpaca corta [MP]. Algunos de ellos indican que la gran parte de las calidades superiores de la fibra se comercializan para la industria, y las calidades inferiores se utilizan para la producción artesanal, pero de esta calidad de fibra se obtiene poca cantidad.

Nosotros, como asociación, tenemos nuestra alpaca, la esquilamos y clasificamos, lo que es la *baby* alpaca la usamos para la producción de artesanía. Todas las alpacas no tienen la calidad *baby*, solo algunas, en especial, alcanzan de 200 a 250 gramos, las que tienen mayor producción llegan hasta 300 gramos. (Entrevistado 2)

Esta etapa es un trabajo que requiere especialización de las personas clasificadoras, que generalmente son mujeres, cuya experiencia es de vital importancia. Es un trabajo que necesita tanto del tacto como de la vista y por la generación del polvillo durante el proceso, los ojos y las vías respiratorias se ven afectados.

Los polvillos finos quedan en la nariz y por eso usamos algodón por dentro, barbijo y coca. También se generan problemas en los ojos, ocasionando disminución de la vista. Algunos usan tapabocas y anteojos, pero no es igual, no te ayudan porque todo el trabajo debe ser al tacto y a la vista. (Entrevistado 6)

Es importante trabajar en el diseño de máscaras, de algún tipo, porque los trabajadores tienen muchos problemas en los ojos, la garganta, la nariz, por el hilo pequeño que sale, tanto a nivel de las clasificadoras con el acopio y en el caso de las artesanas también. (Entrevistado 12)

Los entrevistados sugieren incorporar mesas rotatorias para la clasificación con zarandas o con fajas transportadoras, que mejoran la posición del trabajo actual, que se realiza sobre el suelo, y ayudan a disminuir la contaminación de paja, polvo y otros materiales que están adheridos a la fibra.

4.3 El escarmenado

Una vez clasificada la fibra se procede al escarmenado, este es un proceso manual, tal como indican los entrevistados, y es de gran importancia para garantizar la uniformidad del color.

El escarmenado es un proceso manual, cuando una fibra no está escarmenada es imposible sacar las bolitas; por eso si se procede a cardar sin realizar el escarmenado, como en el cardado se mezcla todo, entonces, no se logra uniformizar el color. (Entrevistado 3)

Nosotros usamos primero una máquina llamada aperturadora, la cual hace que se eliminen las impurezas en un 90 %. Luego, el escarmenado es una limpieza manual, entonces tenemos unas 60 señoras de las comunidades que trabajan en sus casas y con pinzas limpian la fibra manualmente. Después de la aperturadora, el proceso de escarmenado es muy rápido, se puede producir alrededor de 10 kilos de fibra por día. (Entrevistado 13)

4.4 El cardado

Los entrevistados manifiestan que, luego de la clasificación, no todos llegan a realizar el cardado, que es la obtención de fibras homogéneas ordenadas en paralelo. Ellos mencionan que faltan equipos, tales como la cardadora, la peinadora y la lavadora. Debido a esto, los productos finales, como las prendas artesanales, no son apreciados por presentar varias tonalidades, pues sin el cardado no se logra la estandarización del hilo.

La limpieza de la fibra es necesaria como lo es también el cardado, pues elimina la suciedad y las pajas. El cardado ayuda a ablandar las fibras, hacerlas más suaves y manipulables para luego hacer el hilado. (Entrevistado 11)

Una de las máquinas indispensables para obtener la calidad del hilado es la cardadora, hay unas manuales; hemos adquirido una que tenemos en Juliaca y es muy útil. (Entrevistado 2)

La cardadora es muy importante en lo que respecta al hilado, porque cuando se hila sin cardar no se uniformizan los colores. Tanto la peinadora como la cardadora son necesarias para sacar la fibra en tops, como lo hacen en las empresas. (Entrevistado 7)

Hay que cardar las fibras para crear una mecha de color sólido para confeccionar una prenda de un solo color. Aunque tengan hilo de calidad, si no usan la cardadora, la prenda se ve rústica y artesanal. (Entrevistado 13)

Me gustaría que las máquinas funcionaran con energía solar o energía eléctrica, porque las manuales necesitan de dos personas, una que alimenta la fibra y otra que va moviendo, eso quita tiempo. (Entrevistado 14)

4.5 El lavado

De acuerdo con la experiencia de los entrevistados, manifiestan que existe una diferencia entre el proceso de lavado que se realiza a nivel artesanal, empleando detergentes sintéticos o naturales, con respecto al lavado de las empresas a nivel industrial: los alpaqueros, normalmente, proceden al lavado, una vez obtenido el hilo, en madeja; a diferencia de las empresas, que lavan en fibra clasificada, porque tienen máquinas grandes y luego realizan el cardado, el peinado para la obtención del top. Existen algunas máquinas artesanales que podrían usarse para el lavado, pero no es una práctica común.

En Lampa elaboran el hilo y luego realizan el lavado, se utilizan los detergentes del mercado, según la capacitación, la mayoría usa jabón líquido. El agua debe estar entre 35 a 37 °C, generalmente, calentamos el agua con cocinas, de leña o gas, pero mayormente se hace con fogón. (Entrevistado 3)

El lavado se realiza a mano con jabón marca Patito y toma un tiempo de 15 minutos por kilo de fibra. (Entrevistado 5)

Se lava con detergente o con champú, para el lavado utilizan agua de manantial cuando están en el campo y de bidón cuando están en el pueblo. (Entrevistado 4)

Son varias etapas de lavado, son diez tinajas, en ellas usamos agua tibia. En las dos primeras, el detergente es de uso doméstico, después el champú, luego el enjuague. Se usa también suavizante en el último proceso, así las fibras salen más limpias y, de esta manera, se obtiene fibra sin olor. Para calentar el agua se tienen hornos, quemamos bosta o estiércol, ponemos un cilindro, en un tanque mezclamos agua fría con agua caliente. (Entrevistado 14)

Las empresas medianas no tienen una buena calidad de lavado, nosotros exportamos y los italianos se quejan porque las fibras llegan con mucha grasa. Han realizado análisis de laboratorio y es un problema porque no hay control de calidad. (Entrevistado 12)

4.6 El hilado

La mayoría de los productores, en este proceso, trabajan con ruelas, mientras realizan otras actividades en el campo. Además, ellos emplean también pequeñas máquinas alimentadas con arco fotovoltaico con energía solar.

En una hora se hilan 100 gramos, pero depende de la calidad, si es finito toma unas 3 horas; los títulos 12 y 16 se consideran "finito", pero la mayoría no está capacitada en hilado para lograr estos títulos. (Entrevistado 5)

Nosotros hilamos con rueca, no tenemos máquina de hilar y 100 gramos toma un día. (Entrevistado 4)

La gente aprovecha el tiempo al estar pastando a sus animales y, a la vez, pueden estar trabajando, porque en el campo no hay otra manera de distraerse, si no es hilando. Yo diría que un 80 o 90 % de las señoras hilan en el campo y las otras en sus talleres elaboran este hilo artesanal. (Entrevistado 11)

El hilado antes se hacía en ruecas, pero ahora nos hemos equipado con algunas máquinas eléctricas que funcionan con panel solar. En sí nos ayudan en la torsión, ya que no se necesita la rueca. (Entrevistado 14)

Necesitamos una micropeinadora y una máquina hiladora para poder responder al mercado, ya que con la rueca no nos abastece. Nuestro objetivo es ofertar hilo, no solo la fibra de alpaca, esto sería lo mejor para todas las alpaqueras que trabajan conmigo. (Entrevistado 2)

Los productores de Puno reconocen que el trabajo con la rueca es lento, debido a que algunos de ellos han experimentado el uso de pequeñas máquinas de hilatura, pero aún continúan los problemas en su uso y no resuelven algunos detalles del hilado, como la uniformidad del hilo, la graduación de la velocidad para el hilado, la determinación del título del hilo y la posibilidad de recambio del cono.

Las máquinas artesanales actuales permiten que el hilo en el cono se oriente solo hacia una dirección, sería conveniente que se depositara en el cono de forma diagonal, existen algunas máquinas bolivianas con esas características. Muchas veces las mechales tienen un ancho irregular, pero todo el trabajo es manual. Si se quiere más delgado, se hace más delgado, esto facilita el hilado. (Entrevistado 6)

4.7 El procesamiento de la fibra de alpaca

Los productores entrevistados que han logrado colocar sus productos a nivel de exportación, tienen una visión global del mercado, por lo que consideran que la rueca no necesariamente sería reemplazada por las máquinas artesanales o industriales. Existe un valor importante en el trabajo manual, que es apreciado por los clientes extranjeros, por ello comentan que se debe mantener este método de producción. Así, también, se valora lo ancestral y el uso de materiales nativos como la alpaca y los tintes naturales.

Es necesario mantener la producción industrial y la artesanal, el cliente lo pide. Siempre estamos capacitando a las comunidades de la región para mejorar sus hilos artesanales. Tenemos maestros artesanos que llevamos a las comunidades para capacitar y llegar a un buen nivel de calidad del hilo, para que se pueda comercializar a nivel internacional, es decir, calidad de exportación. Tenemos ruecas y cardadoras artesanales, que las señoras usan. (Entrevistado 13)

Tenemos el proceso de transformación artesanal de la fibra, en el proceso también podemos hacer el teñido del hilo con hierbas naturales, como el eucalipto o el colli;

luego hacemos el tejido. Hacemos prendas desde chompas, chalecos, hasta accesorios: chuños, chalinás, manoplas. También vendemos ovillos de hilos, los títulos que sacamos son 10, 12 y hasta 14. (Entrevistado 14)

Existe unanimidad en los entrevistados con referencia a la importancia en empleabilidad que tiene el sector alpaquero en Puno, no solamente con respecto a la crianza y procesamiento de la fibra de alpaca, sino también en el trabajo artesanal de producción de prendas de alpaca.

Lo que queremos es descentralizar todo o hacer una miniplanta artesanal donde se pueda traer la esquila a la zona y poder procesarla aquí. Generalmente, las señoras vienen a hacer prendas aquí, se reúnen cada cierto tiempo, pero no siempre están en la zona. Algunas se van a pastar. Nosotros hacemos los pedidos de unas ciertas cantidades y tipos de productos, así, cada señora la realiza en la zona donde está ubicada, a veces hasta veinte kilómetros a la redonda. No cabe duda, tendríamos la mejor calidad de hilado manejando todo el proceso en un lugar cerrado, donde la fibra no pudiera ser contaminada. (Entrevistado 15)

Existen oportunidades para seguir trabajando y equipar a los productores, hay varios grupos que han trabajado con proyectos de Fondo Empleo, un grupo que es de los Andes, otra cooperativa en Humabamba y otras dos cooperativas que están en Nanay y Andía. También, las señoras de La Serna hacen el producto con el proyecto Fondo Empleo. Eso me permitió equiparlos con una hiladora de rueca que es lo más tradicional que hay, luego hilado a pedal, ya sea de madera o metálico, y otro dispositivo de hilado eléctrico. (Entrevistado 17)

Los entrevistados manifestaron lo importante que es el lugar de trabajo, aunque no se ve como una alternativa de cambio, pues el lugar natural son sus fundos y chacras, ellos también mencionan que Puno es una zona adecuada no solo para la crianza de las alpacas, sino también para el procesamiento de la fibra.

En un lugar como Huancavelica, que es muy alto y extremadamente seco, la falta de humedad genera electricidad estática y durante todos los procesos las máquinas generan mucho estado estático y la fibra se pega a las máquinas y la mecha tiene la tendencia a romperse. En el caso del hilo, ocurre lo mismo, simplemente porque la electricidad atrae la fibra a las máquinas, poniendo mucha presión en la mecha o en el hilo, por eso se rompe, porque es frágil. Por eso tenemos que crear humedad artificial, que podemos hacer, por ejemplo, cerrando todas nuestras puertas y ventanas, prendiendo la lavadora con agua muy caliente para crear humedad ambiental dentro del lugar, pero eso tiene también desventajas de oxidación de las máquinas. Entonces, en lugares como Ayacucho y Huancayo, tienen la altura correcta. (Entrevistado 13)

Con respecto al proceso productivo, se observa que se mantiene el uso de los métodos ancestrales en la crianza de la alpaca, el empleo de materiales nativos y las condiciones del lugar de trabajo, ello es valorado por los entrevistados, quienes consideran que estos aspectos son favorables para la calidad de la fibra de alpaca. En cada

una de las etapas del proceso productivo, se evidencia un primer nivel de tecnificación, inclusive, en operaciones que, tradicionalmente, han sido netamente manuales.

La tabla 4 presenta el resultado del análisis de la situación actual del proceso productivo de hilatura artesanal en la región de Puno, con respecto a la estructura de los procesos según el nivel de automatización y de intensidad, de acuerdo con el conocimiento artesanal, en relación al proceso de producción encontrado.

Se han identificado dos tipos de procesos, a partir del nivel de uso de los recursos productivos: procesos manuales, en donde el uso de la mano de obra tiene mayor valor en relación al nivel productivo, y procesos automatizados o semiautomatizados, a aquellos cuyo uso de la maquinaria y tecnología proporciona mayor valor o aporta ventajas productivas a nivel del proceso.

En el nivel de tecnificación se ha utilizado una escala que va entre alto, medio o bajo y que considera el tipo de conocimiento especializado, si es que es único y específico, para el tipo de actividad o tareas que se deben realizar en el proceso.

Tabla 4
Factor de tecnificación del proceso de producción del hilado artesanal de la fibra de alpaca

Proceso	Nivel de automatización	Nivel del tipo de proceso	Tecnificación
Categorización	Manual	Intensivo	Alta
Clasificación de la fibra de alpaca	Manual	Intensivo	Alta
Escarmenado o apertura de la fibra	Semiautomático	Medio	Baja
Lavado y secado	Manual	Medio	Baja
Cardado	Semiautomático	Medio	Alta
Peinado	Semiautomático	Medio	Media
Hilado	Semiautomático	Medio	Media
Torcido	Semiautomático	Bajo	Media
Devanado	Semiautomático	Bajo	Baja
Enmadejado y ovillado	Manual	Bajo	Baja

Elaboración propia

Nota. En el nivel del tipo de proceso se evaluó comparativamente el nivel de intensidad del uso del recurso (mano de obra y maquinaria) en las comunidades observadas. Para determinar el nivel de uso del recurso, se consideraron los resultados de las entrevistas y las apreciaciones de los investigadores efectuadas en el trabajo de campo teniendo en cuenta el impacto del recurso productivo en el proceso observado.

Las mediciones realizadas (nivel de automatización y nivel de tipo de proceso) para establecer las calificaciones del factor de tecnificación del proceso de producción del hilado de fibra de alpaca artesanal, se hicieron a nivel cualitativo, estableciendo una escala apreciativa (ver figura 4) de los procesos observados, en las comunidades alpaqueras visitadas en Puno, y a partir de las fuentes primarias obtenidas en las entrevistas realizadas en el trabajo de campo, con los productores miembros de las organizaciones vinculadas.

Otro aspecto por considerar es la ausencia de conocimiento tecnológico y científico en las etapas del proceso de producción, observando un uso limitado en las prácticas cotidianas de los productores, desde las actividades de categorización y clasificación de fibra, los de preproducción hasta el proceso de hilatura de fibra de alpaca, obteniéndose madejas u ovillos de hilado artesanal.

Sin embargo, no se puede dejar de resaltar el alto valor histórico que existe en cada actividad artesanal, actividades llenas de cultura, que se van heredando de generación en generación, técnicas del manejo de las fibras de los camélidos que datan de 2500 a. C. para el uso en el desarrollo de textiles. Esto sumado a la riqueza natural de tener alpacas en cerca de 22 colores naturales, los mismos que, como indican Huanca *et al.*, (2007), son de vital importancia trabajar en investigaciones para su conservación, ante en blanqueo inminente de rebaños.

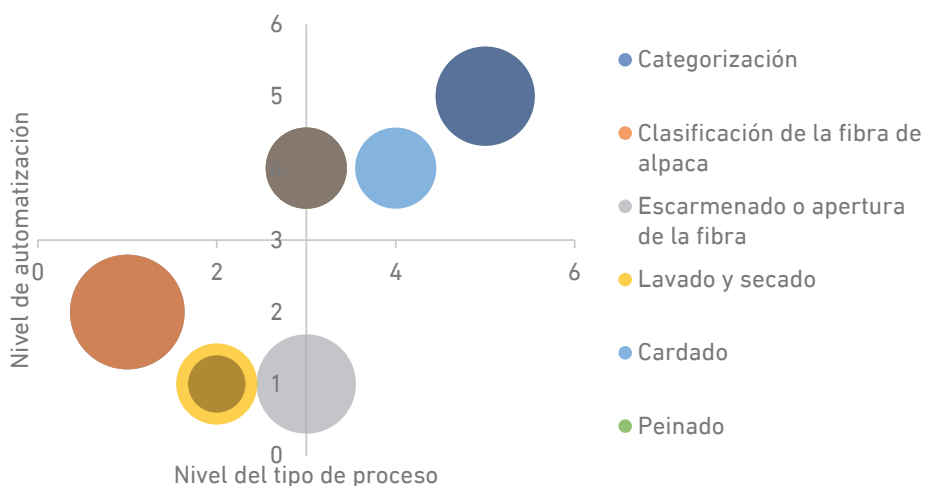


Figura 4. Relación del nivel de automatización y técnica de los procesos de producción de hilado artesanal

Elaboración propia

Nota. Las observaciones han sido tomadas en una escala del 1 al 5, siendo 1 el menor grado y 5 el mayor grado de relación entre el tipo de proceso y el nivel de automatización.

5. CONCLUSIONES/DISCUSIÓN

El proceso artesanal de producción de hilos de fibra de alpaca ha evolucionado en el tiempo, aun cuando se mantiene, principalmente, un proceso manual, se utilizan pequeñas máquinas artesanales como la abridora y las de hilatura, que reducen el tiempo de producción y han permitido algunas mejoras significativas en el hilo obtenido. La clasificación y la limpieza de la fibra es muy importante para la calidad final del hilo de fibra de alpaca. La mayor parte de la fibra de calidad superior se destina para la venta a la gran industria, mientras que la fibra de calidad inferior se destina para el trabajo artesanal, de esta calidad de fibra se obtiene poca cantidad.

Se identificaron las siguientes diferencias entre el proceso productivo artesanal e industrial de la fibra de alpaca:

- La clasificación de la fibra se realiza a mano por personas expertas, los productores indican que han probado el uso de mesas con zaranda para la clasificación, pero no con buenos resultados. Además, es necesario tomar atención a las condiciones de salud en este trabajo, pues en esta operación se genera un polvillo que causa daño a la vista y a las vías respiratorias.
- La operación de cardado es muy importante para la homogeneización del color, aun cuando se utilice fibra de buena calidad, si no se usa una cardadora, el producto final tendrá tonalidades diferentes. Sin embargo, solo algunos productores realizan el cardado porque no todos cuentan con la maquinaria necesaria.
- La hilatura se realiza en su mayoría con ruecas, con el método ancestral, se utilizan también pequeñas máquinas portátiles que llevan al campo para poder hilar mientras las trabajadoras están pastando su ganado. Se requiere un prototipo de máquina portátil que utilice energía a partir de los paneles solares y también que pueda funcionar con energía eléctrica, este nuevo prototipo debería graduarse para producir el hilo de diferente finura, eso sería un gran aporte para la uniformidad del hilo.
- El lavado se realiza a mano con detergente o champú, se tiene preferencia por el jabón común que se usa para el lavado de ropa, se lava con agua potable que es calentada con leña o bosta. La operación de lavado tiene varias etapas para lo cual se utilizan tinajas y el agua utilizada puede ser de manantial o de bidón. En el proceso artesanal, la operación de lavado se realiza en madejas después de la operación de hilatura, a diferencia del proceso industrial que realiza el lavado después de la apertura.
- En la producción artesanal no se realizan las operaciones de peinado y devanado, los artesanos mencionan que no tienen las máquinas para realizar esta operación y manifiestan que esto podría encarecer su producto.

- Para el enmadejado y ovillado, se emplean pequeños dispositivos llamados ovilladores que ayudan a elaborar las madejas en los tamaños y cantidades necesarios.

El nivel de contribución tecnológico, en cada etapa del proceso productivo, se pueden describir con niveles de gradualidad o incidencia mayor o menor, relacionando el método.

Existen oportunidades de mejora en el proceso productivo artesanal de hilo de fibra de alpaca, particularmente, en la caracterización y clasificación, donde las condiciones de seguridad y salud del trabajador no son las adecuadas. Por otro lado, no todos los artesanos o asociaciones llevan a cabo el proceso de apertura de fibra, lo que dificulta y reduce la posibilidad de generar un hilo de mejor uniformidad; en el proceso de cardado, al no poseer la tecnología adecuada, la calidad del velo resultante aún contiene irregularidades y fibras no paralelizadas; así mismo, los procesos artesanales actuales no permiten la producción de uno de los subproductos más importantes en la industria de alpaca, como es el "top", el cual podría ser comercializado por las comunidades y asociaciones para la elaboración de mezclas u otros artículos textiles. Por ello, al no contar con la maquinaria adecuada trae como consecuencia un volumen reducido de producción. Por último, en el proceso de hilatura, el uso de la rueca mecánica no les permite obtener un hilo uniforme. El proceso de producción de hilo de fibra de alpaca, en cada una de sus etapas, involucra un intensivo uso de mano de obra, incrementando así el tiempo en cada operación, lo que retarda y encarece el proceso.

REFERENCIAS

- Aguilar Sánchez, Y. del C. (2014). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de hilos de fibra de alpaca en la provincia de Lucanas, región Ayacucho* (tesis de grado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Recuperada de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/934>
- Alzamora Montes, M. D. (2017). *Limitaciones en la producción de fibra de alpaca con valor agregado de los productores de puno* (tesis de grado). Universidad San Martín de Porres. Recuperada de <https://hdl.handle.net/20.500.12727/2739>
- Arciniega Báez, S. S. (2013). *Mejoramiento de la productividad en la hilatura manual de fibra de alpaca en la comunidad Morocho-Cuycocha-Cotacachi* (tesis de grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperada de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1975>
- Bullón, J., González Arrieta, A., Hernández Encinas, A., y Dios, A. Q. (2017). Manufacturing processes in the textile industry. Expert systems for fabrics production. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, 6(1), 41-50. <http://dx.doi.org/10.14201/ADCAIJ2017614150>

- Centro de Innovación Tecnológica de Camélidos Sudamericanos Región Puno. (2015). *Hilado artesanal usando energías renovables*. https://infohub.practicalaction.org/bitstream/11283/622414/1/Hilado_artesanal_usando_energias_renovables.pdf
- Dirección General de Políticas Agrarias. (2017). *Diagnóstico de crianzas priorizadas para el Plan Ganadero 2017-2021*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado de <http://repositorio.minagri.gob.pe/jspui/bitstream/MINAGRI/328/1/plan-ganadero-2017-2021.pdf>
- Dirección General de Políticas Agrarias. (noviembre de 2018). Situación de la alpaca en el Perú. *Boletín Sumaq Alpaca*. Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado de http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/l-ciencia/l01/situacion_alpaca_nov18.pdf
- Dirección General de Políticas Agrarias. (septiembre de 2019). *Potencial productivo y comercial de la alpaca*. Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado de <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/MINAGRI/350>
- Dirección General de Políticas Agrarias. (2019). *Potencial productivo y comercial de la Alpaca*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/423423/potencial_productivo_comercial_de_la_alpaca.pdf
- Gallucio, A. (28 de noviembre de 2018). Mercado de prendas en alpaca para Europa y EE. UU. *Seminario Miércoles del Exportador*. Lima: PromPerú. Recuperado de <https://repositorio.promperu.gob.pe/handle/123456789/3557>
- Huanca, T., Apaza, N., y Gonzáles, M. (2007). Experiencia del INIA en el fortalecimiento del banco de germoplasma de camélidos domésticos. *Arc. Latinoam. Prod. Anim*, 15(1), 186-194.
- Instituto Nacional de Calidad. (2014). Norma Técnica Peruana NTP 231.301:2014 – Fibra de alpaca clasificada. Definiciones, clasificación por grupos de calidades, requisitos y rotulado. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013). *IV Censo Nacional Agropecuario. Resultados Definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (10 de enero de 2014). *Transformación artesanal de fibra de alpaca* [archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Tr3pJTo-QV4>
- Machaca Machaca, V., Bustinza Choque, A., Corredor Arizapana, F., Paucara Ocsa, V., Quispe Peña, E., y Machaca Machaca, R. (2017). Características de la fibra de alpaca

Huacaya de Cotaruse, Apurímac, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(4), 843-851. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13889>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2005). *Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú*. Proyecto de cooperación técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los camélidos sudamericanos en la región Andina TCP/RLA/2914.

Parodi Núñez, M. N. (2011). Principales problemas en la calidad de la fibra de alpaca que limitan la comercialización de prendas de vestir en el mercado francés. *San Martín Emprendedor, Revista de Ciencias Empresariales de la Universidad de San Martín de Porres*, 2(2), 21-29.

Quispe Peña, E., Poma Gutiérrez, A., y Purroy Unanua, A. (2013). Características productivas y textiles de la fibra de alpacas de raza huacaya. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 7(1), 1-29. https://doi.org/10.5209/rev_RCCV.2013.v7.n1.41413

Rojas Chú, Y. (2016). *Alpaca del Perú: Diagnóstico sectorial línea de alpaca*. PromPerú. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2016/arequipa/eer-arequipa-2016-rojas.pdf>

Rosas Espejo, A. I. (2012). *Estudio de las principales características de la fibra de alpaca grasienta y de las condiciones de su proceso de lavado* (tesis de grado), Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperada de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/169>

Saldaña Perales, L. N. (2017). *Categorización, clasificación y procesamiento industrial de la fibra de alpaca* (trabajo monográfico para optar el título de ingeniero zootecnista). Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3428>

Schmid, S. (2006). *The value chain of alpaca fiber in Peru, an economic analysis* (tesis de maestría). Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Recuperada de <https://core.ac.uk/download/pdf/48032051.pdf>

South Africa Mohair Cluster. (marzo de 2019). Alpaca Industry of Peru. Recuperado de <http://samohaircluster.co.za/wp-content/uploads/2019/07/SAMC-Peruvian-Alpaca-Industry-Research-07.03.19.pdf>

Talledo Benites, J. C., Chanjí Díaz, E. del R., Peche Carbonel, O. E., y Aucahuasi Oviedo, J. C. (2017). *Proyecto de industrialización del hilado de fibra de alpaca de la empresa Nina Pitay SAC* (tesis de grado). Universidad San Ignacio de Loyola. Recuperada de <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/2987>

Terroba Galarreta, J. F. (mayo de 2017). *Implementación de una planta de procesamiento y comercialización de tops e hilados con fibra de alpaca para organizaciones de pequeños y medianos productores*. Lima: Perú Agrovet E.I.R.L.

Wang, X., Wang, L., y Liu, X. (2003). The quality and processing performance of alpaca fibres. *Rural Industries Research and Development Corporation*. Recuperado de <https://www.agrifutures.com.au/wp-content/uploads/publications/03-128.pdf>

IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS ACTIVOS DE LA MASHUA NEGRA (*TROPAEOLUM TUBEROSUM*) Y EL EFECTO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA MIX DE MASHUA CON PIÑA

OSIRIS FELICIANO-MUÑOZ*

<https://orcid.org/0000-0002-8883-6907>

ROBERTO ROBLES-CALDERÓN*

<https://orcid.org/0000-0002-7077-5085>

JAQUELINE HEIDY CHIRRE-FLORES*

<https://orcid.org/0000-0003-3104-3938>

ÓSCAR SANTISTEBAN-ROJAS*

<https://orcid.org/0000-0002-0126-4142>

JOSÉ CARLOS FELICIANO-NISHIKAWA*

<https://orcid.org/0000-0003-4186-8677>

WALTER DIMAS FLOREZ-PONCE DE LEÓN*

<https://orcid.org/0000-0003-2510-9742>

Universidad Nacional Mayor de San Marcos,
Facultad de Química e Ingeniería Química, Perú

Recibido: 21 de agosto del 2020 / Aprobado: 14 de enero del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5150>

RESUMEN: La tendencia actual es la de consumir productos naturales con propiedades funcionales que disminuyan el riesgo de diversos tipos de enfermedades, siendo la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) uno de los alimentos que reúne estas características ya que es fuente importante de compuestos bioactivos que incluyen antocianinas, glucosinolatos y compuestos fenólicos, en especial, la morada y negra que tienen mayor capacidad antioxidante, que la amarilla, y presentan un alto contenido de compuestos fenólicos. El propósito de la presente investigación es la de identificar los principios activos de la mashua negra, así como el de elaborar una bebida mix de mashua con piña (variedad Golden) y estudiar el efecto del proceso de elaboración en la conservación de estos principios activos en la bebida mix.

PALABRAS CLAVE: mashua / metabolitos / principios activos / propiedades funcionales

* Correos electrónicos: ofelicianom@unmsm.edu.pe, jfelicianon@unmsm.edu.pe, rroblesc1@unmsm.edu.pe, jaqui_chirreflores@yahoo.es, oscar.santisteban1@unmsm.edu.pe, wdimasponce@gmail.com

IDENTIFICATION OF THE ACTIVE PRINCIPLES OF BLACK MASHUA (*TROPAEOLUM TUBEROSUM*) AND THE EFFECT OF THE PRODUCTION PROCESS OF A MIXED DRINK OF MASHUA AND PINEAPPLE

ABSTRACT: The current trend is to consume natural products with functional properties that reduce the risk of developing several types of diseases. One of the foods that meets these characteristics is mashua (*Tropaeolum tuberosum*), since it is an important source of bioactive compounds such as anthocyanins, glucosinolates and phenols. This feature is especially distinctive in purple and black mashuas compared to the yellow ones, because they have higher antioxidant capacity and are rich in phenolic compounds. The purpose of this research is to identify the active principles of black mashua, as well as to elaborate a mixed drink of mashua and pineapple (Golden variety) and to study the effect of the production process on the conservation of these active principles in the mixed drink.

KEYWORDS: mashua / metabolites / active principles / functional properties

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú, existen productos naturales que, en la mayoría de los casos, son consumidos a nivel local debido a la falta de difusión de las propiedades nutritivas y de los compuestos benéficos para la salud por su contenido de carotenoides, antocianinas, compuestos fenólicos, etc., entre estos productos se encuentra la mashua negra. Estudios recientes indican que la mashua es una fuente importante de compuestos fenólicos antioxidantes que ofrecen al producto una elevada capacidad antioxidante, en especial, los de coloración morado y negro.

Teniendo en cuenta que la producción agrícola de mashua negra es estacional, es necesario dar valor agregado a la materia prima, elaborando una bebida mix de buena calidad de mashua con piña (variedad Golden), que conserve las características organolépticas, las propiedades nutritivas y funcionales de la materia prima; prolongando el período de disponibilidad de la materia prima en cualquier época del año, aumentando la variedad de la dieta y ampliando el rango de sabores, colores y aromas.

La bebida mix de mashua negra con piña obtenida en la investigación es un producto innovador debido a que no se han publicado investigaciones del estudio de las condiciones que influyen en la calidad y rendimiento de esta bebida mix.

Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón) es un tubérculo andino cultivado durante siglos en el Perú, Bolivia, Ecuador, Venezuela y Colombia. Los habitantes de los Andes que consumen mashua afirman mejoras en la salud relacionadas con dolor de riñón e hígado, eczemas cutáneos y trastornos de la próstata (Grau, Ortega, Nieto y Hermann, 2003). Los estudios realizados por nuestro grupo mostraron que los genotipos de mashua púrpura tienen un alto contenido de compuestos fenólicos, comparable a los encontrados en fuentes antioxidantes ya conocidas (Campos *et al.*, 2006). Además, los tubérculos de mashua de color púrpura presentaron una capacidad antioxidante de ocho a diez veces mayor que los tubérculos de color amarillo (Chirinos *et al.*, 2008a).

Existen más de cien variedades de estos tubérculos, distinguiéndose variaciones en el color, las formas, las características de yemas y la coloración de la pulpa (Hernández y León, 1992). En la tabla 1 se indican las variedades más comunes de mashua según el color.

Tabla 1
Variedades de mashua y su color característico

Variedad	Color
Occeaño	Plomizo
Yanaaño	Negruzco
Pucaaño	Rojizo
Muruano	Morado
Checcheaño	Gris
Zapallo año	Amarillo
Yuracaño	Blanco

Fuente: Beltrán (2014)

Grau *et al.* (2003) mencionan que el tubérculo contiene isotiocianatos, presentes como glucosinolatos, los cuales les confiere un sabor picante. También presentan un alto contenido de compuestos antioxidantes, como fenólicos, antocianinas, carotenoides y capacidad antioxidante comparados a otros tubérculos andinos (p. ej., papa, olluco, oca) (figura 1). Los fitoquímicos responsables de la capacidad antioxidante están relacionados con los compuestos fenólicos y carotenoides (Campos *et al.* 2006).

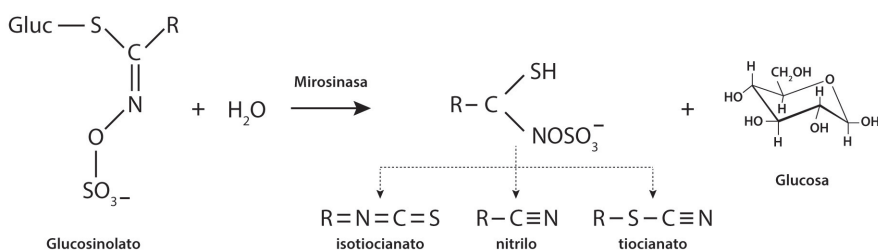


Figura 1. Estructura química del glucosinolato

Fuente: Arias (2002)

La popularidad del consumo de este tubérculo radica en sus benéficas propiedades relacionadas con la presencia de compuestos bioactivos que incluyen antocianinas, glucosinolatos y compuestos fenólicos (Chirinos *et al.*, 2008a). El consumo de mashua se ha relacionado con la mejora de la salud ya que influye en el alivio de los dolores renales y hepáticos y trastornos prostáticos (Betalleluz-Pallardel *et al.*, 2012). Además, también se emplea como antibiótico y para el tratamiento de úlceras en la piel, diabetes y recuperación posparto. Algunos extractos de mashua ricos en tiocianatos han mostrado

actividad anticarcinogénica *in vitro* en líneas celulares de cáncer de colon y próstata (Campos *et al.*, 2018).

Estudios experimentales han demostrado que los flavonoides pueden reducir la glucosa sanguínea postprandial al inhibir la digestión de carbohidratos. Los compuestos fenólicos pueden tener un papel clave en la inhibición de enzimas digestivas, como es el caso de la α -amilasa y la α -glucosidasa a través de uniones no específicas (Tan *et al.*, 2017). Las enzimas α -amilasa y α -glucosidasa participan en la digestión del almidón, que constituye una de las principales fuentes de glucosa en sangre. La hidrólisis de este por la α -amilasa produce maltosa, sacarosa y otros oligosacáridos que, posteriormente, son hidrolizados a glucosa por la α -glucosidasa (Nyambe-Silavwe *et al.*, 2015). Por tanto, los compuestos fenólicos pueden contribuir a controlar la respuesta glucémica mediante la inhibición de estas enzimas asociadas a la digestión de carbohidratos (Zhang *et al.*, 2015). Este control es clave para el tratamiento de la diabetes, ya que generalmente se manifiesta con una elevación persistente en los niveles de glucosa que resulta en alteraciones del metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas (Xu *et al.*, 2018).

Varios trabajos han demostrado que los compuestos fenólicos desempeñan un papel como antioxidantes a través de la restauración de enzimas antioxidantes o atrapando especies reactivas de oxígeno, contribuyendo así a la atenuación del estrés oxidativo, condición asociada al desarrollo de la resistencia a la insulina y la disfunción pancreática (Alkhalidy *et al.*, 2018). En este sentido, la ingesta de compuestos fenólicos se ha relacionado con una reducción en la incidencia de diabetes tipo 2 (Zamora-Ros *et al.*, 2014).

Los compuestos fenólicos son importantes antioxidantes debido a su alto potencial redox. Actúan como agentes reductores, donantes de hidrógeno, desactivadores de oxígeno y como agentes quelantes de metales (Tsao y Deng, 2004), relacionados con la salud de compuestos fenólicos como antibacterianos (Ezoubeiri *et al.*, 2005; Proestos, Boziaris, Nychas y Komaitis, 2005), antimutagénicos (Pedreschi y Cisneros-Zevallos, 2007), anticancerígenos (Kähkönen y Heinonen, 2003); además, actividades antitrombóticas y vasodilatadoras (Cook y Samman, 1996; Wang, Cao y Prior, 1997). Los efectos beneficiosos citados se han relacionado con sus propiedades antioxidantes. El número, el tipo y la concentración de fenólicos en las plantas exhiben una diversidad extrema. Los compuestos fenólicos varían en estructura: los ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinámico tienen una estructura de anillo único, mientras que los flavonoides comprenden tres estructuras de anillo y pueden clasificarse, además, en antocianinas, flavan 3-oles, flavone, flavanonas y flavonoles (figura 2).

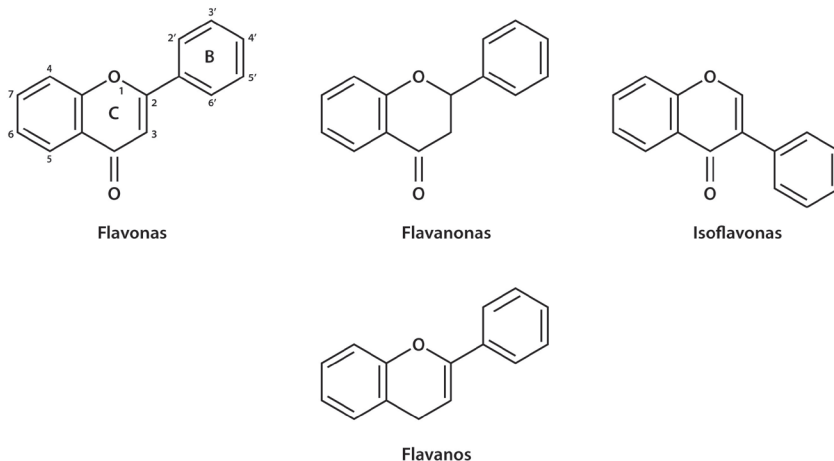


Figura 2. Estructuras de los flavonoides. Estructuras generales de flavonas, flavanonas, isoflavanos y flavanos

Fuente: Rosenberg *et al.* (2002)

El néctar es una bebida constituida por pulpa de fruta finamente tamizada, agua potable, azúcar, ácido cítrico, preservante químico y estabilizador. Además, el néctar debe recibir un tratamiento térmico adecuado que asegure su conservación en envases herméticos.

Para el consumidor, los atributos más importantes de los alimentos constituyen sus características organolépticas: textura, aroma, color y forma. Son estas las que establecen las preferencias individuales por determinados productos.

La inocuidad de los alimentos es crecientemente desafiada por nuevas amenazas biológicas que han producido notorios incidentes de enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA) en países con un alto desarrollo socioeconómico. Esto representa una seria preocupación para los consumidores, lo que ha motivado el interés por adelantarse a futuros escenarios de riesgo para la inocuidad alimentaria mediante la identificación temprana de nuevos peligros en los alimentos (Havelaar *et al.*, 2010).

Se han identificado varios factores que actúan como impulsores para alterar negativamente la inocuidad biológica de los alimentos. Estos impulsores de cambio pueden ser de distinto orden: ligados a la producción primaria, tecnológicos, ambientales, políticos, educacionales, de hábitos de consumo, culturales, demográficos y económicos, entre otros (Quested, Cook, Gorris y Cole, 2010).

En la tabla 2, se presentan las características microbiológicas de los néctares pasteurizados con duración mayor de treinta días.

Tabla 2
Características microbiológicas de néctares con duración mayor de treinta días

Microorganismo	<i>m</i>	<i>M</i>	<i>c</i>
Recuento de microorganismos mesofílicos	100	300	1
NMP coliformes totales/cc	< 3		0
NMP coliformes fecales/cc	< 3		0
Recuento de esporas clostridium sulfito reductor	< 10		1
Recuento de hongos y levaduras/cc	> 10	100	1

Fuente: Maureen Di (10 de junio de 2011)

m = índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad

M = índice máximo permisible para identificar nivel de aceptable calidad

c = número máximo de muestras permisibles con resultado entre *m* y *M*

NMP = número más probable

2. MATERIA PRIMA

La materia prima destinada a la fabricación de néctares debe encontrarse en su estado de óptima madurez, en el cual contiene su mejor sabor, color y aroma, así como gran riqueza en azúcares y pectinas. Las frutas demasiado verdes, además de presentar deficiencias en las cualidades anteriores, pueden desarrollar colores pardos en el producto final; por otro lado, las demasiado maduras, además de haber podido experimentar pérdidas de pectinas, durante la sobremaduración, son susceptibles a una mayor contaminación por mohos y levaduras.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Análisis de la materia prima (mashua)

La investigación se realizó en dos etapas: en la primera, se identificaron los metabolitos presentes en la mashua negra, para dicho análisis se obtuvo 500 mL de extracto hidroalcohólico de la mashua negra, este extracto se analizó en el Instituto de Investigación de Bioquímica y Biología Molecular de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú), para su análisis mediante cromatografía de gases acoplado a espectrómetro de masas, Agilent Technologies 6890N.

El sistema consta de una columna con empaque de Elite-1 (10 % dimetil poli siloxano, 30 0,25 mm diámetro interno, ID 1 EM df), los componentes fueron separados empleando helio y nitrógeno como gases transportadores a un flujo constante de 1 mL/min. La temperatura de trabajo varió entre los 100 a 350 °C. Cinco microlitros del extracto fueron inyectados. Se repitió cinco veces cada inyección de muestra. El análisis por GC MS suministró los picos de los diferentes componentes de la muestra. El extracto fue homogenizado y filtrado a través de papel Whatman, previamente, a su inyección.

Los picos fueron contrastados frente a la biblioteca del equipo el cual arrojó con un porcentaje la fórmula más probable del compuesto a partir del ion positivo.

Para constatar la conservación de los metabolitos de la mashua en la bebida mix, después del proceso de elaboración, se tomaron muestras homogenizadas de la bebida y se realizó el mismo procedimiento de análisis de la materia prima.

Para calcular el porcentaje de abundancia, se tomó como referencia el mayor pico (altura) al cual se le asignó el valor 100. Los demás componentes (iones y compuestos) se compararon con este valor. El cálculo de la masa inicial y la masa final para un compuesto es computado automáticamente por el equipo, en base a la altura y a la secuencia de los picos, respectivamente.

A continuación, se describen los materiales utilizados:

- Materiales: balanza de 0 kg a 10 kg, balanza analítica, refractómetro de 0 °Bx a 30 °Bx, potenciómetro Milwaukee, termómetro de -5 °C a 100 °C, ollas de acero inoxidable de 10 L y 20 L, extractor de 1200 W, baldes de plástico de 10 L con medida, jarra de 1 L, vasos pyrex de 250 mL, matraces pyrex de 250 mL.
- Aditivos: CMC, ácido cítrico, ácido ascórbico, sorbato de potasio.

3.2 Metodología de elaboración de la bebida mix de mashua con piña

El proceso se realizó de la siguiente manera: se pesaron 4 kg de mashua y 3 kg de piña, se blanqueó la mashua (en una olla de 10 L) con la finalidad de inactivar enzimas, suavizar la pulpa y realzar el color; luego, se pasó por el extractor para obtener la pulpa. Por otro lado, la piña se peló y también se pasó por el extractor; obteniéndose, así, la pulpa de mashua y piña.

La relación de pulpa de mashua negra a piña fue de 2,35:1 (los glucosinolatos presentes en la mashua le confiere un sabor picante y poco atractivo, para mejorar el sabor se mezcló con la piña, a la vez que se aprovechan las propiedades diuréticas de esta fruta), se agregaron a la olla, de 20 L, 2,35 kg de pulpa de mashua y 1 kg de pulpa de piña, para obtener la bebida, a la concentración de 30 % de sólidos, se adicionó 7,7 L de agua, homogenizada la mezcla se adicionó azúcar, se pasteurizó a 85 °C, durante 5

minutos, y se añadieron el ácido ascórbico para vitaminizar la bebida, el ácido cítrico para llevar la solución a pH de 3,3 y el sorbato de potasio como preservante. Luego, se envasa la bebida en botellas de vidrio de 300 mL, previamente esterilizadas, se tapa y se enfría rápidamente a temperatura ambiente (este cambio brusco de temperatura es con la finalidad de eliminar los posibles microorganismos que hayan sobrevivido al proceso de pasteurización). Estos métodos combinados de elaboración (pH bajo, blanqueado, pasteurizado y uso de preservante) asegura la obtención de un producto inocuo con tiempo de vida aceptable. En la figura 3, se muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de la bebida mix de mashua con piña.

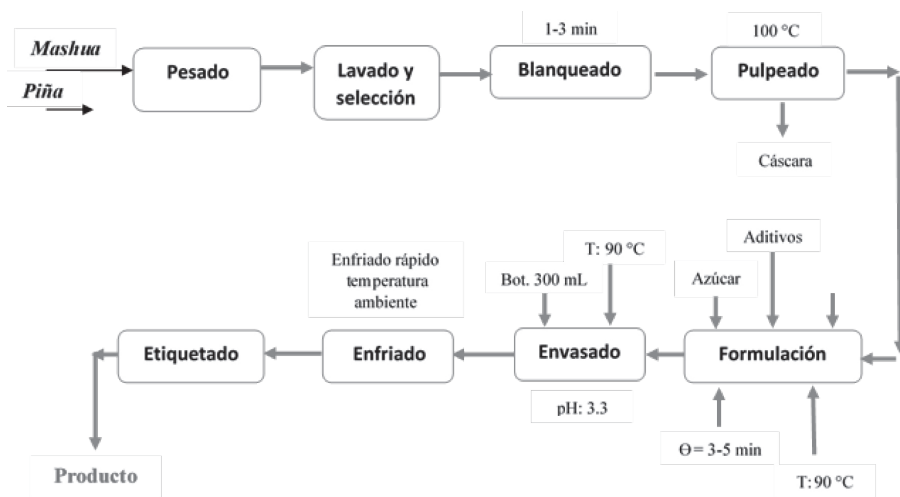


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de obtención de la bebida mix de mashua con piña

Elaboración propia

3.2.1 Balance de materia y energía del proceso de elaboración de la bebida mix de mashua negra

El balance de materia se realiza para determinar la cantidad de materia prima, aditivos e insumos que se utilizan en el proceso, así como el consumo de energía, con la finalidad de planificar la producción y establecer el costo de producción de la bebida mix.

3.2.2.1 Balance de materia

Base de producción: 894 botellas de néctares de 300 mL en 1 turno/día

Materia prima para procesar: 93,5 kg de mashua/turno + 27,5 kg piña/turno

- Rendimiento de operación

Tabla 3
Balance de materia en el proceso de elaboración de néctar mix de mashua

Operación	Lavado y selección		Blanqueado		Pulpeado		Envasado 227 litros = 923 botellas	Enfriado
	Mashua	Piña	Mashua	Piña	Mashua	Piña		
Rendimiento (%)	0,97	0,97	0,98	0,98	0,45	0,65	0,98	0,99
Pérdida (%)	0,03	0,03	0,02	0,02	0,55	0,35	0,02	0,01
Entrada (Kg)	93,5	27,5	90,7	26,68	89,36	26,15	923	903
Salida (Kg)	90,7	26,68	89,36	26,15	40,21	17	903	894

Elaboración propia

En relación con los datos de la tabla 3, se realizaron los siguientes cálculos de balance de materia para determinar la cantidad de azúcar, agua y la cantidad de néctar (botellas de 300 mL).

Se tienen, 17 kg de pulpa de piña con 13 °Bx

Cantidad de azúcar en los 17 kg de piña = $0,13 \times 17 = 2,9$ kg azúcar

La pulpa de mashua casi no tiene azúcar.

Para preparar la bebida se tiene:

57 kg pulpa + 180 L H₂O = 237 kg de solución

La solución debe tener 13 °Bx, luego la cantidad de azúcar que se necesita es:

$237 \text{ kg} \times 0,13 = 30,8$ kg azúcar

Pero la pulpa de piña contribuye con 2,9 kg, por lo tanto, se necesita:

$30,8 \text{ kg} \text{ azúcar} - 2,9 \text{ kg} \text{ azúcar} = 27,9 \text{ kg} \cong 28 \text{ kg} \text{ azúcar}$

La bebida va a tener una concentración de 30 % de pulpa.

Volumen de la mezcla: 57 kg pulpa + 180 L H₂O + 28 kg azúcar \cong 280 L sol.

En la etapa de formulación se tiene un rendimiento del 99 %, obteniéndose 277 L de néctar.

En la tabla 4 se indican las cantidades de materia prima, ingredientes, aditivos y materiales necesarios para la producción de 894 botellas de néctar mix de mashua.

Tabla 4

Materia prima, ingredientes, aditivos y materiales necesarios para la producción de 894 botellas de 300 mL de néctar

Materia prima (en kilogramos)		Ingredientes (en kilogramos)	
Mashua	Piña	Azúcar	Agua
93,5	27,5	28,0	180
Aditivos (en gramos)			
CMC	Ácido cítrico	Ácido ascórbico	Sorbato de potasio
280	290	140	110
Materiales			
Botellas	Tapas	Etiquetas	
923	923	923	

Elaboración propia

3.2.2.2 Balance de energía

- Balance de energía en el blanqueado

$$Q_{vap} = Q_{fruta}$$

$$\begin{aligned} W_{vap} \times \lambda_{vap} &= W_{fruta} \times c_p (T_f - T_i) \\ &= 121 \text{ kg} \times (0,9 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}) \times (100 - 20) ^\circ\text{C} \\ &= 8712 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{vap} &= 8712 \text{ kcal} / 539 \text{ kcal/kg vapor} \\ &= 16,16 \text{ kg vapor} \end{aligned}$$

- Balance de energía en la marmita

$$\begin{aligned} W_{vap} \times \lambda_{vap} &= W_{solución} \times c_p (T_f - T_i) \\ &= 280 \text{ kg} \times (0,92 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}) \times (90 - 20) ^\circ\text{C} \\ &= 18 032 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{vap} &= 18 032 \text{ kcal} \times \frac{1 \text{ kg vapor}}{539 \text{ Kcal}} \\ &= 33,45 \text{ kg vapor} \end{aligned}$$

- Balance de energía en el esterilizador de botellas

Botellas utilizadas en el proceso:

$$923 \text{ botellas} + 5 \% = 969 \text{ botellas}$$

$$969 \text{ botellas} \times 0,2 \frac{\text{kg}}{\text{botella}} = 193,8 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} W_{vap} \times \lambda_{vap} &= W_{botellas} \times c_p \text{ botellas} (T_f - T_i) \\ &= 193,8 \text{ kg} \times (0,2 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}) \times (100 - 20) ^\circ\text{C} \\ &= 3100,8 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{vap} &= 3100,8 \text{ kcal} \times \frac{1 \text{ kg vapor}}{539 \text{ Kcal}} \\ &= 5,75 \text{ kg vapor} \end{aligned}$$

$$W_{vap \text{ total}} = W_{vap \text{ blanqueado}} + W_{marmita} + W_{vap \text{ esterilizador}}$$

$$W_{vap \text{ total}} = 16,16 + 33,45 + 5,75 = 55,36 \text{ kg vap/turno}$$

$$(W_{vap \text{ total}})_{real} = W_{vap \text{ total}} + 20 \%$$

$$(W_{vap \text{ total}})_{real} = 55,36 + 11,07 = 66,43 \text{ kg vap/turno}$$

- Consumo de energía de los motores

Tabla 5

Consumo de energía en los motores de los equipos utilizados en la elaboración del néctar

Motor	Caballos de fuerza (HP)	Kilovatios (KW)
Blanqueado	5	3,75
Pulpeadora	5	3,75
Marmita	3	2,25
Envasadora	2	1,5
Total		11,25

Fuente: Laboratorio de la EAP de Ingeniería Agroindustrial – Facultad de Ingeniería Química - UNMSM (2017)

Elaboración propia

4. RESULTADOS

El espectro de masas se representa habitualmente como un gráfico de barras, en la que cada una de ellas corresponde a un ion. La información proporcionada incluye la relación m/z (masa/número atómico) y la intensidad relativa de cada señal. A la más

intensa denominada pico base, se le asigna el valor 100. Para calcular el porcentaje de abundancia se toma como referencia dicho pico base (de mayor altura). Los demás componentes (iones y compuestos) se comparan con este valor. El cálculo de una masa inicial y la masa final para un compuesto es calculado automáticamente por el equipo, en base a la altura y a la secuencia de los picos, respectivamente.

En la figura 4, se muestra el espectro de masas mostrando la totalidad de picos de los compuestos encontrados en la mashua, en orden de aparición de los iones moleculares.

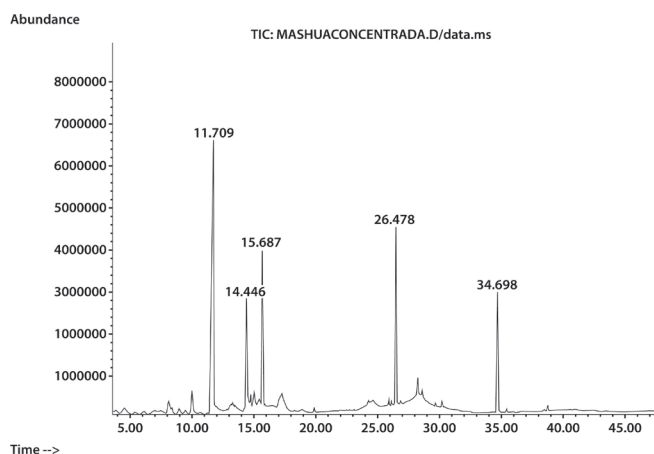


Figura 4. Totalidad de picos del extracto hidroalcohólico de mashua, se observa el orden de aparición de los iones producidos, según su tiempo de retención (2017)

Elaboración propia

A continuación, se muestran (figura 5) los espectros de masas de los componentes de la mashua: 3,5-dihydroxy-6-methyl-2,3-dihydro-4H-pyran-4- y 2,4-dihydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone.

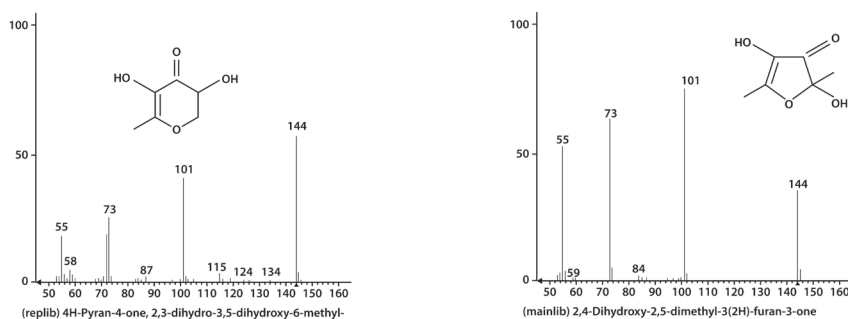


Figura 5. Espectro de masas correspondiente a dos de los componentes de la mashua, 3,5-dihydroxy-6-methyl-2,3-dihydro-4H-pyran-4- y 2,4-dihydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone

Elaboración propia

La figura 6 muestra el espectro de los componentes de la mashua: 5-hydroxymethylfurfural y 4-hydroxythiophenol.

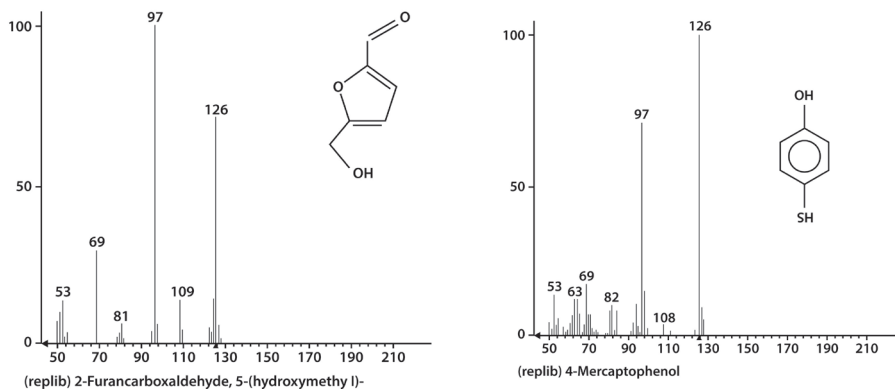


Figura 6. Espectro de masas correspondiente a dos de los componentes de la mashua, 5-hydroxymethylfurfural y 4-hydroxythiophenol

Elaboración propia

En la figura 7, se indican los espectros de masas de: 4-methoxybenzyl alcohol y m-methoxybenzyl alcohol (correspondientes a la mashua).

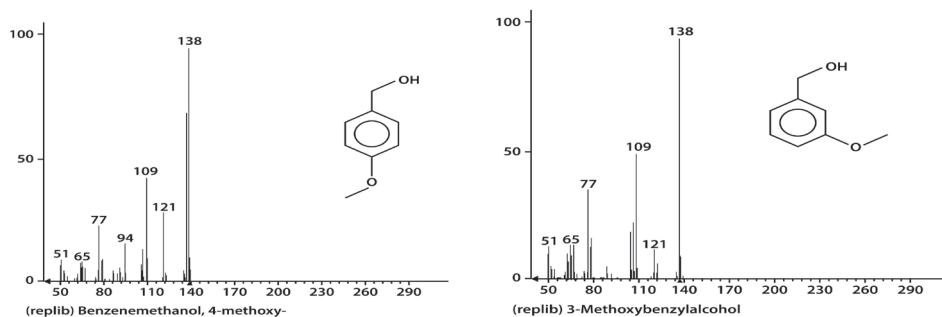


Figura 7. Espectro de masas correspondiente a dos de los componentes de mashua, 4-methoxybenzyl alcohol y m-methoxybenzyl alcohol

Elaboración propia

En la figura 8, se presenta el espectro de masas de la mashua: 1-(isothiocyanatomethyl)-4-methoxybenzene.

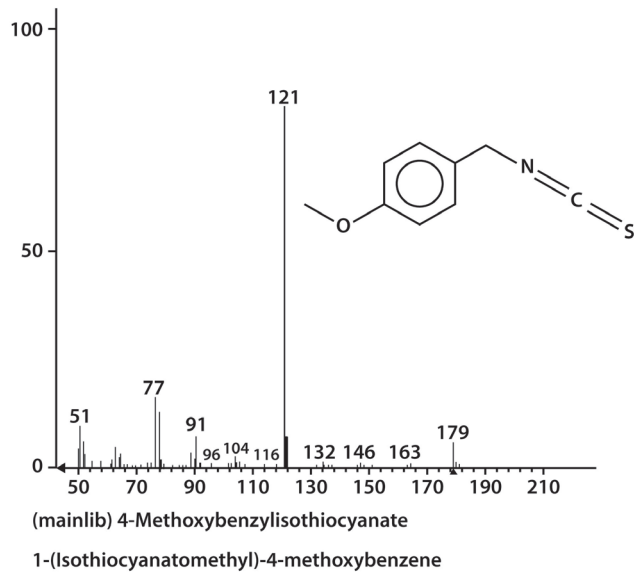


Figura 8. Espectro de masas correspondiente al componente de la mashua, 1-(isothiocyantomethyl)-4-methoxybenzene

Elaboración propia

La bebida obtenida es de buena calidad, de agradable presentación y atractivo color púrpura, además, conserva las características organolépticas de la mashua, al cual la piña le transfiere un agradable sabor y aroma. Siendo las características fisicoquímicas del producto las siguientes: concentración de pulpa 30 %, 13 °Bx, pH 3,3 y de atractivo color púrpura.

Como se aprecia en la figura 9, la bebida mix de mashua negra con piña tiene un agradable color púrpura con sabor y aroma agradable.



Figura 9. Bebida mix de mashua con piña obtenida en la investigación

Elaboración propia

En la figura 10, se presentan los compuestos activos encontrados en la bebida mix de mashua.

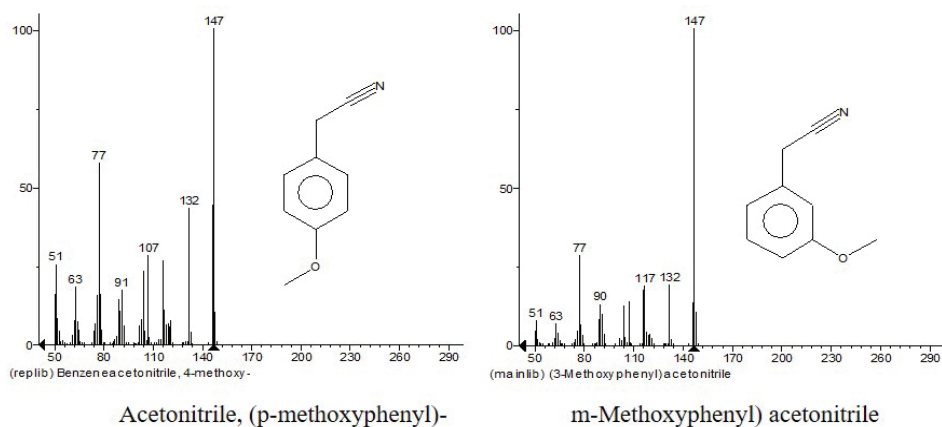


Figura 10. Compuestos acetonitrile, (p-methoxyphenyl)- y (m-methoxyphenyl) acetonitrile
Elaboración propia

5. DISCUSIÓN

Chirinos *et al.* (2008a) determinaron los compuestos fenólicos presentes en distintos extractos de mashua utilizando una cromatografía líquida de alta eficacia o *high performance liquid chromatography* (HPLC) con *diode array detection* (gallic acid, galocatechin, procyanidin, epigallocatechin, además de otros compuestos fenólicos como hydroxycinnamic y derivados del ácido hydroxybenzoic).

El análisis de los compuestos activos de la materia prima y de la bebida mix se realizó empleando cromatografía de gases acoplado a espectroscopia de masa (GC-MS) y se orientó hacia el reporte de moléculas más activas que los compuestos fenólicos y con mayor actividad química. Entre los componentes más abundantes que reportamos se encuentran:

- 5-hydroxymethylfurfural
- 4-hydroxythiophenol
- 4-methoxybenzyl alcohol
- m-methoxybenzyl alcohol
- 1-(isothiocyanatomethyl)-4-methoxybenzene

Hay estudios de identificación de los componentes bioactivos de la mashua, pero no necesariamente son de espectrometría de masas, MS.

Grau *et al.* (2003) mencionan que el tubérculo contiene isotiocianatos, presentes como glucosinolatos, que le confiere un sabor picante. En el análisis de la mashua negra, se encontró que uno de los compuestos abundantes es el 1-(isothiocyanatomethyl)-4-methoxybenzene.

La presencia de isotiocianatos en la mashua negra le confiere un sabor picante y poco agradable, por lo que se preparó la bebida mezclando con piña para hacer más agradable el producto y a la vez aprovechar las propiedades diuréticas de la piña; la relación de mashua a piña fue de 2,35:1, respectivamente, obteniéndose una bebida de buena calidad, de buen sabor y de color púrpura atractivo, con 30 % de pulpa, pH de 3,3 y 13 °Bx.

A pesar de los tratamientos térmicos de blanqueado, pasteurizado, mezcla con piña y dilución con agua para la formulación de la bebida, en los análisis de los compuestos activos del producto, se identificaron los mismos núcleos químicos de la materia prima, pero en un porcentaje del 50 %, aproximadamente (según los picos respectivos, figura 10). Demostrando de esta manera que el producto contiene los principios activos benéficos para la salud del ser humano. Coincidiendo estos valores con los estudios de Casati *et al.* (2015), quienes evaluaron el contenido de compuestos fenólicos después de tratamientos térmicos, exhibiendo una gran estabilidad durante el proceso, siendo la pérdida menor al 50 %.

El estudio de balance de materia y energía fue para ver los requerimientos de la materia prima, los insumos, los aditivos y la energía, así como evaluar los costos de producción de la bebida mix.

6. CONCLUSIONES

En la investigación se identificaron cualitativamente los metabolitos de la mashua negra, demostrándose que tiene metabolitos con una alta capacidad antioxidante como los componentes activos aldehídicos (4-hydroxythiophenol) e isotiocianatos (1-(isothiocyanatomethyl)-4-methoxybenzene). Responsables de la actividad medicinal o farmacológica atribuida a la mashua, cuyo consumo en la zona andina del Perú, Ecuador, Bolivia y Argentina es desde la época prehispánica. El potencial farmacológico ha sido demostrado para cada uno de los núcleos en la medicina contemporánea.

Mediante el análisis realizado a la bebida mix de mashua con piña se demuestra que, a pesar de los tratamientos térmicos y la dilución de la materia prima en la formulación de la bebida durante el proceso de elaboración, se conserva, aproximadamente, el 50 % de los componentes activos de la mashua negra, lo cual nos indica que el proceso seguido no afecta demasiado a las propiedades a los metabolitos de la materia prima. Garantizándose que el producto tenga las propiedades funcionales que van a beneficiar al consumidor.

La bebida obtenida, con una relación de mashua negra a piña de 2,35:1, respectivamente, y a una concentración de pulpa de 30 %, pH 3,3, 13 °Bx, es de buena calidad, de buen aroma y de sabor agradable, además de conservar las características organolépticas de la mashua, tiene un atractivo color púrpura. La bebida preparada proporciona los nutrientes necesarios para la salud humana y debido al proceso de elaboración está disponible para el consumidor durante cualquier época del año. La piña, además de mejorar el sabor de la mashua, también contribuye con sus propiedades diuréticas.

REFERENCIAS

- Alkhalidy, H., Wang, Y., y Liu, D. (2018). Dietary flavonoids in the prevention of T2D: an overview. *Nutrients*, 10(4), 438.
- Arias, A. (2002). *Biotechnología y metabolitos secundarios en Lepidium peruvianum Chacón "Maca"* (tesis para optar el título de biólogo con mención en Genética). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ashurst, P. (2005). Introduction. En P. Ashurst (Ed.), *Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices* (2.ª ed.) (pp. 1-13). Oxford: Blackwell Publishing.
- Beltrán, A. (2014). *Elaboración del tubérculo mashua (Tropaeolum tuberosum) troceada en miel y determinación de la capacidad antioxidante* (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Rogez, H., Pedreschi, R., y Campos, D. (2012). Phenolic compounds from Andean mashua (*Tropaeolum tuberosum*) tubers display protection against soybean oil oxidation. *Food Science and Technology International*, 18(3), 271-280.
- Campos, D., Chirinos, R., Gálvez Ranilla, L., y Pedreschi, R. (2018). Bioactive potential of Andean fruits, seeds, and tubers. *Advances in Food and Nutrition Research*, 84, 287-343.
- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W., y Cisneros Zevallos, L. (2006). Capacidad antioxidante y metabolitos secundarios en cuatro especies de tubérculos andinos: papa nativa (*Solanum sp.*), Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), oca (*Oxalis tuberosa* Molina) y olluco (*Ullucus tuberosum*). *Journal of Science of Food and Agricultural*, 86, 1481-1488.
- Casati, C. B., Baeza, R., Sanchez, V., Catalano, A., López, P., y Zamora, M. C. (2015). Thermal degradation kinetics of monomeric anthocyanins, colour changes and storage effect in elderberry juices. *Journal of Berry Research*, 5(1), 29-39.
- Chen, J. Y., Zhang, H., y Matsunaga, R. (2006). Rapid determination of the main organic acid composition of raw Japanese apricot fruit juices using near-infrared

- spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 9652-9657. doi:10.1021/jf061461s
- Chirinos, R., Campos, D., Warnier, M., Pedreschi, R., Rees, J., y Larondelle, Y. (2008). Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. *Food Chemistry*, 111, 98-105.
- Chirinos, R., Pedreschi, R., Cedano, I., y Campos, D. (2015). Antioxidants from mashua (*Tropaeolum tuberosum*) control lipid oxidation in sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil and raw ground pork meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2612-2619. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12511>
- Choi, L. H., y Nielsen, S. S. (2005). The effects of thermal and nonthermal processing methods on apple cider quality and consumer acceptability. *Journal of Food Quality*, 28(1), 13-29. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2005.00002.x>
- Cook, N. C., y Samman, S. (1996). Flavonoids—chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *The Journal of nutritional biochemistry*, 7(2), 66-76.
- Ezoubeiri, A., Gadhi, C. A., Fdil, N., Benharref, A., Jana, M., y Vanhaelen, M. (2005). Isolation and antimicrobial activity of two phenolic compounds from *Publicaria odora* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 99, 287-292.
- Grau, A., Ortega, R., Nieto, C., y Hermann, M. (2003). *Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pav.)*. International Potato Center. Lima, Perú.
- Havelaar, A. H., Brul, S., de Jong, A., de Jonge, R., Zwietering, M. H., y ter Kuile, B. H. (2010). Future challenges to microbial food safety. *International Journal of Food Microbiology*, 139, 79-94. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2009.10.015
- Hernández, B., y León, J. (1992). *Cultivos marginados otra perspectiva de 1942*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma, pp. 150-151.
- Huaccho Huaman C. (2016). *Capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, carotenoides y antocianinas de 84 cultivares de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón)* (tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Tecnología de Alimentos). Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2844>
- Kähkönen, M. P., & Heinonen, M. (2003). Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(3), 628-633.
- Laboratorio de la EAP de Ingeniería Agroindustrial – Facultad de Ingeniería Química – UNMSM (2017).
- Maureen´Di (10 de junio de 2011). *Obtención de néctares de fruta* [blog]. Recuperado de <http://envasescelulosicoschalademaiz.blogspot.com/>

- Nyambe-Sitavwe, H., Villa-Rodríguez, J. A., Ifie, I., Holmes, M., Aydin, E., Jensen, J. M., y Williamson, G. (2015). Inhibition of human α -amylase by dietary polyphenols. *Journal of Functional Foods*, 19, 723-732.
- Pedreschi, R., y Cisneros-Zevallos, L. (2007). Phenolics profiles of Andean purple corn (*Zea mays* L.). *Food Chemistry*, 100(3), 956-963.
- Proestos, C., Chorianopoulos, N., Nychas, G. J., y Komaitis, M. (2005). RP-HPLC analysis of the phenolic compounds of plant extracts. Investigation of their antioxidant capacity and antimicrobial activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(4), 1190-1195.
- Quested, T. E., Cook, P. E., Gorris, L. G. M., y Cole, M. B. (2010). Trends in technology, trade and consumption likely to impact on microbial food safety. *International Journal of Food Microbiology*, 139, S29-S42. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.043>
- Rosenberg, R., Jenkinsa, D., y Diamandis, E. (2002). Flavonoids and steroid hormone dependent cancers. *Journal of Chromatography B*, 777, 219-232.
- Tan, Y., y Chang, S. K. C. (2017). Digestive enzyme inhibition activity of the phenolic substances in selected fruits, vegetables and tea as compared to black legumes. *Journal of Functional Foods*, 38, 644-655.
- Tsao, R., y Deng, Z. (2004). Separation procedures for naturally occurring antioxidant phytochemicals. *Journal of chromatography B*, 812(1-2), 85-99.
- Wang, H., Cao, G., y Prior, R. L. (1997). Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(2), 304-309.
- Xu, Y., Guo, Y., Gao, Y., Niu, X., Wang, L., Li, X., Chen, H., Yu, Z., y Yang, Y. (2018). Separation, characterization and inhibition on α -glucosidase, α -amylase and glycation of a polysaccharide from blackcurrant fruits, LWT. *Food Science and Technology*, 93, 16-23.
- Zamora-Ros, R., Forouhi, N. G., Sharp, S. J., Gonzalez, C. A., Buijsse, B., Guevara, M., ... y Wareham, N. J. (2014). Dietary intakes of individual flavanols and flavonols are inversely associated with incident type 2 diabetes in European populations. *The Journal of nutrition*, 144(3), 335-343.
- Zapatero Alba, A. (2006). *El trasfondo económico, financiero y jurídico-legal de los procesos de fusión de sociedades mercantiles* (tesis para optar el título de abogado). Universidad de Lima.
- Zhang, B., Deng, Z., Ramdath, D. D., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., Liu, Q., y Tsao, R. (2015). Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on α -glucosidase and pancreatic lipase. *Food Chemistry*, 172, 862-872.

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA PIEZOELÉCTRICA CON APLICACIÓN EN PLANTILLAS DE CALZADO DEPORTIVO

FIAMA VANESSA NORABUENA ALIAGA*
<https://orcid.org/0000-0002-6619-419X>
Universidad de Lima

Recibido: 16 de agosto del 2020 / Aprobado: 21 de octubre del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5151>

RESUMEN: La presente investigación propone el desarrollo de un sistema de captación de energía generada a partir de pisadas humanas con aplicación en plantillas de calzado deportivo. Se utilizaron los conceptos de *energy harvesting* y el fenómeno de la piezoelectricidad para la fabricación del prototipo compuesto por un sistema de once sensores piezoeléctricos y una plantilla impresa en 3D con el filamento flexible PLA. El prototipo se puso a prueba al simular las pisadas logrando generar hasta 1 V al encender un diodo LED. Sin embargo, la energía generada no fue la suficiente para cargar una unidad de almacenamiento de baja potencia.

PALABRAS CLAVE: fuentes de energías renovables no convencionales / sistemas de captación de energía / piezoelectricidad / calzado deportivo

A TECHNICAL FEASIBILITY STUDY OF A PIEZOELECTRIC ENERGY HARVESTING SYSTEM APPLIED TO SPORTS SHOE INSOLES

ABSTRACT: This research proposes the development of an energy harvesting system applied to sports shoe insoles, which uses human footsteps for energy generation. The concepts of energy harvesting and the phenomenon of piezoelectricity were used to manufacture a prototype consisting of a system with eleven piezoelectric sensors and a 3D printed insole made from PLA material. The prototype was tested using simulated footsteps, thus generating up to 1 V when an LED diode turned on. However, the energy generated was not enough to charge a low-power storage unit.

KEYWORDS: non-conventional renewable energy sources / energy harvesting system / piezoelectricity / sports shoe

* Correo electrónico: fiamanorabuena@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda energética y el fuerte impacto sobre el medio ambiente han originado que diversas investigaciones propongan nuevas formas de generación de energía que combinen la acción de caminar y una fuente a escala pequeña como la piezoelectricidad. A este concepto se le conoce como *energy harvesting* el cual se define como el proceso de recolección de energía residual que se origina naturalmente al presionar sensores piezoeléctricos ubicados en una plantilla, para luego ser convertida en energía eléctrica, almacenada en una unidad y utilizada como fuente de energía en diversas aplicaciones.

Ahmad y Hashim (2011) hicieron una plantilla captadora de energía con un parche piezoeléctrico para producir energía a partir de vibración constante al caminar y correr, cargando así una batería de 40 mAh a 1,2 V en 3750 segundos. Xie y Cai (2015) construyeron un mecanismo deslizante trapezoidal, en la suela de una zapatilla, que reportó, aproximadamente, 1 W de generación de energía. Fan *et al.* (2017) diseñaron un recolector piezoeléctrico que aprovecha el golpe del pie en el suelo al caminar, el balanceo de la pierna durante el caminar y la compresión del peso de la persona, generando 0,03 MW a 0,35 MW al caminar en velocidades de 2 a 8 km/h, respectivamente. Dewangan y Dubey (2017) elaboraron un sistema con 12 sensores piezoeléctricos ubicados en una plantilla, cuyo voltaje resultante fue amplificado para generar 6 V al caminar. Jiménez Martínez, de Frutos, Alonso y Vázquez (2015) optimizaron la captación de energía piezoeléctrica en un entorno de vibración, logrando la carga de un condensador de 200 μ F en 3824 segundos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se recuperó la energía siguiendo cuatro fases fundamentales. También se consideró el concepto de ingeniería inversa como parte de la fase 4 de aplicación del proyecto.

2.1 Fase 1. Sistema de captación de energía

Para la presente investigación se eligió el sensor piezoeléctrico PZT de diafragma cerámico. El diseño propuesto, que se observa en la figura 1, consiste en once discos piezoeléctricos PZT soldados en paralelo.

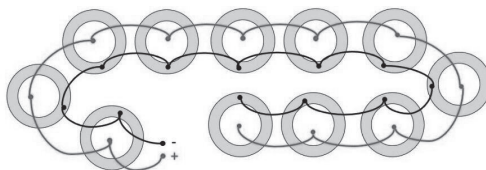


Figura 1. Sistema piezoeléctrico conectado en paralelo (pie izquierdo)

Elaboración propia

2.2 Fase 2. Acondicionamiento

2.2.1 Encendido del diodo LED

Se hizo una prueba rápida de funcionamiento del soldado de los sensores piezoeléctricos, al prender un diodo LED, para indicar que el circuito estaba activo, probando así que el circuito conectado sí generaba energía.

2.2.2 Carga de una unidad de almacenamiento

La energía se almacena en tres etapas que son de entrada, proceso o control y salida. Esta puede cambiar dependiendo de la unidad a almacenar. La *etapa de entrada* está compuesta por el sistema de sensores piezoeléctricos encargados de captar la energía generada al caminar.

Dicha energía es de carácter alterno por lo que en la *etapa de proceso o control* se rectifica la señal con un puente de diodos. Seguido de un condensador que tiene la función de actuar como filtro para que el voltaje directo producido se mantenga constante (Maiwa, 2016) y se evite las variaciones de tensión (Jiménez Martínez *et al.*, 2015).

Finalmente, en la *etapa de salida*, se carga una batería. Los detalles del almacenamiento de energía de la etapa de salida se observan en la fase 3.

2.3 Fase 3. Almacenamiento

Según la potencia, la energía que se requiera y el sistema de cosecha de energía, se pueden cargar tres tipos de unidad de almacenamiento como los condensadores, supercondensadores y las baterías.

El primer tipo es el *condensador* o capacitor, dispositivo que almacena energía y que consiste en dos placas de material conductor ubicado entre un aislador (Fluke Corporation, 2020). El segundo, el *supercondensador*, también llamado ultracapacitador, tiene un funcionamiento muy similar al de un condensador. La diferencia radica en que posee una mayor capacidad de almacenamiento a comparación de los condensadores comunes (medida en faradios) (Twenergy, 2019). Finalmente, la *batería* es un dispositivo que convierte la energía química contenida en sus materiales activos directamente en energía eléctrica por medio de una reacción electroquímica de oxidación-reducción (Mezei, 2011).

2.4 Fase 4. Aplicación

La aplicación del sistema de captación de energía piezoeléctrica es una plantilla, cuyo prototipo se fabricó con la tecnología de diseño, impresión y material 3D. La plantilla y el sistema piezoeléctrico se pusieron a prueba al encender un diodo LED de color rojo.

2.4.1 Diseño de la plantilla

El prototipo se hizo al escanear las medias de un pie talla 38, para su posterior reconstrucción 3D y elaboración de la plantilla. El proceso de diseño consta de tres fases: adquisición de la información geométrica, reconstrucción de superficies y construcción de la plantilla.

2.4.1.1 Fase 1. Adquisición de la información geométrica

La información geométrica del pie de talla 38 se obtuvo al escanear el pie y generar una malla poligonal en el *software* empleado. Se necesitó el escáner 3D HandyScan 700 y el *software* VXelements. El resultado fue una superficie con la información geométrica del pie, canilla y pantorrilla.

2.4.1.2 Fase 2. Reconstrucción de superficies

Se utilizó el *software* VXmodel para la reconstrucción de la forma del pie, a partir de la información geométrica escaneada, para así poder generar la malla poligonal.

Una vez obtenida la malla poligonal, esta fue filtrada, es decir, que se limaron manualmente superficies ajenas y puntos defectuosos que se observan en los dedos del pie. Posteriormente, se usó el *software* Geomagic Freeform para realizar mejoras más específicas de la malla poligonal al crear un cuerpo sólido que permitiera el moldeado en arcilla, lo cual hizo más fácil el diseño de la plantilla. Los dedos del cuerpo sólido se rellenaron con la función "Esculpir" para obtener una superficie uniforme y evitar las curvaturas innecesarias de los dedos del pie. El resultado se puede observar en la figura 2.

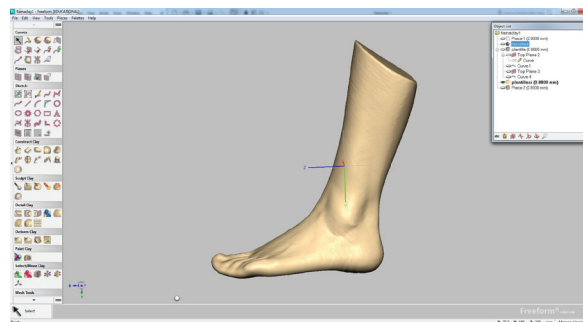


Figura 2. Rellenado de los dedos del pie

Elaboración propia

2.4.1.3 Fase 3. Construcción de la plantilla

El cuerpo sólido, tratado anteriormente, se utilizó como molde para la extrusión de la base de la plantilla y formar dos superficies independientes. La extrusión fue de 3 a 5 mm. Se utilizó el comando "Curve" y se mantuvo presionado con el comando "Fitting" para dibujar el contorno de la plantilla en la superficie de la planta del pie.

Las superficies fueron separadas por el comando "Boolean remove" para trabajar únicamente con la base de la cual saldrá la plantilla. El comando elegido remueve una figura de otra.

Las curvas que se presentan en el pie fueron proyectadas a una superficie plana con ayuda de la herramienta "Proyectar superficie a plano", obteniendo como resultado una plantilla con la forma actual del pie escaneado que se observa en la figura 3.

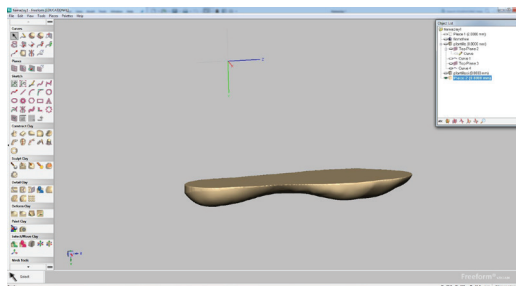


Figura 3. Proyección de la planta del pie

Elaboración propia

Se dibujaron con la opción de "Sketch", 11 círculos de 27,5 mm de diámetro y 1,5 mm de espesor para la ubicación de los sensores piezoeléctricos. También se hicieron dos huecos con la opción "Extruir" para poder conectar los cables con el protoboard. Por último, con la opción "Pipe" se hicieron surcos de 3 mm de ancho para colocar los cables y mantenerlos ordenados. El diseño final se observa a continuación en la figura 4.

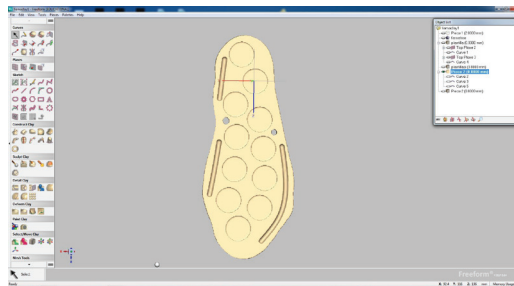


Figura 4. Dibujo círculos, huecos y surcos

Elaboración propia

2.4.2 Prototipo y sistema de captación de energía

Como se puede observar en la figura 5, el sistema de once sensores piezoeléctricos en paralelo fue montado encima de la plantilla y fue pisado simulando la forma de caminar para así poder encender el diodo LED y demostrar que el sistema piezoeléctrico sí genera energía.

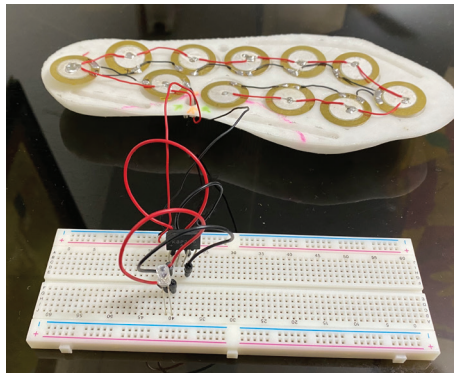


Figura 5. Prototipo para la prueba de encendido del diodo LED

Elaboración propia

3. RESULTADOS

3.1 Diseño de la plantilla e impresión 3D

En la figura 6, se observa la impresión acabada del prototipo cuya textura es dura y suave, sin embargo, no es flexible al doblar. Los sensores piezoeléctricos no pudieron ser insertados en los espacios previstos debido a la rigidez de la estructura. También, se observan surcos en los bordes de la plantilla, en los que se esperaba poner los cables para tener un mejor orden, sin embargo, no se pudieron utilizar, ya que las formas de los cables no pudieron ser ubicadas dentro del surco, pues las conexiones podían verse afectadas.



Figura 6. Impresión 3D del prototipo de la plantilla

Elaboración propia

3.2 Prototipo y sistema de captación de energía

3.2.1 Encendido del diodo LED

La prueba se llevó a cabo en la oscuridad para lograr distinguir el color rojo del diodo que se prende, por unos segundos, justo cuando la persona va a levantar el talón para dar el siguiente paso. El diodo LED de color rojo trabaja con una corriente de 20 mA y un voltaje de 1,8 V (Vishay Semiconductors, 2020). Con un multímetro digital, se midió el voltaje generado por el sistema de once piezoeléctricos que fue de 1 V, aproximadamente.

3.2.2 Carga de una unidad de almacenamiento

El arreglo, bastante simple y económico del sistema piezoeléctrico, no fue suficiente para la carga de un capacitor, cuyas especificaciones requerirían de 10 μF a 16 V para la carga de este. Ahmad y Hashim (2011) detallan que la mayoría de los investigadores se están centrando en la aplicación de golpe de talón con piezoeléctrico. Sin embargo, la corriente eléctrica y/o los voltajes generados son muy bajos.

Al no generarse energía suficiente, se optó por tomar como referencia los resultados de artículos científicos y tesis de repositorio. En la tabla 1, se observan ejemplos de la literatura revisada y sus propuestas de pruebas experimentales, según la unidad de almacenamiento de energía.

Tabla 1

Resumen de los tipos de pruebas y resultados experimentales según trabajo de investigación

Tipo de prueba	Artículo científico o tesis	Autor(es)	Resultados
Simulación del movimiento humano al correr en una trotadora a la velocidad de 5 km/h	Desarrollo de un dispositivo colector de energía que utiliza materiales piezoeléctricos	Robiah Ahmad y Mohd Hashim	Carga de batería NiMH 40 mAh a 1,2 V en 3750 segundos
Pruebas de medición de fuerza con pesas de precisión del piezocerámico de diafragma	Estudio de sensores piezoeléctricos en aplicaciones de medición de fuerza	Axcel Fernández Galeano	Carga de condensador 100 nF Voltaje máximo: 1400 mV
Simulación de una caminata de 3,5 millas/h en una caminadora	Diseño de un colector de energía piezoeléctrico mediante optimización topológica que maximice la transformación de energía mecánica en eléctrica generada por un ser humano al caminar	Esteban Sepúlveda Orozco	Carga de batería NiMH 20 mAh 1,2 V en 1 hora y 40 minutos
Simulación de una rutina diaria de ejercicio en una bicicleta elíptica	Prototipo generador de energía eléctrica por el uso de una bicicleta elíptica para la iluminación de un ambiente de deporte	Kenny Palomino Vera	Carga de batería de 4000 mAh a 6 V en 8 horas y 30 minutos

Fuente: Ahmad y Hashim (2011), Fernández Galeano (2018), Sepúlveda Orozco (2014) y Palomino Vera (2016)

Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

- La elaboración de un sistema de captación de la energía que se da al caminar es técnicamente viable, mediante el uso del fenómeno de la piezoelectricidad como fuente de energía limpia, para la captura de la energía que se pierde al caminar. Se escogió el calzado como aplicación, teniendo en cuenta que una de las principales actividades del ser humano es caminar.
- En la *etapa de sistema de captación de energía* se utilizaron los sensores piezoeléctricos PZT de diafragma cerámico tipo *tweeter* que está diseñado para generar sonido y no son ideales para generación de energía.
- Al pisar, el sistema de once sensores piezoeléctricos genera energía que no está lista para ser usada por su carácter de corriente alterna. Por esta razón, en la *etapa de acondicionamiento* se rectificó y amplificó la corriente alterna generada, como un puente de diodos, y con un condensador se mantuvo el voltaje estable para no dañar la unidad de almacenamiento con las posibles variaciones de tensión.
- En la etapa de almacenamiento, la unidad que se utilizará para el almacenamiento de la energía puede variar según la aplicación y la capacidad de esta. Las unidades de almacenamiento más utilizadas son los condensadores, supercondensadores y baterías.
- El *prototipo de la plantilla* fue elaborado en tres fases para trabajar con las medidas reales del pie de una persona. Se empleó la técnica de digitalización de escaneo 3D con el HandySCAN 700 3D y el *software* VXscan para recopilar la información dimensional y geométrica del pie de una persona talla 38, con el propósito de recrear un modelo tridimensional. La materialización de los prototipos se hizo con la tecnología de impresión 3D. Se utilizó la impresora Replicator 2x de la marca Makerbot y el filamento flexible PLA de la misma marca. El resultado fue una estructura rígida que no presenta la característica de maleabilidad que tienen las plantillas comunes. Además, no permitió la ubicación de los sensores piezoeléctricos en los espacios circulares que se diseñaron.
- La prueba del encendido del diodo LED se hizo para comprobar que el circuito propuesto genera energía. Al simular la caminata de una persona, se logró encender el diodo y se generó, aproximadamente, hasta 1 V con cada pisada.
- No se generó suficiente energía para cargar una unidad de almacenamiento como se esperaba. Generalmente, para cargar la batería de un celular se necesitan, aproximadamente, 3000 mAh y 5 V. Ni para la carga de condensador de menor capacidad que requiere de 10 μF y 6 V.

5. RECOMENDACIONES

- Como parte de la etapa de la elección del sistema de captación de energía, se puede usar como ventaja la combinación y complementación de diversas fuentes de captación de energía para una mayor generación de energía limpia. También, en caso de contar con un buen presupuesto, se podrían emplear sensores de naturaleza piezoeléctrica y componentes electrónicos profesionales de alta calidad.
- Antes de empezar con la investigación, se desconocían los materiales y sustancias químicas que se utilizaron para la fabricación de los sensores piezoeléctricos. Es importante que, para posteriores investigaciones, se utilicen sensores artificiales sin plomo o sin otras sustancias dañinas para el medio ambiente y las personas involucrados en su fabricación.
- Revisar las hojas de especificaciones de los sensores piezoeléctricos antes de trabajar con ellos, al igual que de los componentes electrónicos.

REFERENCIAS

- Ahmad, R., y Hashim, M. H. (2011). Development of energy harvesting device using piezoelectric material. *2011 Fourth International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICMSAO.2011.5775592>
- Dewangan, S. K., y Dubey, A. (2017). Design and implementation of energy harvesting system using piezoelectric sensors. *International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2017*, 598-601. <https://doi.org/10.1109/ICCONS.2017.8250532>
- Fan, K., Liu, Z., Liu, H., Wang, L., Zhu, Y., y Yu, B. (2017). Scavenging energy from human walking through a shoe-mounted piezoelectric harvester. *Applied Physics Letters*, 110(14). <https://doi.org/10.1063/1.4979832>
- Fernández Galeano, A. E. (2018). Estudio de sensores piezoeléctricos en aplicaciones de medición de fuerza (tesis de grado). Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Valencia, España. Recuperada de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/111211/Fern%C3%A1ndez%20-%20Estudio%20de%20sensores%20piezoel%C3%A9ctricos%20en%20aplicaciones%20de%20medici%C3%B3n%20de%20fuerza.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Fluke Corporation. (2020). ¿Qué es la capacitancia? Recuperado de <https://www.fluke.com/es-pe/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-mediciones/electricidad/que-es-la-capacitancia>

- Jiménez Martínez, F. J., de Frutos, J., Alonso, D., y Vázquez, M. (2015). Optimización de piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de *energy harvesting*. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 54(6), 247-253. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2015.09.001>
- Maiwa, H. (2016). Piezoelectric energy harvesting. En T. Ogawa (Ed.), *Piezoelectric Materials*. <https://doi.org/10.5772/64162>
- Mezei, F. (2011). Basics concepts. En T. Imae, T. Kanaya, M. Furusaka y N. Torikai (Eds.), *Neutrons in soft matter*. <https://doi.org/10.1002/9780470933886.ch1>
- Palomino Vera, K. A. (2016). *Prototipo generador de energía eléctrica por el uso de una bicicleta elíptica para la iluminación de un ambiente de deporte* (tesis de grado). Universidad Tecnológica del Perú. Recuperada de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/237>
- Sepúlveda Orozco, E. (2014). *Diseño de un colector de energía piezoeléctrico (energy harvesting) mediante optimización topológica que maximice la transformación de energía mecánica en eléctrica generada por un ser humano al caminar* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperada de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52878>
- Twenergy. (2019). Almacenamiento de energía. ¿Qué son los supercondensadores y cuáles son sus aplicaciones? Recuperado de <https://twenergy.com/eficiencia-energetica/almacenamiento-de-energia/supercondensadores-que-son-aplicaciones/>
- Vishay Semiconductors. (2020). High Intensity LED, Ø 5 mm Clear Package. Recuperado de <https://www.vishay.com/docs/83004/tldr5800.pdf>
- Xie, L., y Cai, M. (2015). An in-shoe harvester with motion magnification for scavenging energy from human foot strike. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 20(6) <https://doi.org/10.1109/TMECH.2015.2428618>

AUTORES

SISTEMA INFORMÁTICO PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN MICRO Y PEQUEÑAS EMPRESAS DE CONFECCIONES

MARÍA DEL ROCÍO ÁVILA GONZALES DE TRINIDAD

Ingeniería industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Maestra en Ciencias con mención en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional de Ingeniería. Docente universitaria. Experiencia en grandes empresas de exportación en el rubro de confecciones y asesora de medianas y pequeñas empresas del mismo rubro.

PROCEDIMIENTO PARA GESTIONAR EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN EL SECTOR DE ALIMENTOS EN EMPRESAS CUBANAS

MARÍA DE LOS ÁNGELES CAMPOS FERNÁNDEZ

Ingeniera industrial y Máster en Ingeniería Industrial, mención producción, por la Universidad de Las Tunas, Cuba. Profesora asistente del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Las Tunas. Cuenta con nueve años de experiencia. Estudiante de doctorado en Ciencias Técnicas en la especialidad de Ingeniería Industrial. Cuenta con publicaciones relacionadas con la gestión de la producción y organización del trabajo.

ALEXEY MEGNA ALICIO

Licenciado en Educación, especialidad Física, por la Universidad de Ciencias Pedagógicas "Pepito Tey" de Las Tunas. Doctor en Ciencias Pedagógicas por la misma universidad. Profesor-investigador de la Universidad de Las Tunas. Profesor titular del Departamento de Ingeniería Industrial y Turismo, de la misma universidad. Ha dirigido investigaciones y proyectos sobre la gestión de la innovación y la tecnología, la gestión de los procesos

universitarios y la gestión turística y la formación de docentes e ingenieros. Es miembro del claustro de varias maestrías y programas de doctorados y coordinador del comité académico de la Maestría en Ingeniería Industrial en la Universidad de Las Tunas. Tiene varios libros y artículos publicados sobre estas temáticas.

GEINIER RAMÍREZ CAMEJO

Ingeniero industrial y Máster en Administración de Negocios por la Universidad de Las Tunas, Cuba. Profesor asistente y jefe del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Las Tunas. Cuenta con doce años de experiencia. Estudiante de doctorado en Ciencias Técnicas en la especialidad Ingeniería Industrial.

REDUCCIÓN DEL MANEJO DE MATERIALES EN LÍNEA EN UNA ENSAMBLADORA DE AUTOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE *LEAN MANUFACTURING*

ANTONIO HUERTA ESTÉVEZ

Ingeniero industrial por el Instituto Tecnológico de Veracruz. Maestro en Ciencias de la Administración por la Universidad de las Naciones. Con certificaciones en sistemas MTM, MTM2 y AUS, además de ser un Green Belt en *lean manufacturing* y Six Sigma. Tiene el Reconocimiento de Profesores de Tiempo Completo (PRODEP) Perfil Deseable. Profesor de tiempo completo y jefe de proyectos de investigación en el Departamento de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Veracruz.

PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA PLANEACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE PRODUCCIÓN DE UNA EMPRESA

AILEN ESTEVEZ-TORRES

Ingeniera industrial y Máster en Ingeniería Industrial, mención producción, por la Universidad de Las Tunas, Cuba. Profesora asistente del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Las Tunas. Cuenta con cuatro años de experiencia. Estudiante de doctorado en Ciencias Técnicas, especialidad Ingeniería Industrial. Cuenta con publicaciones relacionadas con la gestión de la producción, organización del trabajo, gestión de la calidad y mercadotecnia.

ALEXEY MEGNA-ALICIO

Licenciado en Educación, especialidad Física, por la Universidad de Ciencias Pedagógicas "Pepito Tey" de Las Tunas. Doctor en Ciencias Pedagógicas por la misma universidad. Profesor-investigador de la Universidad de Las Tunas. Profesor titular del Departamento

de Ingeniería Industrial y Turismo, de la misma universidad. Ha dirigido investigaciones y proyectos sobre la gestión de la innovación y la tecnología, la gestión de los procesos universitarios y la gestión turística y la formación de docentes e ingenieros. Es miembro del claustro de varias maestrías y programas de doctorados y coordinador del comité académico de la Maestría en Ingeniería Industrial en la Universidad de Las Tunas. Tiene varios libros y artículos publicados sobre estas temáticas.

RAFAEL EDUARDO JARDINES-RIVAS

Licenciado en Economía de la Industria y Máster en Desarrollo Sociocultural Comunitario por la Universidad de Las Tunas. Con experiencia laboral de más de cuarenta años, veinticinco de ellos en el Ministerio del Trabajo y once en la Universidad de Las Tunas. Vinculado al sistema empresarial en la formación de especialistas en los puestos de trabajo. Con publicaciones como "Competencias laborales en instituciones del turismo en Las Tunas" y "Procedimiento para el diagnóstico de la productividad del trabajo en la empresa de producciones metálicas", ambas en la *Revista Directivo Al Día*, Cuba.

ISABEL CRISTINA PARRA-GARCÍA

Ingeniero industrial y Máster en Ingeniería Industrial, con mención en calidad, por la Universidad de Las Tunas, doctorando en Ciencias Técnicas en la especialidad de Ingeniería Industrial. Profesora auxiliar de la Universidad de Las Tunas, con nueve años de experiencia como docente e investigadora. Cuenta con varias publicaciones en la *Revista Ingeniería Industrial, Pasos y Directivo Al día*, Cuba.

EDUARDO LEÓN-PARRA

Ingeniero industrial y Máster en Ingeniería Industrial, con mención en producción, por la Universidad de Las Tunas. Coordinador de la Carrera Ingeniería Industrial, doctorando en Ciencias Técnicas en la especialidad de Ingeniería Industrial. Profesor auxiliar de la Universidad de Las Tunas.

GIANNY JIMENEZ-SILVA

Ingeniero industrial y Máster en Ingeniería Industrial, con mención en producción, por la Universidad de Las Tunas. Profesor de logística y cadena de suministro con más de cinco años de experiencia en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Las Tunas.

ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD DEL SELLADO EN VIALES UTILIZADOS EN EMPRESAS BIOTECNOLÓGICAS

EDISBEL MUÑOZ GONZÁLEZ

Ingeniero mecánico por la Universidad Tecnológica de La Habana. Máster en Ingeniería y Gerencia del Mantenimiento por la Universidad Tecnológica de La Habana. Autor de publicaciones en revistas indexadas en diferentes bases de datos. Participó en eventos internacionales. Con experiencia laboral por dieciocho años ininterrumpidos en el sector biotecnológico.

ANTONIO ENRIQUES GASPAR

Ingeniero mecánico por la Universidad Tecnológica de La Habana. Máster en Ingeniería y Gerencia del Mantenimiento otorgado por la Universidad Tecnológica de La Habana. Autor de múltiples publicaciones en revistas indexadas en diferentes bases de datos. Asesor de tesis de cursos para ingenieros mecánicos. Ha participado en eventos internacionales y proyectos de transferencia tecnológicas para diferentes países en la rama de la biotecnología. Experiencia laboral por veinticinco años ininterrumpidos en una empresa biotecnológica con la categoría de tecnólogo de segundo nivel.

ARMANDO DÍAZ CONCEPCIÓN

Ingeniero mecánico por la Universidad Tecnológica de La Habana. Máster en mecánica en la especialidad de mantenimiento otorgado por la Universidad Tecnológica de La Habana. Doctor en Ciencias en la especialidad de confiabilidad operacional otorgado por la Academia de Ciencias de Cuba. Cuenta con publicaciones en revistas indexadas en diferentes bases de datos. Autor de libros y monografías. Asesor de tesis de más de ocho investigaciones de maestría. Con participación en múltiples eventos internacionales. Autor de tres patentes, le han conferido diferentes premios y condecoraciones denotándose el premio de la Academia de Ciencias de Cuba. Experiencia laboral por veintidós años ininterrumpidos en un centro de investigación y doce años como profesor en la Universidad Tecnológica de La Habana y, actualmente, director del Centro de Estudios de Ingeniería y Mantenimiento.

ABEL CRUZ BAYO

Ingeniero mecánico por la Universidad Tecnológica de La Habana. Máster en Ingeniería y Gerencia del Mantenimiento por la Universidad Tecnológica de La Habana. Autor de múltiples publicaciones en revistas indexadas en diferentes bases de datos. Participó en eventos internacionales. Experiencia laboral por nueve años ininterrumpidos en el sector biotecnológico. Actualmente, ocupa el cargo de director del Departamento de Ingeniería, con la categoría de tecnólogo de primer nivel.

ALEXEI FERNÁNDEZ DURAND

Ingeniero mecánico por la Universidad Tecnológica de La Habana. Experiencia laboral por dieciséis años en un centro de investigación, además de desempeñarse como profesor en la Universidad Agraria de La Habana. Desde hace cuatro años trabaja en el Centro Nacional de Biopreparados y, actualmente, es director de Logística del mismo. Ha participado en eventos internacionales.

**SELECCIÓN DE PROVEEDORES BAJO UNA ESTRATEGIA DE ABASTECIMIENTO
MÚLTIPLE EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA**

VERÓNICA AÍDA MORTARA

Ingeniera electricista por la Universidad Nacional de Mar del Plata, con posgrado de Especialización en Administración de Negocios por la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Profesor adjunto con dedicación exclusiva en funciones docentes y de investigación perteneciente al grupo Gestión de la Innovación Tecnológica y Economía del Conocimiento del Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Docencia en las asignaturas Investigación Operativa y Organización y Dirección Industrial III en las carreras de Ingeniería Informática e Industrial. Autora de artículos en eventos científicos y publicaciones en revistas. Directora y evaluadora de trabajos finales de grado.

LUCIANA BELÉN TABONE

Ingeniera industrial por la Universidad Nacional de Mar del Plata, con posgrado de Especialización en Gestión de la Innovación y Tecnología por la Universidad Nacional de Mar del Plata. Jefe de Trabajos Prácticos con dedicación exclusiva en funciones docentes y de investigación perteneciente al grupo Gestión de la Innovación Tecnológica y Economía del Conocimiento del Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Docencia en las asignaturas Investigación Operativa y Organización y Dirección Industrial II en las carreras de Ingeniería Informática e Industrial. Autora de artículos en eventos científicos y publicaciones en revistas. Directora y evaluadora de trabajos finales de grado.

ESTUDIOS DE LÍNEA BASE EN CAPTACIÓN DE SEMILLA, CULTIVO Y PERLICULTURA EN LA OSTRÁ PERLERA ALADA *PTERIA STERNA* (GOULD 1851) EN LA COSTA DE PIURA, PERÚ

DANIEL ROJAS HURTADO

Ingeniero Pesquero por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Maestría en Tecnología de Alimentos por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Docente asociado de la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Representante del Gobierno peruano en la 24 Reunión del Comité del CODEX sobre Pescado y Productos Pesqueros, celebrada en Alesund, Noruega. Especialista en el procesamiento de nuevos productos alimenticios y de productos hidrobiológicos (platos preparados congelados, brochetas de moluscos con vegetales, etc.).

MARIO MONTEFORTE SÁNCHEZ

Oceanólogo con especialidad en Oceanografía Biológica por la Universidad Autónoma de Baja California, México. Maestría (DEA) y doctorado en Oceanografía Biológica por la Université Paris VI, Francia. Doctorado de Escuela en Ecología Marina por la École Pratique des Hautes Études, París. Doctorado PhD en Ciencias Biológicas por la Universidad de La Habana, Cuba. Investigador titular de tiempo completo en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (La Paz, BCS, México) adscrito al Programa de Acuacultura. Autor o coautor de 65 publicaciones, 13 capítulos en libros, 5 libros, una patente y un centenar de exposiciones en congresos. Ha sido responsable de 16 proyectos científicos/tecnológicos con financiamiento nacional e internacional, 14 de ellos exitosamente culminados.

REGINA MACHADO BAZALAR

Bachiller en Ciencias Pesqueras por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Realizó labores de supervisión y mantenimiento en la alimentación, reproducción inducida, incubación de huevos y larvas de paco, gamitana, pacotana y boquichico. Además del monitoreo y evaluación de parámetros de calidad de agua en FUDECRAAP, así como en la supervisión, control y mantenimiento del sistema acuapónico para el cultivo de lechugas acuapónicas y tilapia gris ubicado en el Centro de Investigación Piscícola (CINPIS). Cuenta con publicaciones como "Caracterización física de sólidos particulados producidos en el cultivo de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) para optimizar su remoción en un sistema de producción acuapónico" y "Efecto del alimento en el tamaño, peso y apariencia del pez ángel (*Pterophyllum scalare*)".

FERNANDO ALEXIS FERNANDINI VALDEZ

Ingeniero pesquero por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Licenciado en Ciencias del Mar por la Universidad Católica del Perú. Participó como coordinador en el Proyecto potenciador de larvas de concha de abanico y fotobiorreactor para la producción de microalgas usadas en la alimentación de larvas de concha de abanico. Proyecto de cultivo de concha perlera para la producción de perlas y sus derivados, y crianza experimental para determinar la factibilidad técnica del cultivo de concha de abanico *Argopecten purpuratus* en el sistema de cultivo Loop Coord o Ear Hanging en la bahía de Lobitos, Talara, Piura. Se desempeña como gerente del Acuario Mundo Hippocampus, Piura.

DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ARTESANAL DE PRODUCCIÓN DE HILO DE FIBRA DE ALPACA EN PUNO, PERÚ**BERTHA DÍAZ-GARAY**

Doctora en Ciencias Contables y Empresariales por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, magíster en Administración por la Universidad del Pacífico e ingeniero químico por la Universidad Nacional de Ingeniería. Con especialización internacional en Gestión de la Innovación por la Universidad ESAN de Perú, así como en Design Thinking y Transformación Digital por MIT Executive Education, EE. UU. Profesora principal e investigadora de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima. Coautora de obras como *Manual para el diseño de instalaciones manufactureras y de servicios*, *Mejora continua de los procesos: herramientas y técnicas*, *Disposición de planta*, *La calidad total en la empresa peruana - Proceso, resultado y perspectivas*, *Técnicas para el estudio del trabajo*.

ROSA PATRICIA LARIOS-FRANCIA

Ingeniera industrial por la Universidad de Lima, con especialización internacional en Gestión de la Innovación por ESAN y La Salle Universidad Ramón Llull. Candidata a Doctor en Gestión Estratégica, con mención en gestión empresarial y sostenibilidad por el Consorcio de Universidades, Maestría en Ingeniería Industrial, con mención en planeamiento y gestión empresarial por la Universidad Ricardo Palma. Docente en la carrera de Ingeniería Industrial e investigadora por la Universidad de Lima en las líneas de gestión de mipyme, clúster, innovación, textil-confecciones y sostenibilidad. Miembro de los comités técnicos de normalización de gestión de aseguramiento de calidad; gestión de investigación, desarrollo tecnológico e innovación; gestión de mipyme; textiles-confecciones y secretaria de SCTN de Confecciones de INACAL. Miembro del clúster de moda sostenible.

WILFREDO HERNÁNDEZ GORRITTI

Ingeniero químico, egresado de la Universidad Nacional de Trujillo, con estudios de Maestría en Química, otorgado por la Universidad Nacional de Ingeniería-Lima, y estudios de Doctorado en Química, otorgado por la Universidad de Chile. Ha desempeñado el cargo de coordinador de la Maestría en Química en la Facultad de Ciencias y desarrollado la labor académica en la Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad de Ingeniería. Además, ha dictado cátedra en el Departamento de Química Orgánica y en la Unidad de Postgrado de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El trabajo de investigación que desarrolla está relacionado a la búsqueda de nuevos materiales bio-inorgánicos y bio-orgánicos de actividad biológica.

RAFAEL CHÁVEZ UGAZ

PhD (c) por la Universidad Pablo de Olavide, España. Maestría en Administración Estratégica de Empresas por CENTRUM Católica. MBA en General and Strategic Management por la Maastricht School of Management de Holanda. Ingeniero industrial por la Universidad de Lima. Experiencia profesional en gestión de operaciones, gestión comercial y de servicios, en organizaciones del sector farmacéutico, telecomunicaciones, retail y Gobierno. Especializado en estrategia y mejora empresarial. Consultor organizacional y profesor asociado con quince años de experiencia en ingeniería y negocios. Asesor de tesis de investigación académica en Ingeniería Industrial. Coautor e investigador.

CARLOS ALBERTO GÁLVEZ ZÁRATE

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima, magíster en Administración por la Universidad ESAN, con estudios de doctorado en Ciencias Administrativas por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Docente con más de dieciséis años de experiencia como catedrático de posgrado y pregrado en diferentes universidades del Perú; actualmente, es profesor de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Lima y asesor de tesis. Ejecutivo con experiencia en la industria manufacturera y de la construcción en las áreas de operaciones, logística-almacenes, aseguramiento de la calidad y en proyectos de gran envergadura en las áreas de seguridad y salud en el trabajo, medio ambiente y responsabilidad social, a través del empleo de los sistemas integrados de gestión.

ANDRÉS CONDORI TICONA

Médico veterinario y zootecnista por la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú. Con Maestría en Ganadería Andina, especialista en Producción Animal. Especialización profesional en formulación, evaluación y gestión de proyectos de inversión pública, así mismo con diplomado en Gestión Empresarial. Experiencia laboral de treinta años en

diversas instituciones públicas y privadas en áreas rurales a nivel regional, nacional y el extranjero, asesoramiento y acompañamiento a mypes, expositor en cursos de capacitación, seminarios, ponencias, paneles y seminarios interactivos en temas de producción pecuaria y gestión empresarial. Actualmente, se desempeña como director ejecutivo del Centro de Innovación Tecnológica de los Camélidos Sudamericanos Región Puno.

TEODOSIO HUANCA MAMANI

Doctor en Investigación, en Medicina y Sanidad Veterinaria por la Universidad de Santiago de Compostela, España; Maestría en Producción y Reproducción Animal por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; médico en Veterinaria y Zootecnia por la Universidad Nacional del Altiplano. Investigador reconocido internacionalmente con la calificación Carlos Monge Medrano Nivel III, en el área de medicina veterinaria y zootecnia, director de la Estación Experimental Agraria EEA - Puno del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA); jefe del Programa Nacional de Investigación en Camélidos Sudamericanos. Experto en camélidos sudamericanos. Ha desarrollado y colaborado en la generación de múltiples tecnologías, donde ha generado una serie de protocolos para hacer viable esta tecnología, la cual contrasta con su basta publicación de manuales, guías, artículos técnicos y más de setenta artículos científicos en revistas nacionales e internacionales. Gran difusor de tecnologías innovadoras en camélidos, también se desempeñaba como juez principal en las más importantes ferias ganaderas a nivel nacional. Su pericia profesional y valiosas experiencias en la especialidad, las transmitió en sus clases como docente invitado de la escuela de posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano en Puno.

IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS ACTIVOS DE LA MASHUA NEGRA (*TROPAEOLUM TUBEROSUM*) Y EL EFECTO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA MIX DE MASHUA CON PIÑA

OSIRIS FELICIANO-MUÑOZ

Maestro en Ciencias en Proyectos de Inversión y segunda especialización en formulación y evaluación de proyectos de inversión por la Universidad Nacional de Ingeniería. Ingeniero industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con experiencia docente desde 1977 en la UNMSM. Docente de posgrado en la Universidad Nacional de Ingeniería (1988-1989). Consultor de proyectos en la OMS-CEPIS (1985-1986). Algunas de sus publicaciones son artículos en revistas científicas como *Industrial Data*, "El oro azul (H₂O)" (2014) y "Estudio del consumo de azúcares reductores durante la fermentación alcohólica del mosto de uva Italia para la obtención del vino blanco" (2016); y en *Theorema*, "Diseño de un ordenador que funcione con energía fotovoltaica" (2016).

ROBERTO ROBLES-CALDERÓN

Ingeniero químico por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con estudios de posgrado: Especialidad en Ingeniería Química por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Docente actual en la misma universidad desde 2011. Director del Instituto Superior Tecnológico Público de Purús-Ucayali, 2009. Docente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huánuco. Cuenta con diploma de reconocimiento otorgado por la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, por capacitación en el proyecto para establecer un piloto de investigación para la producción de ron a partir del jugo de caña de azúcar. Cuenta con publicaciones como “Estudio de consumo de azúcares reductores durante la fermentación alcohólica del mosto de uva Italia para la obtención de vino blanco”, “Análisis fisicoquímico de la cabuya azul” y “El maíz morado como materia prima industrial”.

JAQUELINE HEIDY CHIRRE-FLORES

Ingeniería Petroquímica por la Universidad Nacional de Ingeniería, Maestría en Ingeniería Química por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Con experiencia como docente en el nivel superior de la Facultad de Ciencias en la Universidad Privada del Norte desde el 2020. Además, ha laborado en el área de ingeniería en empresas privadas de la industria química, petroquímica, análisis y procesos industriales. Cuenta con publicaciones como: “Estudio de la biodegradación de residuos de aceite lubricante retenidos en bentonita usando el consorcio bacteriano *oil eating microbes (Rodhococcus, Pseudomonas y Bacillus)*”.

OSCAR SANTISTEBAN-ROJAS

Químico farmacéutico por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con segunda especialidad en Tecnología Educativa por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Estudios de posgrado en Educación en el Nivel Superior, Gerencia de Servicios de Salud-MINSA, Toxicología. Experiencia docente en el nivel superior desde 1989, Facultad de Farmacia de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Ha laborado en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad Nacional del Callao, Universidad Científica del Sur, Universidad Alas Peruanas, Universidad de los Andes, en cursos de química general, orgánica, bioquímica, analítica, instrumental, química de alimentos, toxicología de alimentos. Publicó en coautoría el artículo “Extracción y microencapsulación de compuestos antioxidantes de la semilla de *Oenocarpus bataua Mart*”.

JOSÉ CARLOS FELICIANO-NISHIKAWA

MBA en Negocios por China Europe International Business School. Con estudios de posgrado en Emprendimiento y Negocios en Asia por la Universidad de Michigan (EE. UU.). Ingeniero industrial por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Director de Seed International China, empresa con sede en Beijing, dedicada al turismo educativo y a programas de capacitación internacional. Nombrado “Joven Sinólogo” por el Ministerio de Cultura de la República Popular China y la Academia de Ciencias Sociales de China. Docente de cursos de innovación y negocios internacionales en la Pontificia Universidad Católica del Perú y Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Cuenta con publicaciones como el libro *Programa de formación de jóvenes sinólogos* (2017, Zhengzhou, Beijing). Desarrolló el capítulo “Reflexiones acerca de China y Latinoamérica”, bajo la iniciativa “Una Franja, Una Ruta”, del Ministerio de Cultura de la República Popular China.

WALTER DIMAS FLOREZ-PONCE DE LEÓN

Ingeniero químico por la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, con doctorado en Ciencias Químicas por la Universidad San Agustín de Arequipa. Actualmente, se desempeña como docente en la Universidad Nacional Jorge Basadre Graman de Tacna (UNJBG). Director de Investigación de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna. Cuenta con investigaciones orientadas al medio ambiente y el desarrollo sostenible, y de manera particular a la agricultura sostenible. Ha dirigido diversos proyectos de investigación y cuenta con publicaciones en dicha área.

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA PIEZOELÉCTRICA CON APLICACIÓN EN PLANTILLAS DE CALZADO DEPORTIVO**FIAMA VANESSA NORABUENA ALIAGA**

Egresada de la Carrera de Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Trabajó en proyectos de investigación sobre tratamiento de agua y economía circular en el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima. Formó parte del desarrollo del artículo científico “Cellulosa microfibras obtained from agro-industrial tara waste for dye adsorption in water”.

**INFORMACIÓN
PARA LOS COLABORADORES
Y NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN
DE TRABAJOS**

Desde 1992, la revista *Ingeniería Industrial* de la Universidad de Lima tiene como objetivo central difundir los resultados de las investigaciones, así como brindar información técnica y científica relativa a dicha rama de la ingeniería. Está dirigida a empresarios de todos los sectores productivos, a docentes y a estudiantes de la especialidad.

Se encuentra indexada en Latindex (www.latindex.org) y en Redalyc, así como en las bases de datos de Dialnet (<http://dialnet.unirioja.es/>) del Centro de Información Tecnológica (<http://www.citrevistas.cl>) y en DOAJ.

1. GENERALIDADES

Esta revista publica tanto trabajos de investigación como de divulgación, que se incluyen en una de las cinco secciones que le dan forma: "Gestión de la Producción", "Calidad y Medioambiente", "Ingeniería de Negocios", "Proyectos Empresariales Industriales" y "Ciencia y Tecnología".

Los trabajos a presentar deben ser inéditos, de indudable aporte científico y no haber sido propuestos para su publicación simultánea en otro medio. Por ello se acepta la colaboración de investigadores y profesionales de la ingeniería y de los negocios que deseen participar en sus páginas. Pueden enviar por vía electrónica sus avances de investigación, artículos, estudios o ensayos acompañados de una carta simple en la cual se haga explícita la cesión de derechos a favor del Fondo Editorial de la Universidad de Lima, para que los publique en soporte impreso o digital.

Las colaboraciones deben estar redactadas con claridad y coherencia, respetando las normas básicas de la ortografía española. Estas deben cumplir con las siguientes características:

Se procesarán en Microsoft Word, en formato simple (una columna), tipografía Times New Roman, en 12 puntos, con espacio y medio de interlínea, el texto justificado y con el margen superior de 3 cm, el inferior de 2,5 cm, el izquierdo de 3 cm y el derecho de 2 cm.

En caso de usar tablas o figuras, estas deben presentarse en orden correlativo, con un título que las describa y la mención de la fuente. Su presentación debe corresponder al estilo APA. Para facilitar su diagramación se deben entregar de la siguiente manera:

- Fotos: en formato .jpg o .tiff con una resolución de 300 pixeles por pulgada.
- Figuras: archivo original en el cual fueron elaboradas.
- Tablas: de ser colocadas como imagen en el documento, enviar archivo original en Microsoft Excel.

Los envíos se realizarán a nombre de María Teresa Noriega Aranibar, editora de la revista, al correo electrónico manorieg@ulima.edu.pe. De existir algún inconveniente, se pueden enviar por correo ordinario, en versiones impresa y digital, a la siguiente dirección: Revista Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Av. Manuel Olguín 125, Lima 33, Perú, o al apartado postal 852, Lima 100, Perú.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA COLABORACIÓN PARA EL ENVÍO

- **Título** (en español e inglés): el título debe reflejar el contenido del trabajo. Debe ser conciso y solo se escribirán con mayúsculas las iniciales de la primera palabra y de los nombres propios.
- **Resumen** (en español e inglés): los resultados de investigaciones deben presentar resúmenes que contengan el objetivo, la metodología y las conclusiones en una extensión de entre 50 y 70 palabras. Si se trata de artículos de divulgación, deben proporcionar una reseña del trabajo.
- **Palabras clave** (en español e inglés): se debe proporcionar una relación de entre cuatro y siete palabras o frases clave, para facilitar la búsqueda en los bancos de información.
- **Contenido**: las colaboraciones tendrán una extensión de 10 páginas como mínimo y 25 como máximo. Cada inciso (subtítulo) debe diferenciarse claramente mediante dígitos.

Para incluir citas se usará la forma autor, año, siguiendo el estilo APA.

- **Referencias bibliográficas**: deben aparecer al final del artículo en orden alfabético y siguiendo el estilo APA.

3. HOJA DE VIDA (RESUMEN)

En no más de seis líneas, el colaborador debe indicar sus grados o títulos académicos, el nombre de la institución de afiliación y el país, el cargo que ocupa o la función que desempeña;

sus publicaciones, si las tuviera, y su dirección electrónica, con el fin de incluir estos datos donde corresponda.

4. PROCESO DE ARBITRAJE Y EVALUACIÓN EXTERNA

El editor de la revista revisa el artículo y, si cumple con las pautas básicas editoriales, lo envía a un árbitro (evaluador externo experto en el tema del artículo) bajo la modalidad de doble ciego, quien revisará el contenido del artículo, lo evaluará y determinará si se publica sin ningún cambio, con cambios sustanciales, pero aprobado en una segunda edición, o si no se publica.

El Comité Evaluador tendrá un plazo de quince días hábiles para presentar su informe de evaluación. En el caso de que los artículos se devuelvan al autor con cambios sugeridos o sustanciales, se requerirá una segunda revisión, para ello el árbitro contará con un plazo de diez días hábiles para emitir su opinión.

Finalizado su trabajo, el Comité Editorial de la revista se reserva el derecho de recomendar o no su publicación, dando aviso a los autores sobre su decisión.



Sistema informático para la planificación de la producción en micro y pequeñas empresas de confecciones

Procedimiento para gestionar el sistema de producción en el sector de alimentos en empresas cubanas

Reducción del manejo de materiales en línea en una ensambladora de autos mediante la aplicación de *lean manufacturing*

Propuesta de un procedimiento para la planeación de las capacidades de producción de una empresa

Análisis de la integridad del sellado en viales utilizados en empresas biotecnológicas

Selección de proveedores bajo una estrategia de abastecimiento múltiple en una empresa metalmecánica

Estudios de línea base en captación de semilla, cultivo y perlicultura en la ostra perlera alada *Pteria sterna* (Gould 1851) en la costa de Piura, Perú

Diagnóstico del proceso artesanal de producción de hilo de fibra de alpaca en Puno, Perú

Identificación de los principios activos de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y el efecto del proceso de elaboración de una bebida mix de mashua con piña

Estudio de la viabilidad técnica de un sistema de captación de energía piezoeléctrica con aplicación en plantillas de calzado deportivo