

INGENIERÍA INDUSTRIAL





UNIVERSIDAD
DE LIMA

41

FONDO
EDITORIAL

Revista de la Facultad de
Ingeniería y Arquitectura

Diciembre
2021

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial

Revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura
de la Universidad de Lima
Carrera de Ingeniería Industrial
Núm. 41, diciembre 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>
Marcos Leandro Silva Oliveira (Universidad de la Costa, Colombia)
<https://orcid.org/0000-0002-7771-5085>

© 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

Fabiola Sánchez Galván	(Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, México)
Jesús María López Lezama	(Universidad de Antioquia, Colombia)
Marco Henrich Saavedra	(Universidad de Lima, Perú)
Ludym Jaimes Carrillo	(Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia)
Edmundo Lizarzaburu Bolaños	(Universidad ESAN, Perú)
Nathalia Chaparro Hernández	(Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia)
Jorge Guzman Bautista	(Universidad Nacional de Barranca, Perú)
Gustavo Illescas	(Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina)
Lady Infante Acosta	(Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú)
David Moreno Rendón	(Universidad de Medellín, Colombia)
Rafael Villamizar Vargas	(Universidad del Quindío, Colombia)

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	9
FOREWORD	11
GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN / PRODUCTION MANAGEMENT	
Comparación del desempeño de modelos teóricos de inventarios individuales y multiproducto en una pyme distribuidora de productos de consumo masivo a nivel regional	15
<i>Julián Garzón Quiroga, Adriana Isabel Linares Vanegas</i>	
Optimización de parámetros con enjambre de partículas en un molde de colada continua	29
<i>Yordy González Rondón, José Eduardo Rengel Hernández, Johnny Martínez Rizales</i>	
Evaluación higiénica de riesgos físicos en el sector maderero del Ecuador	49
<i>Roberto Barragán Monroy, Betty Gonzalez Osorio, Kimberly Capa Salazar</i>	
Análisis del proceso de producción de una línea de componentes de turbinas de avión	69
<i>Rafael Granados Gil, Ileana Monsreal Barrera, Juan José Barrera Gutiérrez</i>	
CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE / QUALITY AND ENVIRONMENT	
Evaluación de la motivación en el sistema de gestión de calidad en Peruvian Glass S.A.	93
<i>Nancy Georgina Torres Zavala, Luz Eufemia López Ráez</i>	
Study of the Most Valuable Researcher: Bibliometric Indicators and Collaboration Networks	117
<i>Camilo Peña Ramírez, Leonardo Concha, Eric Forcael, Gonzalo Garcés</i>	

INGENIERÍA DE NEGOCIOS / BUSINESS ENGINEERING

Evaluación de la cadena de valor de la producción del aceite de palta peruana y propuestas competitivas 139

Ana María Quiroz Ostos

Determinación y diseño de indicadores de gestión para la industria del calzado como herramientas para evaluar la rentabilidad 165

Inés Villafana

PROYECTOS EMPRESARIALES INDUSTRIALES / INDUSTRIAL BUSINESS PROJECTS

Viabilidad tecnológica de la instalación de una planta productora de una bebida a partir de algarrobo (*Prosopis pallida*), tarwi (*Lupinus mutabilis*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) en el Perú 187

Maggie Lalesca Manrique Pasión, Rocío del Pilar Valverde Moreno, Rafael Villanueva Flores

CIENCIA Y TECNOLOGÍA / SCIENCE AND TECHNOLOGY

Simulation of an Advanced Geothermal Energy Conversion Plant in Perú 205

Sofía Chauca Paredes, Graciela Rojas García, George Power Porto

Revisión de literatura sobre el aprovechamiento de la semilla de mango para la extracción de aceite y sus potenciales aplicaciones en diversas industrias 223

Antonio Martín Córdova Córdova, Carlos Héctor Mendoza Mendoza

AUTORES 257

INFORMACIÓN PARA LOS COLABORADORES Y NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS 267

PRESENTACIÓN

La sociedad se encuentra frente a una industria muy dinámica, un avance tecnológico que es parte del día a día de las empresas. Este crecimiento tecnológico se convierte en un factor fundamental en el desarrollo económico de los países y las regiones, de manera que permite que las empresas sean más eficientes para crear un mayor valor en sus productos y servicios.

Es tal la importancia y la velocidad del crecimiento tecnológico que las instituciones deben volcar sus conocimientos y esfuerzos para democratizar la tecnología difundiendo sus investigaciones en favor de la sociedad.

De esta manera, presento a la comunidad científica la edición n.º 41 de la revista *Ingeniería Industrial*, publicación indexada de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima, lo que reafirma nuestro compromiso con el desarrollo y difusión de la investigación.

En esta oportunidad la revista *Ingeniería Industrial* presenta una serie de artículos relacionados con la planeación y mejora de procesos en el sector aeronáutico, alimentos, textil y calzado, así como modelos de simulación en pymes, simulación de una planta de conversión de energía geotérmica, análisis de riesgos físicos en los procesos productivos, optimización de parámetros en el acero, estudio de indicadores bibliométricos, todos resultado de investigaciones profesionales de nivel internacional.

Agradezco a los autores, al equipo revisor y al editor sin cuyo apoyo no hubiera sido posible la elaboración de la presente revista.

Ruth Vásquez Rivas Plata
Directora

FOREWORD

Society is facing a very dynamic industry, a technological advance that is part of the day-to-day life of companies. This technological growth becomes a fundamental factor in the economic development of countries and regions, allowing companies to be more efficient, thus creating greater value in their products and services.

Such is the importance and speed of technological growth that institutions must turn their knowledge and efforts to democratize technology by disseminating favorable research to society.

In this way I present to the scientific community, the 41st edition of the *Industrial Engineering Journal*, an indexed publication of the Industrial Engineering Career of the University of Lima, which reaffirms our commitment to the development and dissemination of research.

This time the *Industrial Engineering Journal* presents a series of articles related to the planning and improvement of processes in the aeronautical, food, textile and footwear sectors, as well as simulation models in SMEs, simulation of a geothermal energy conversion plant, analysis of physical risks in production processes, optimization of parameters in steel production, and a study of bibliometric indicators; the result of professional research at international level.

I want to thank the authors, reviewer team and editor, without whose support the preparation of this journal would not have been possible.

Ruth Vásquez Rivas Plata
Director

**GESTIÓN
DE LA PRODUCCIÓN**

Production Management

COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE MODELOS TEÓRICOS DE INVENTARIOS INDIVIDUALES Y MULTIPRODUCTO EN UNA PYME DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS DE CONSUMO MASIVO A NIVEL REGIONAL*

JULIÁN GARZÓN QUIROGA**

<https://orcid.org/0000-0003-2080-9352>

ADRIANA ISABEL LINARES VANEGAS**

<https://orcid.org/0000-0003-2043-3463>

Centro de Comercio y Servicios, Servicio Nacional de Aprendizaje, Ibagué, Colombia

Recibido: 1 de marzo del 2021 / Aprobado: 25 de marzo del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.4993>

RESUMEN: En este artículo se consolidan los resultados de la simulación de modelos teóricos de gestión de inventarios individuales y multiproducto. El objetivo es comparar el desempeño en costo y nivel de servicio de los modelos propuestos para los productos más importantes de una pyme regional comercializadora de productos de consumo masivo. Los modelos de gestión de inventarios individuales evaluados fueron el modelo (Q, R) para los productos A y el modelo (R, s, S) para los productos B. Además, se evaluó un modelo de revisión periódico multiproducto por proveedor. Al comparar los resultados de los modelos evaluados se encontró que el modelo de revisión periódico multiproducto presentaba menores costos en seis de los ocho proveedores evaluados. El resultado de este trabajo es una fuente de información relevante para determinar la metodología de gestión de inventarios que puede implementar la compañía.

PALABRAS CLAVE: gestión de inventarios / simulación / nivel de servicio

* Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación final de la versión publicada.

** Correos electrónicos: julian.garzon@misena.edu.co; adriana.linaresv@gmail.com

COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF THEORETICAL MODELS OF INDIVIDUAL AND MULTIPRODUCT INVENTORIES IN AN SME DISTRIBUTOR OF MASS CONSUMER PRODUCTS AT THE REGIONAL LEVEL

ABSTRACT: This article consolidates the simulation results of theoretical models of individual and multiproduct inventory management. Its objective is to compare the cost and service level performance of the models proposed for the most important products of a regional SME marketer of consumer products. The individual inventory management models evaluated were the model (Q, R) for products A and (R, s, S) for products B. In addition, a multiproduct periodic review model per supplier was evaluated. When comparing the results of the evaluated models, it was found that the multi-product periodic review model presented lower costs in six of the eight suppliers evaluated. The result of this work is a source of relevant information to determine the inventory management methodology that the company can implement.

KEYWORDS: inventory management / simulation / service level

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas buscan, de manera permanente, estrategias para diferenciar sus productos de la competencia. En el entorno empresarial se reconoce la importancia de la logística para generar valor al cliente, si se tiene en cuenta que las actividades vinculadas con el movimiento y almacenaje de productos generan un valor tan indudable como las actividades relacionadas con la fabricación y venta del producto. Según Ballou (2004), en la composición de los costos logísticos organizacionales, el 48 % corresponde a costos de almacenamiento, planeación y mantenimiento de inventarios. Según la Encuesta Nacional Logística presentada por el DNP (2018) en Colombia, durante el 2018 el costo logístico promedio, como porcentaje de las ventas, fue del 13,5 %, de lo cual el 46,5 % corresponde a costos relacionados con el almacenamiento. Actualmente la empresa objeto de estudio determina las cantidades a pedir basada en la experiencia e intuición del gerente, quien además toma la decisión a partir de un valor sugerido (promedio de meses anteriores) que le arroja el sistema para cada producto y las condiciones de negociación ofrecidas por los proveedores. Esta estrategia de compra le genera a la empresa unidades faltantes de los productos de alta rotación.

La administración y control de los inventarios tiene un fuerte impacto en las distintas áreas del negocio, particularmente en las de producción y finanzas (Heizer y Render, 2004). Una de las principales funciones de los inventarios es proteger a la empresa de las fluctuaciones de la demanda por medio del mantenimiento del inventario de seguridad. Además, en algunos casos, el adquirir mayores cantidades para inventario permite aprovechar los descuentos por cantidad brindados por los proveedores (Ballou, 2004). Desde el estudio de Gutiérrez y Vidal (2008), que presenta una revisión de los modelos de gestión para el diseño de políticas de inventarios de productos terminados y de materias primas en cadenas de abastecimiento, se evidencia el gran interés de la comunidad científica en el tema y su relevancia en el ámbito académico. Con el fin de mejorar los procesos de aprovisionamiento y manejo de inventarios, se han realizado múltiples investigaciones en donde se han aplicado diversas herramientas matemáticas, estadísticas y de ingeniería para mejorar este proceso.

Para productos de demanda independiente se han propuesto tanto modelos de gestión de inventarios para un solo producto, así como modelos multiproducto. Respecto a los modelos individuales, se observan aplicaciones de modelos teóricos para demanda probabilística, tales como el modelo de revisión periódica (R, S). Por ejemplo, en el estudio de Gutiérrez-González *et al.* (2013), se propuso la aplicación de este modelo para un transformador cuya demanda se ajustaba a una distribución de probabilidad Gamma. Para determinar el nivel de inventario S se utilizó la función de distribución acumulada y, al evaluar el desempeño del modelo, se evidenció una disminución en las penalizaciones por faltantes. En el trabajo de Pérez-Vergara *et al.* (2013) se propuso de igual manera este sistema, por ofrecer flexibilidad en el proceso de implementación

y seguimiento. La implementación piloto incrementó el nivel de servicio y mejoró las utilidades. En el estudio de Escobar *et al.* (2017) se aplicó un modelo de gestión de inventarios (s, S) en el marco de una metodología basada en una Simulación Montecarlo; el objetivo fundamental fue encontrar la política de inventario con *stock* de seguridad para un modelo probabilístico que maximizara la utilidad diaria esperada, considerando que los productos eran perecederos y, por lo tanto, solo podían estar almacenados por un número determinado de días.

Con respecto a los modelos multiproducto, Valencia-Cárdenas *et al.* (2016) estimaron las predicciones de ventas de tres productos de una estación de servicios de gasolina usando una regresión lineal bayesiana. Díaz-Batista y Pérez-Armayor (2012) estudiaron la optimización de inventarios conjuntos suministrador-comprador, comparándolos con las políticas tradicionales no colaborativas, y encontraron ventajas del enfoque colaborativo en los costos totales de inventario en la cadena, particularmente porque en un entorno justo-a-tiempo el comprador requiere recibir envíos pequeños y frecuentes, lo que resulta en bajos costos de mantener el inventario para éste. González (2020) desarrolló una metodología para la gestión de los inventarios orientada a la estrategia competitiva de la empresa en ambientes multiproducto y con variabilidad en la demanda. La metodología propuesta se estructuró en cuatro etapas: identificar la estrategia de la empresa con relación a los niveles de servicio, clasificación de los productos de acuerdo con criterios concordantes con la estrategia de la empresa, pronóstico de la demanda teniendo en cuenta la variabilidad de la demanda y selección de una política de inventario acorde con las necesidades de la estrategia competitiva de la empresa, como la política de revisión periódica multiproducto.

Este trabajo presenta la simulación de políticas de gestión de inventarios individuales y multiproducto, con el fin de comparar su desempeño en los indicadores de costo y nivel de servicio para los productos más importantes de una pyme regional comercializadora de productos de consumo masivo. Su principal contribución es la evaluación y comparación práctica del desempeño de los modelos teóricos de gestión de inventarios en una empresa regional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación es de naturaleza cuantitativa, puesto que se analizaron datos de este tipo para simular los modelos de inventarios teóricos. Las fuentes de información para el desarrollo de los modelos fueron: un informe de ventas mensuales generadas del periodo enero 2015-julio 2016 en dinero y unidades, así como el informe consolidado de costos operativos de la bodega en el mismo periodo. Además, se entrevistó al personal vinculado con el fin de validar las consideraciones que se tuvieron en cuenta para la definición de costos, estimación de la demanda y construcción de los modelos.

2.1 Proceso de la simulación

Se simuló para cada producto estratégico (productos clasificados en las categorías A y B en la clasificación ABC) los modelos de gestión de inventarios individuales que se presentan en la tabla 1. Para las referencias tipo A se estableció que el sistema de revisión continua podía adaptarse mejor a las características de esta clase de productos. En este sistema de control continuo se hace revisión del nivel de inventario cada vez que hay una transacción de salida. Si el nivel de inventario efectivo cae al punto de reorden R , o por debajo de él, se ordena una cantidad fija Q . Por otro lado, para las referencias de producto clase B se propuso la evaluación de un sistema de revisión (R, s, S) , el cual consiste en que cada R intervalos de tiempo se revisa el nivel del inventario. Si éste es menor o igual que el punto de reorden s , se emite un pedido por una cantidad tal que el inventario efectivo se recupere hasta un nivel máximo S . Si el nivel de inventario efectivo es mayor que s , no se ordena cantidad alguna hasta la próxima revisión que tendrá lugar en R unidades de tiempo.

Además, se simuló un modelo de revisión periódico multiproducto por proveedor, puesto que pocos proveedores concentraban una porción importante de los productos estratégicos. Se valoró este escenario porque, en muchos casos, pedir múltiples artículos al mismo tiempo y en el mismo pedido puede dar como resultado ganancias económicas, como calificar para descuentos por precio y cantidad o satisfacer las cantidades mínimas del vendedor, de la compañía de transportes o de producción, de manera que la política de inventario debería reflejar pedidos conjuntos (Banks *et al.*, 2010). La política de pedido conjunto implica determinar un tiempo de revisión del inventario común para todos los artículos pedidos conjuntamente, y luego hallar el nivel máximo de cada artículo (M) según se impone a partir de sus costos y nivel de servicio particulares (Ballou, 2004).

Tabla 1
Modelos teóricos de gestión de inventarios simulados

Clasificación	Políticas de gestión de inventarios individuales
A - NS: 99 %	Revisión continua individual (Modelo Q, R)
B - NS: 97 %	Sistema híbrido individual (modelo R, s, S)
AB	Modelo de revisión periódico multiproducto

Fuente: Ballou (2004)

Los modelos se simularon en Microsoft Excel en unidad de tiempo diaria, incluyendo los siguientes ítems para todos los modelos (véase la tabla 2):

- a. **Inventario inicial:** cantidad disponible al inicio del periodo.
- b. **Posición inicial del inventario:** corresponde a las cantidades disponibles contabilizando los pedidos pendientes por llegar.
- c. **Demanda:** se estimó el valor demanda a partir de un número aleatorio que se genera teniendo en cuenta la demanda mínima y máxima diaria documentada. Estos valores fueron validados con el personal de la empresa.
- d. **Inventario final:** cantidades disponibles luego de descontar la demanda.
- e. **La posición final del inventario** es la diferencia entre la posición inicial del inventario y la demanda.
- f. **La cantidad a ordenar** corresponde a las cantidades que se van a pedir al proveedor dependiendo del modelo que se aplica.
- g. **El tiempo de entrega** es un número aleatorio que se genera teniendo en cuenta los días mínimos y máximos de entrega de los pedidos por parte del proveedor.
- h. **Los pedidos pendientes** corresponden al acumulado de las cantidades que ya se ordenaron, pero no han sido recibidas.
- i. **La cantidad recibida** corresponde al pedido ordenado al proveedor de acuerdo con el tiempo de entrega.
- j. **Los faltantes** corresponden a las cantidades de producto de demanda que no fueron cubiertas con el inventario existente. Se calcula como la diferencia entre la demanda y el inventario inicial.

Se calcularon las medidas de desempeño de costos (almacenar, ordenar y faltantes) y nivel de servicio tipo I y tipo II. Los modelos se compararon a partir del análisis de las medidas de desempeño. En la simulación se generaron 3000 datos iniciales de calentamiento del modelo con el fin de lograr la estabilización, luego se simularon 3000 datos que se usaron para la recolección de la información de salida. Finalmente se hicieron 300 réplicas de cada modelo de donde se calcularon los indicadores de desempeño.

Tabla 2
Ejemplo simulación sistema de revisión continua referencia clase A

Día	Inventario Inicial	Posición inicial inventario	Demanda	Inventario final (neto)	Posición final del inventario	Cantidad a ordenar	Tiempo de entrega	Pedidos pendientes	Cantidad recibida	Faltantes
0	1450	1450	680	770	770	1450	8	1450	0	0
1	770	2220	601	169	1619	1450	8	2900	0	0
2	169	3069	523	0	2546	1450	8	4350	0	354
3	0	4350	695	0	3655	1450	9	5800	0	695
4	0	5800	680	0	5120	1450	11	7250	0	680
5	0	7250	669	0	6581	0	-	7250	0	669
6	0	7250	522	0	6728	0	-	7250	0	522
7	0	7250	665	0	6585	0	-	7250	0	665
8	3685	6585	622	3063	5963	0	-	2900	4350	0
9	4513	5963	693	3820	5270	0	-	1450	1450	0
10	3820	5270	585	3235	4685	1450	15	2900	0	0

Elaboración propia

Parámetros de entrada

Los costos de gestión de inventarios se estimaron así:

- Costo de mantener unidades en el inventario: Se procedió a realizar la recolección de los costos relacionados con el mantenimiento del inventario en el informe de costos entregado, para estimar un costo por unidad en un periodo de tiempo. El costo de oportunidad se definió sobre el inventario promedio anual, con un costo financiero que incluyó la tasa DTF en la fecha estipulada más 6 puntos porcentuales. No se hizo diferenciación en la estimación del costo por producto debido a que en general todos los productos se almacenan en la misma unidad de carga y no se consideraron requerimientos especiales individuales.
- Costo de ordenar: Se identificaron los rubros asociados con las actividades relacionadas con la gestión de una orden de pedido. Se supone que toda orden requiere de los mismos recursos, independiente de a qué proveedor se haga o las unidades que se soliciten.
- Costo de compra: Los costos de compra de cada producto no fueron entregados por la compañía. El gerente de la compañía informó que, en general, el margen de ganancia era del 20 %, por lo que el costo de compra se determinó a partir de este parámetro y los valores de ingreso disponibles.
- Costo de faltantes: El costo de faltantes no está estimado en la compañía. En la simulación, el costo de faltantes se estimó como el 40 % del costo de compra, representando el dinero que se deja de percibir, debido a que la unidad no está disponible cuando se requiere.

Con respecto a los parámetros de cada uno de los modelos evaluados, en la tabla 3 se consolidan las fórmulas usadas para establecer estos parámetros:

3. RESULTADOS

En la tabla 4 se presentan los resultados consolidados de los modelos de simulación de revisión continua para los productos tipo A. Los resultados obtenidos permiten evidenciar que, con los parámetros de entrada del sistema de revisión continua Q y R, las referencias de producto de la clase A cumplen el nivel del servicio deseado. Los costos totales anuales promedio varían entre 20 millones y 29 millones aproximadamente.

Tabla 3
Parámetros de modelos de revisión simulados

Modelo de revisión	Parámetros
Modelo de revisión continua (Q,R)	Cantidad a ordenar: Q $Q = \sqrt{\frac{2OD}{h}}$ Donde O es el costo de ordenar, D es la demanda anual promedio y h es el costo anual de mantener una unidad en el inventario.
	Punto de reorden: R $R = dL + IS$ Donde d es la demanda promedio del producto, L es el tiempo de reposición del inventario una vez realizada la orden e IS es el inventario de seguridad calculado como $Zs\sqrt{L}$, en donde Z es el valor de una distribución normal estandarizada acumulada, teniendo en cuenta el nivel de servicio deseado, y $s\sqrt{L}$ es la desviación de la demanda en el tiempo de entrega del proveedor.
Modelo de revisión híbrido (R, s, S)	Tiempo de revisión: Parámetro definido por la empresa
	Punto de reorden: s $s = dl + Zs\sqrt{l}$ Donde d es la demanda promedio del producto, l es el tiempo de reposición del inventario una vez realizada la orden e IS es el inventario de seguridad calculado como $Zs\sqrt{L}$, en donde Z es el valor de una distribución normal estandarizada acumulada, teniendo en cuenta el nivel de servicio deseado, y $s\sqrt{L}$ es la desviación de la demanda en el tiempo de entrega del proveedor.
	Inventario objetivo: S $S = d(l + R) + Zs\sqrt{(l + R)}$ Donde d es la demanda promedio del producto, l es el tiempo de entrega, Z es el valor de z en la tabla de distribución normal acumulada y s la desviación estándar de la demanda. El valor de R es el tiempo fijo de revisión presentado previamente.
Modelo de revisión periódica multiproducto	Periodo de revisión fijo Parámetro definido por la empresa
	Inventario objetivo por producto: $Si = di(l + R) + Zisi\sqrt{l + R}$ Donde di es la demanda promedio de cada producto, l es el tiempo de entrega del proveedor y R el periodo de revisión definido previamente. Además, Zi es el valor de Z asociado con el nivel de servicio individual de cada producto y S su desviación estándar individual.

Elaboración propia

Tabla 4
Resultados indicadores de desempeño sistema revisión continua

Referencia producto	Q	R	NS I	NS II	Costo total promedio anual
40160	1450	5124	100 %	100 %	\$ 25 214 604
10050	450	5498	99,9 %	99,9 %	\$ 29 471 897
10053	680	4800	99,9 %	99,9 %	\$ 26 277 093
500070	2960	3890	99,4 %	99,9 %	\$ 20 343 937

Elaboración propia

En la tabla 5 se consolidan los resultados de la aplicación del modelo multiproducto para el proveedor 1. Con un tiempo de revisión de cinco días y el inventario objetivo definido se garantizan los niveles de servicio deseados. Este patrón de cumplimiento de los niveles de servicio deseados se mantiene para todos los proveedores evaluados.

Tabla 5
Modelo periódico multi-producto proveedor 1

Referencia producto	S	Costo total de manejo de inventarios anual	NSI individual	NSII individual
30000	412	2 857 950	99,44 %	99,77 %
30054	1 489	8 959 483	99,7 %	99,99 %
30062	715	5 070 287	97,92 %	99,65 %
30343	248	4 333 264	97,79 %	98,79 %
30402	284	2 534 530	99,37 %	99,59 %
30450	319	5 328 094	98,64 %	99,26 %
TOTAL		29 083 608		

Elaboración propia

En la tabla 6 se consolidan los resultados agregados para las 32 referencias de productos de la clase B, una vez simulados los sistemas individuales del modelo híbrido definido, con un tiempo de revisión de cinco días. Los resultados obtenidos muestran que, con los parámetros de entrada del sistema de revisión híbrido R, s y S, las referencias de producto de la clase B cumplen el nivel de servicio equivalente al 97 % con unos costos individuales para todos los productos por debajo de 28 millones.

Finalmente, en la tabla 7 se presentan las referencias de producto agrupadas por proveedor, detallando los costos totales promedio obtenidos en la simulación de un sistema individual y el sistema multiproducto. Como se observa, en seis de los ocho

Tabla 6
Resultados indicadores de desempeño sistema híbrido

Referencia producto	s	S	NS I	NS II	Costo total promedio anual	Referencia producto	s	S	NS I	NS II	Costo total promedio anual
10791	500	600	99,9	99,9	\$ 5 362 085	40676	50	98	98,3	98,4	\$ 3 893 285
30000	410	650	99,9	99,9	\$ 4 497 768	80214	149	269	99,9	99,9	\$ 2 056 266
30002	742	870	99,5	99,7	\$ 5 654 151	80217	173	229	99,8	99,8	\$ 2 118 122
30054	979	1456	99,3	99,8	\$ 10 011 318	80222	514	618	98,7	99,7	\$ 3 728 014
30062	499	713	100	99,9	\$ 5 127 683	80231	318	499	99,6	99,8	\$ 3 748 221
30343	298	582	100	99,9	\$ 5 995 044	150000	2 900	3 250	100	99,9	\$ 6 554 753
30402	248	369	99,5	99,6	\$ 3 519 508	150010	1 980	2 910	100	99,9	\$ 9 682 184
30450	250	341	99,5	99,7	\$ 4 444 126	150172	203	337	99,2	99,4	\$ 4 578 031
40161	720	835	99,7	99,9	\$ 5 226 345	150173	190	290	99,8	99,8	\$ 4 011 773
40167	720	835	99,7	99,9	\$ 3 228 208	150176	190	300	99,7	99,8	\$ 4 004 298
40673	20	27	97,7	98,0	\$ 1 687 351	150183	180	215	100	100	\$ 3 632 427
40674	142	167	99,8	99,9	\$ 3 913 649	210004	1 613	1 743	99,6	99,8	\$ 8 425 636
210016	5350	3870	100	99,9	\$ 27 677 831	350001	690	900	99,8	99,9	\$ 10 184 208
250000	250	350	100	99,9	\$ 5 770 961	350050	220	280	100	99,9	\$ 5 395 949
250002	250	320	100	100	\$ 5 955 012	360154	807	935	100	99,9	\$ 9 039 399
300001	387	435	99,7	99,9	\$ 6 368 787	500070	2 960	3 890	99,4	99,8	\$ 20 343 937

Elaboración propia

proveedores evaluados se obtienen menores costos asociados con el manejo de inventarios cuando se utiliza un sistema multiproducto, puesto que este sistema permite tener ahorros en los costos de ordenar al agrupar varias referencias de producto de un mismo proveedor.

Tabla 7
Comparación de costos totales entre un sistema multiproducto y los sistemas individuales

Proveedor	Producto	Costo promedio total (\$) Sistema multiproducto	Costo promedio total (\$) Sistema individual
Proveedor 1	30000	2 857 950	4 497 768
	30054	8 959 483	10 011 318
	30062	5 070 287	5 127 683
	30343	4 333 264	5 995 044
	30402	2 534 530	3 519 508
	30450	5 328 094	4 444 126
Total		29 083 608	33 595 447
Proveedor 2	30002	5 575 408	5 654 151
	40160	31 594 447	25 214 604
	40161	5 220 342	5 226 345
	40167	3 328 781	3 228 208
	40673	1 157 968	1 687 351
	40674	4 205 586	3 913 649
40676	2 535 648	3 893 285	
Total		50 296 693	48 817 593
Proveedor 3	150000	6 084 201	6 554 753
	150010	8 658 243	9 682 184
	150172	3 564 042	4 578 031
	150173	3 448 250	4 011 773
	150176	3 389 903	4 004 298
	150183	2 081 005	3 632 427
Total		24 457 739	32 463 466
Proveedor 4	210004	8 421 442	8 425 636
	210016	24 261 495	27 677 831
Total		32 129 356	36 103 467

(continúa)

(continuación)

	10050	33 722 092	29 471 897
Proveedor 5	10053	31 561 652	26 277 093
	10 791	5 133 577	5 362 085
Total		69 310 160	61 111 075
	250000	3 801 128	5 770 961
Proveedor 6	250002	3 667 495	5 955 012
Total		6 915 042	11 725 973
	80214	1 708 043	2 056 266
	80217	1 926 147	2 118 122
Proveedor 7	80222	3 632 014	3 728 014
	80 231	2 981 021	3 748 221
Total		8 586 482	11 650 623
	350001	10 113 035	10 184 208
Proveedor 8	350050	3 891 751	5 395 949
Total		13 451 205	15 580 157

Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

En este artículo se compara el desempeño de modelos teóricos de gestión de inventarios individuales y multiproducto. Los modelos teóricos de gestión de inventarios son una herramienta que facilita la toma de decisiones en microempresas distribuidoras con limitada información disponible. Las propuestas evaluadas en este trabajo generan escenarios que permiten reducir los faltantes de los productos más importantes de la compañía, puesto que se obtienen niveles de servicio promedio superiores al valor deseado.

Teniendo en cuenta que la distribuidora maneja alta variedad de productos concentrados en pocos proveedores la estrategia de revisión periódica multiproducto generó menores costos en seis de los ocho proveedores al compararla con modelos de gestión de inventarios individuales. Esta estrategia es de fácil aplicación en la distribuidora y permite disminuir los costos de ordenar al consolidar varios productos en una sola orden.

Los aportes más importantes generados por este estudio se desarrollaron en los aspectos metodológicos y prácticos para la toma de decisiones en la distribuidora. Como aspecto metodológico, los autores resaltan el proceso diseñado para planear la gestión de inventarios en una distribuidora de consumo masivo con limitada información

documentada. Los modelos de simulación propuestos son una herramienta que facilita la toma de decisiones, pues se pueden utilizar para evaluar diversos escenarios, dado que están diseñados para que se ajusten a diferentes parámetros de entrada sin cambiar elementos del modelo.

REFERENCIAS

- Ballou, R. (2004). *Logística: Administración de la Cadena de Suministro* (5.ª ed.). Pearson, Prentice Hall.
- Banks, J., Carson, J., y Nelson, B. (2010). *Discrete-Event System Simulation* (5.ª ed.). Pearson Education, Inc.
- Departamento Nacional de Planeación - DNP. (2018). *Encuesta Nacional Logística*. Punto-aparte. <http://www.andi.com.co/Uploads/Encuesta%20Nacional%20Log%C3%ADstica%202018.pdf>
- Díaz-Batista, J. A., y Pérez-Armayor, D. (2012). Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministro. *Ingeniería Industrial*, 33(2), 126-132.
- Escobar, J., Linfati, R., y Adarme, W. (2017). Gestión de inventarios para distribuidores de productos perecederos. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 219-239.
- González, A. (2020). Un modelo de gestión de inventarios basado en estrategia competitiva. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(1), 133-142.
- Gutiérrez, V., y Vidal, C. J. (2008). Modelos de gestión de inventarios en cadenas de abastecimiento: revisión de literatura. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (43), 134-149.
- Gutiérrez-González, E., Panteleeva, O., Hurtado-Ortiz, M., y González-Navarrete, C. (2013). Aplicación de un modelo de inventario con revisión periódica para la fabricación de transformadores de distribución. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 14(4), 537-551.
- Heizer, J., y Render, B. (2004). *Principios de Administración de Operaciones*. Pearson Education.
- Pérez-Vergara, I. C.-L., Vásquez-García, C., y Marcela-Ocampo, D. (2013). Un modelo de gestión de inventarios para una empresa de productos alimenticios. *Ingeniería Industrial*, 34(2), 227-236.
- Valencia-Cárdenas, M., Díaz-Serna, F., y Correa-Morales, J. (2016). Multi-Product Inventory Modeling with Demand Forecasting and Bayesian Optimization. *DYNA*, 83(198), 235-243.

OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS CON ENJAMBRE DE PARTÍCULAS EN UN MOLDE DE COLADA CONTINUA*

YORDY GONZÁLEZ RONDÓN**

<https://orcid.org/0000-0002-4769-7568>

Universidad de Oriente, Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas, IIBCAUDO "Dra. Susan Tai", Cumaná, Estado Sucre, Venezuela.

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Departamento de Mecánica, Barcelona, Estado Anzoátegui, Venezuela

JOSÉ EDUARDO RENGEL HERNÁNDEZ*

<https://orcid.org/0000-0002-4510-8846>

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Departamento de Mecánica, Barcelona, Estado Anzoátegui, Venezuela

JOHNNY MARTÍNEZ RIZALES*

<https://orcid.org/0000-0001-8901-9303>

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Departamento de Mecánica, Barcelona, Estado Anzoátegui, Venezuela

Recibido: 22 de febrero del 2021 / Aprobado: 11 de mayo del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5100>

RESUMEN: Con la finalidad de ajustar en el molde de colada continua los parámetros que influyen en la aparición de defectos en el acero, se ha desarrollado un algoritmo de optimización por enjambre de partículas (PSO), haciendo uso de modelos de procesos. El estudio consideró múltiples objetivos con múltiples restricciones y los resultados fueron comparados con los reportados por un algoritmo de optimización basado en enseñanza-aprendizaje (TLBO). Se concluyó que el PSO tiene buena capacidad para determinar los parámetros del molde y, con él, es posible conseguir una solución óptima sin requerir grandes esfuerzos computacionales.

PALABRAS CLAVES: optimización de parámetros / colada continua / enjambre de partículas, metaheurísticas / molde de colada

* Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación final de la versión publicada.

** Correos electrónicos: yordygonzalez@hotmail.com; rengel66@gmail.com; johnnymartinr@hotmail.com

PARAMETER OPTIMIZATION WITH PARTICLE SWARM IN A CONTINUOUS CAST MOLD

ABSTRACT: To adjust the parameters that influence the appearance of defects in the steel in the continuous casting mold, a particle swarm optimization algorithm (PSO) was developed using process models. The study considered multiple objectives with multiple restrictions and the results were compared with those reported by a teaching-learning-based optimization algorithm (TLBO). We conclude that the PSO has a good capacity to determine the parameters of the mold, and with it, it is possible to achieve an optimal solution without requiring great computational efforts.

KEYWORDS: parameter optimization / continuous casting / particle swarm / metaheuristics / casting mold.

1. INTRODUCCIÓN

El primer paso para lograr la transformación masiva del arrabio en acero lo dio el inglés Henry Bessemer en 1855 (Calvo, 2006; Mannheim, 1983; Najera, 2010). Mucho más tarde en Europa, en los años cincuenta del siglo xx, en un intento por incrementar la producción de acero se desarrolló el proceso de colada continua (PCC) (Flores, 2010). Se denominó continua porque permite la solidificación del metal líquido en un tiempo muy corto y el retiro inmediato del molde (Coley, 2010; Kumar, 2015). La ventaja más importante del proceso es la regularidad (Aballe, 1992), pues con ella se ha conseguido, en las últimas décadas, grandes avances en la producción (Cruz *et al.*, 2007; Hahn *et al.*, 2012), al igual que su consumo (Saldaña *et al.*, 2019).

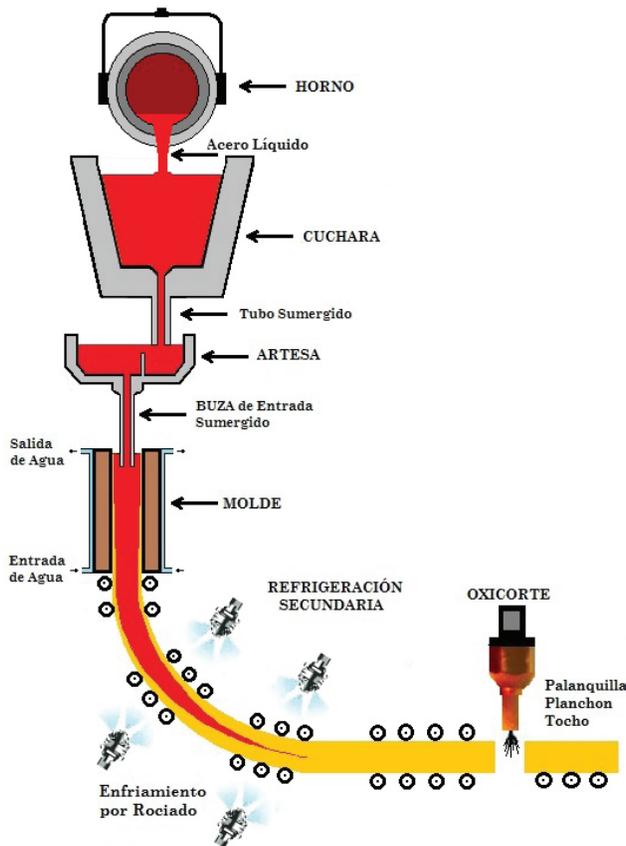


Figura 1. Proceso de la colada continua del acero (PCC)

Elaboración propia

En la figura 1 se muestra el PCC; este se inicia cuando la cuchara recibe acero líquido proveniente del horno de arco eléctrico o bien del convertidor (Romo, 2009); allí se almacena y luego se introduce en una artesa con la finalidad de ser homogenizado (Calvo, 2006). Posteriormente se deja fluir a través de una boquilla de entrada sumergida (BES) hacia un molde de cobre de alta pureza, de 10 a 20 mm de espesor (Kumar, 1996), con longitud de 500 a 800 mm (Romo, 2009), sin fondo y enfriado por agua (Belisario, 2011; Romo, 2009). El acero líquido se solidifica por el contacto con las paredes del molde refrigerado, formando una costra que durante su evolución se contrae y forma separaciones intermitentes con las paredes (Najera, 2010). Para evitar que la costra se adhiera al molde se utilizan movimientos oscilatorios y para disminuir la fricción se agregan polvos de fundición por la parte superior del molde, que con el avance del fundido se infiltra entre el molde y la costra de acero solidificado (Kumar, 1996; Romo, 2009). El polvo, durante su descenso, forma una película de escoria líquida y una capa de escoria sólida de 0,1 mm y 2 mm de espesor, respectivamente. Estos espesores interfieren en el flujo de calor extraído por el molde (Cicutti, 1977; Mills *et al.*, 2014). El proceso continúa con la salida de la pieza por la parte inferior del molde, alcanzando un espesor de 12 a 25 mm, lo suficientemente fuerte para evitar desgarros y roturas debido a la presión ferrostática (Chang y Bolsaitis, 1982; Cruz *et al.*, 2007). La pieza se enfriará en la zona de enfriamiento secundario con agua pulverizada y aire. El PCC finaliza cuando el producto es cortado por medio de sistema oxicorte en planchones, palanquillas o tochos (Chang y Bolsaitis, 1982; Cicutti, 1977; Kumar, 2015; Najera, 2010).

El objetivo principal del PCC es extraerle calor al acero líquido en un tiempo muy corto (Cicutti, 1977; Najera, 2010), y de todos los elementos que lo conforman, el molde es el más importante (Najera, 2010; Romo, 2009), porque allí debe lograrse (a) un ajuste adecuado de los parámetros que definen la formación de una costra solidificada con características específicas y (b) condiciones adecuadas en los fenómenos de transferencia de calor y flujo de fluidos (Adilson *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2017), por el impacto en el origen de defectos en el acero como marcas, segregación, grietas, inclusiones, entre otros (Adilson *et al.*, 2018; Hahn *et al.*, 2012). Estos defectos influyen en las propiedades mecánicas del acero y, para disminuirlos, se deben ajustar los parámetros operacionales (Aballe, 1992; Hahn *et al.*, 2012) y vencer las principales dificultades que son: adaptar una velocidad de colada a la velocidad de solidificación y establecer las condiciones de enfriamiento y lubricación en el molde (Najera, 2010).

Concast Data Sheets (1992), basado en literaturas y datos de la industria, describió que los defectos en la colada continua se deben en un 16 % a prácticas de fundición defectuosas, el 29 % a las malas condiciones de la máquina, el 38 % al mal ajuste en los valores de los parámetros del proceso, y el 17 % a la composición química del acero. Estos resultados demuestran que para obtener productos de acero con buena calidad (mínimos defectos) es necesario conseguir los mejores ajustes en los parámetros que

intervienen en el molde. Es común que en las plantas de fundición se utilice el método de prueba y error para determinar los parámetros, pero este procedimiento requiere de la inversión de largos periodos de trabajo experimental, que traen como consecuencia pérdidas de tiempo y dinero (Venkata *et al.*, 2014). Por lo antes expuesto, en esta investigación se plantea el uso de una metaheurística de optimización para ajustar los parámetros de la zona del molde, entre las más conocidas se tiene (a) la optimización por enjambre de partículas "PSO" (Kennedy y Eberhart, 1995; Kennedy *et al.*, 2001), perteneciente a la familia de los algoritmos bioinspirados (Bäck, *et al.*, 1997; Stephan y Zomaya, 2005), (b) los algoritmos evolutivos (Bäck *et al.* 1997), (c) las colonias de hormigas (Dorigo, 2000), y (d) la optimización basada en enseñanza-aprendizaje (Rao, *et al.* 2011; 2012; Rao y Patel, 2012). En la búsqueda de antecedentes sobre la aplicación de estas técnicas en el proceso de colada continua, se tiene a Yu y Luo (2017) quienes presentaron un algoritmo de evolución diferencial para estimar los coeficientes de transferencia de calor en una palanquilla de acero. Wang *et al.* (2019) presentaron un método de solución en paralelo de dos niveles para identificar los coeficientes de transferencia de calor usando el PSO. Wang, *et al.* (2016) presentaron un método para predecir el comportamiento de transferencia de calor en el enfriamiento secundario, haciendo uso del PSO. Wang *et al.* (2020) propusieron un algoritmo de optimización mejorado mediante enjambre de partículas para la distribución del agua de enfriamiento en la zona secundaria. Li y Zang (2021) diseñaron un algoritmo de optimización inteligente que combinó PSO y red neuronal para establecer un modelo de predicción de defectos comunes en la colada continua. Luo *et al.* (2017), presentaron un enfoque que integró la función Gaussian Kernel (GK) y el PSO para la estimación de los coeficientes de transferencia de calor en el PCC. Feng *et al.* (2020), optimizaron los parámetros de un controlador difuso mediante el uso de un algoritmo PSO. García Nieto *et al.* (2018), presentaron un novedoso algoritmo híbrido, que combinó la técnica PSO para predecir la segregación en losas de acero mediante colada continua. Venkata *et al.* (2014), demostraron la aplicabilidad del TLBO en el ajuste de parámetros en el molde de colada continua de acero e hicieron referencia al método de optimización por recocido simulado (SA). Es de notar que en la zona de enfriamiento secundario del proceso de colada continua de acero se ha estudiado la optimización de parámetros, pero en la zona del molde no se ha prestado suficiente atención; además, no se ha encontrado gran aplicabilidad de la técnica de enjambre de partículas PSO sobre el ajuste de los parámetros del molde, que pudieran minimizar la aparición de ciertos defectos en el acero. En este sentido, la presente investigación plantea el desarrollo de un algoritmo PSO en Fortran 90, para determinar los valores adecuados de ciertos parámetros en el molde del PCC, que guardan relación con la aparición de algunos defectos. En el procedimiento se consideran los criterios descritos por Kulkarni y Subash Babu (2001, 2003, 2005; Venkata *et al.* (2014), y se espera que con los resultados se valide la aplicabilidad y eficiencia del PSO en el molde de colada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente artículo trata de una investigación aplicada, que tiene como propósito encontrar estrategias, a partir de conocimientos teóricos, para generar conocimiento práctico. En este sentido se hace una descripción de los pasos que se han aplicado para la optimización de los parámetros del molde de colada continua, empleando el método de enjambre de partículas.

2.1 Condiciones del molde para una fundición sin defectos

Conocer los modelos que involucran las variables del molde de colada continua es fundamental para determinar el ajuste en los parámetros del proceso. Kulkarni y Babu (2001) desarrollaron un sistema integrado que consta de metamodelos, que resultó ser útil, preciso y al mismo tiempo muy eficiente, ya que requería tratar pocas ecuaciones. Kulkarni y Babu (2003) desarrollaron un sistema integrado que consta de modelos de proceso; este sistema resultó ser importante para comprender y analizar el sistema de colada continua. Kulkarni y Babu (2005) presentaron una serie de características relacionadas con la calidad, así como algunas condiciones del proceso relacionadas con las características y parámetros relacionados con la condición de qué influyen en los defectos. Con base en estos estudios, en este trabajo se han identificado diez condiciones principales que relacionan los parámetros del molde, tal como se describen en la tabla 1. Es importante resaltar que las condiciones descritas en la tabla 1 deben cumplir con las restricciones, porque de no ser así, la probabilidad de aparición de defectos en el acero aumentará, razón por la que en este trabajo se busca satisfacer todas las restricciones.

2.2 Función de pérdida en las condiciones del molde

Luego de seleccionar las expresiones involucradas en el molde, es necesario adoptar funciones de pérdida en cada una de las condiciones de la tabla 1. Para éstos es importante que cada expresión involucre una medida de indeseabilidad para cuantificar el cumplimiento de la condición. La función de pérdida correspondiente a la condición, tomará el valor de uno (1) si las magnitudes de los parámetros involucrados en las expresiones hacen que el valor de la restricción se acerque a los extremos. Y la indeseabilidad total será la suma de las indeseabilidades individuales. Bajo este método, la calidad del producto se verá afectada cuando no se cumplan las condiciones.

Tabla 1

Condiciones para una fundición sin defectos

Condiciones	Expresiones	Restricciones
Viscosidad óptima del fundente en función de la velocidad de colada	ηV_c	$1 \leq C_1 \leq 3$
Relación óptima entre temperatura de solidificación y viscosidad del fundente	$T_{sol}/\eta^{0,0472}$ $T_{sol}/\eta^{0,072}$	$1125 \leq C_2 \leq 1175$ $1025 \leq C_2 \leq 1050$
Consumo óptimo del polvo en el molde	$Q = 1,801 - 0,2461V_c - 0,044\eta - 0,00107T_{sol}$	$0,15 \leq C_3 \leq 0,45$
Relación entre los parámetros y el consumo óptimo del polvo en el molde	$Q = 0,74(2/s)^{0,3}(60/f)[\eta(V_c)^2]^{-0,5} + 0,17$ $Q = 0,70(2/s)^{0,3}(60/f)[\eta(V_c)^2]^{-0,5} + 0,22$	$0,15 \leq C_4 \leq 0,45$ $0,15 \leq C_4 \leq 0,45$
Distancia máxima entre las marcas de oscilación	$distancia \text{ entre marcas oscilación} = V_c/f$	$C_5 \leq 25mm$
Profundidad máxima permitida en las marcas de oscilación	$profundidad \text{ marcas oscilación} = 600(s/f)^{0,5}$	$C_6 \leq 400\mu m$
Relación óptima entre la velocidad del molde y la velocidad de colada	V_m/V_c	$C_7 > 1,2$
Parámetros para el consumo óptimo de polvo en el molde	$Q = ((R_p \rho)/V_c) \left(\frac{volumen}{\text{área Cara}} \right)$	$0,15 \leq C_8 \leq 0,45$
Parámetros para el consumo óptimo de polvo en el molde	$= K \left(\frac{T_{surf}}{T_{sol}} \right) \left(\frac{L_m}{V_c} \right) \left(\frac{Q}{(\eta)^{0,5}(s)^{-0,25}(f)^{0,25}(V_c)^{0,25}} \right)$	$0,15 \leq C_9 \leq 0,45$
Longitud mínima del molde	$L_m > (\text{dimensión de cara ancha})^{0,3}$	$C_{10} > (\text{dim})^{0,3}$

Nota: Donde, η es la viscosidad de equilibrio en poise, V_c es la velocidad de fundición en m/min., T_{sol} es la temperatura de solidificación del flujo del molde en °C, s es la longitud de carrera en mm, f la frecuencia en ciclos por minutos cpm, V_m es la velocidad del molde en m/min, R_p es la velocidad de drenaje en m/min, ρ es la densidad del flujo líquido de lubricante en kg/m³, T_{surf} es la temperatura de la superficie de la costra en °C, L_m es la longitud del molde en m, K es una constante ($K = 0,251$), y la dimensión de la cara ancha en m.

Fuente: Kulkarni y Babu (2001, 2003, 2005), Venkata et. al (2014)

Tabla 2
Funciones de pérdida para los criterios de calidad

Condiciones	Restricciones	Funciones de pérdida
C_1	$1 \leq C_1 \leq 3$	$L_1 = (C_1 - 2)^2$
C_2	$1125 \leq C_2 \leq 1175$	$L_2 = 1,6x10^{-3}(C_2 - 1150)^2$
	$1025 \leq C_2 \leq 1050$	$L_2 = 1,6x10^{-3}(C_2 - 1050)^2$
C_3	$0,15 \leq C_3 \leq 0,45$	$L_3 = 44,5(C_3 - 0,3)^2$
C_4	$0,15 \leq C_4 \leq 0,45$	$L_4 = 44,5(C_4 - 0,3)^2$
	$0,15 \leq C_4 \leq 0,45$	
C_5	$C_5 \leq 25mm$	$L_5 = 1,6x10^{-3}(C_5)^2$
C_6	$C_6 \leq 400\mu m$	$L_6 = 6,25x10^{-6}(C_6)^2$
C_7	$C_7 > 1,2$	$L_7 = 1,44(1/C_7)^2$
C_8	$0,15 \leq C_8 \leq 0,45$	$L_8 = 44,5(C_8 - 0,3)^2$
C_9	$0,15 \leq C_9 \leq 0,45$	$L_9 = 44,5(C_9 - 0,3)^2$
C_{10}	$C_{10} > (dim)^{0,3}$	$L_{10} = (1/C_{10})^2$

Fuente: Kulkarni y Babu (2001, 2003, 2005), Venkata *et. al* (2014)

La llamada función de pérdida deriva de la teoría de Taguchi (Hernández, 1994), que establece una función de pérdida parabólica con vértice en el valor nominal (valor deseado). Según la teoría, la pérdida empieza a darse cuando los resultados comienzan a separarse del valor deseado (m); además, crece de forma cuadrática como corresponde a una parábola. La teoría pretende penalizar la mayor desviación del valor nominal, y la ecuación de la parábola donde "nominal es mejor" según la siguiente expresión (Hernández, 1994):

$$P(x) = k(x - m)^2 \tag{1}$$

Donde P es la pérdida, x es la característica de calidad medida, m es el rendimiento objetivo, y k es el coeficiente de pérdida. En ciertas restricciones de la tabla 1 se presentan situaciones en las que, cuanto mayor sea el valor de la característica de calidad, mejor sería el beneficio, o cuanto menor sea el valor de la característica de calidad, mejor sería

el beneficio. En tales casos, se utilizan diferentes formas de función de pérdida. Para cuando "menor es mejor" (Hernández, 1994):

$$P(x) = k(x)^2 \quad (2)$$

Y para cuando "mayor es mejor" (Hernández, 1994):

$$P(x) = k(1/x)^2 \quad (3)$$

Basados en (1), (2) y (3) se establecieron las funciones de pérdida en cada una de las condiciones críticas; los resultados se muestran en la tabla 2. Como las respuestas están en diferentes unidades, se hacen conversiones a una misma escala usando el coeficiente de pérdida "k", de tal manera que, para el límite mínimo o máximo en la restricción, el valor de pérdida individual se convierte en 1, y será 0 para el valor que se haya aceptado como característica de calidad.

2.3 Identificación de la función objetivo

Como se están considerando varias condiciones, la indeseabilidad total será la suma de los valores de índice individuales, según:

$$PT(x) = \sum L_i(x) \quad (4)$$

para $i = 1, 2, 3, \dots, m$

El valor ideal para la función de pérdida total PT es cero (0) y el peor escenario será diez (10). Con este procedimiento se tendrá como objetivo de optimización encontrar las posibles combinaciones en las magnitudes de los parámetros del molde que minimicen la función de pérdida total, satisfaciendo cada una de las restricciones, porque cuanto mayor sea el valor de la función de pérdida, la probabilidad de una fundición sin defectos aumentará. Ahora, la función objetivo puede escribirse como:

$$\text{mínima } PT(x) = \sum L_i(x) \quad (5)$$

tal que $L_i(x) \leq 1$ para $i = 1, 2, 3, \dots, m$

2.4 Optimización del rango de parámetros del molde

Las restricciones de las funciones descritas en la tabla 2 se consideran aceptables porque derivan de resultados prácticos. Igual es el caso de los parámetros que definen las funciones mostradas en la tabla 1: están restringidos dentro de un rango de acuerdo con la información disponible en la literatura y las hojas de datos de la industria (Kulkarni y Babu, 2001, 2003, 2005), según se especifican en la tabla 3. Sin embargo, de acuerdo con los fines del proceso de optimización de este trabajo, es necesario buscar un método

que permita optimizar aún más este rango de parámetros. En este sentido, con los rangos de valores de la tabla 3 y las funciones de la tabla 1, se diseñó un procedimiento heurístico utilizando el *software* Fortran 90, con la finalidad de optimizar los rangos de los parámetros para un proceso de producción de palanquillas de acero 20CrMnTi de sección transversal 269 x 269 mm. El procedimiento consistió en fijar una velocidad de colada con un valor muy alto, luego se ejecutó el comando *random* para asignarle de manera aleatoria a cada parámetro un valor dentro de su rango, y se procedió a calcular cada una de las funciones. Este proceso se ejecutó 10 000 veces. El programa descartaba aquella corrida en la que no se cumplieran todas las restricciones asignándole una métrica de cero (0), y donde sí se cumpliera se almacenaba y se le asignaba uno (1). Al finalizar la ejecución del programa, se mostraba en pantalla la suma de los escenarios que cumplían con las restricciones establecidas. Este procedimiento se realizó variando la velocidad de colada, para determinar a qué velocidad se cumplía el mayor grado de conformidad. Definida la velocidad de colada (la cual fue 1,11 m/min), se ejecutó el programa para determinar el valor inferior y superior de cada parámetro, los cuales eran almacenados mientras la corrida era considerada como válida. Los nuevos parámetros del proceso se muestran en la tabla 4.

Tabla 3
Rango de parámetros

Parámetros	Rango de valores
Viscosidad (P)	1 – 4
Frecuencia de oscilación (cpm)	100 – 200
Carrera del molde (mm)	5 – 15
Temperatura solidus del polvo (°C)	1000 – 1200
Velocidad de drenaje del polvo (mm/min)	1 – 4
Densidad del flujo líquido (Kg/m ³)	2000 – 3000
Longitud del molde (mm)	600 – 900

Fuente: Kulkarni y Babu (2001, 2003, 2005), Venkata *et. al* (2014)

Tabla 4
Nuevos ajustes de los rangos de parámetros

Parámetros	Rango de valores
Viscosidad (P)	2,3 – 2,7
Frecuencia de oscilación (cpm)	145 – 157
Carrera del molde (mm)	9,5 – 10,7
Temperatura solidus del polvo (°C)	1.090 – 1.113
Velocidad de drenaje del polvo (mm/min)	2,2 – 2,8
Densidad del flujo líquido (Kg/m ³)	2450 – 2563
Longitud del molde (mm)	722 – 760

Elaboración propia

2.5 Determinación del valor mínimo de la función objetivo

En este paso se utilizó una metaheurística basada en la optimización por cúmulos de partículas (PSO), para encontrar la mejor solución o, al menos, una solución lo suficientemente buena para el problema en estudio. El PSO fue introducido por Kennedy y Eberhart en 1995, quienes desarrollaron métodos simples que permitían optimizar eficientemente funciones matemáticas no lineales. El PSO fue inspirado en el comportamiento social del vuelo de las bandadas de aves o el movimiento de los bancos de peces, y se fundamenta en los factores que influyen en la toma de decisión de una partícula que forma parte de un conjunto de partículas similares. La toma de decisión por parte de cada partícula se realiza conforme a una componente social y una componente individual, y con base en esto se determina el movimiento (dirección) de la partícula, alcanzando una nueva posición en el espacio de soluciones (Kennedy y Eberhart, 1995; Kennedy *et al.*, 2001). La componente individual puede modificar su opinión dependiendo de: su conocimiento sobre el entorno (su valor de *fitness*), su conocimiento histórico o experiencias anteriores (su memoria o conocimiento cognitivo), y el conocimiento histórico o experiencias anteriores de los individuos situados en su vecindario (su conocimiento social). La partícula actualiza su posición según (6):

$$x_i(t + 1) = x_i(t) + v_i(t + 1) \quad (6)$$

Donde $x_i(t + 1)$ es la posición futura o bien la posición actualizada, $x_i(t)$ representa la posición de la partícula en el instante de tiempo t , y $v_i(t + 1)$ es la velocidad actualizada de la partícula i . La figura 2 muestra el movimiento de la partícula.

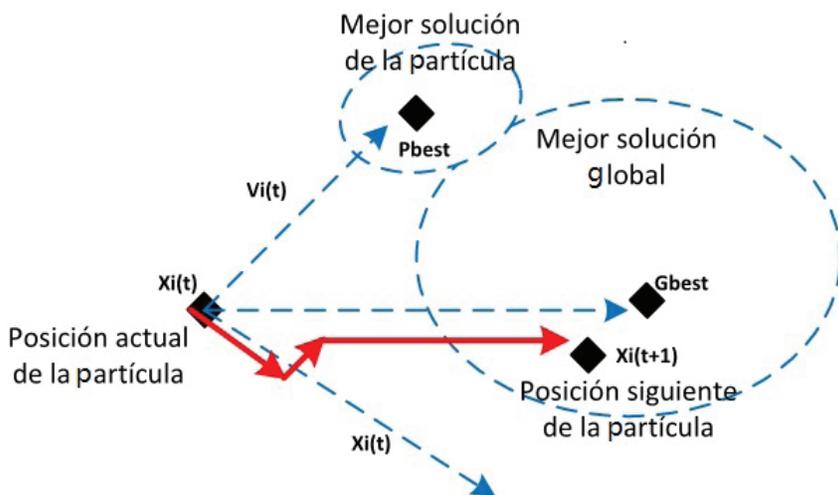


Figura 2. Movimiento de una partícula en el espacio de soluciones

Fuente: García (2006)

Debido a que el vector velocidad se modifica teniendo en cuenta su experiencia y la de su entorno, en (7) se describe este comportamiento:

$$v_i(t + 1) = wv_i(t) + c_1rand_1(pBest_i - x_i(t)) + c_2rand_2(gBest_i - x_i(t)) \quad (7)$$

Donde w representa el factor de inercia que representa el grado de influencia de la velocidad actual sobre la velocidad futura, los factores c_1 y c_2 son constantes de aceleración cognitiva y social, que determinan en qué medida influyen sobre el movimiento de la partícula su propia memoria y la cooperación entre individuos, respectivamente; $rand_1$ y $rand_2$ son dos números aleatorios uniformemente distribuidos entre 0 y 1 cuyo objetivo es emular el comportamiento estocástico y un tanto impredecible que exhibe la población del enjambre, y $gBest_i$ representa la posición de la mejor solución encontrada por todo el cúmulo. El valor del factor inercia está dado por (7) según se muestra a continuación (Gutiérrez *et al.*, 2017).

$$w(t) = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{t_{max}}t \quad (8)$$

Donde w_{max} y w_{min} son los valores máximo y mínimo de w , t_{max} es el número máximo de iteraciones. Luego de definir las expresiones matemáticas que fundamentan el PSO, en la figura 3 se muestra el diagrama de flujo que describe el algoritmo desarrollado en esta investigación. El proceso inicia en la llamada "población inicial", que no es más que la generación aleatoria de los primeros valores de los parámetros del molde,

manteniendo las nuevas restricciones de la tabla 4. También se calcula cada función de la tabla 1, las respectivas funciones de pérdida de la tabla 2, la función de pérdida total mostrada en (4), la mejor posición individual de cada parámetro $pBest_i$, la mejor posición del grupo $gBest_i$, y un valor de velocidad generado aleatoriamente entre 0 y 1. Con la información de la etapa de población inicial, se comienza el proceso de iteración del algoritmo. En la iteración 1, se actualiza la velocidad y posición de los parámetros del molde, con (7) y (6) respectivamente. Se calcula cada función de la tabla 1 y las respectivas funciones de pérdida de la tabla 2. En este primer ciclo, con el apoyo de (5) se espera que la función de pérdida total disminuya respecto al reportado en la etapa de población inicial, y esto se logra al encontrar las posibles combinaciones en las magnitudes de los parámetros del molde que minimicen la función de pérdida total. El ciclo termina con el cálculo de la mejor posición individual de cada parámetro $pBest_i$ y la mejor posición del grupo $gBest_i$. El algoritmo continuará con el proceso de iteración (según haya sido programando), hasta observar que: (a) el factor de pérdida total no cambie respecto a las iteraciones anteriores, y (b) el factor de pérdida total sea el mínimo encontrado en todo el ciclo de iteraciones.

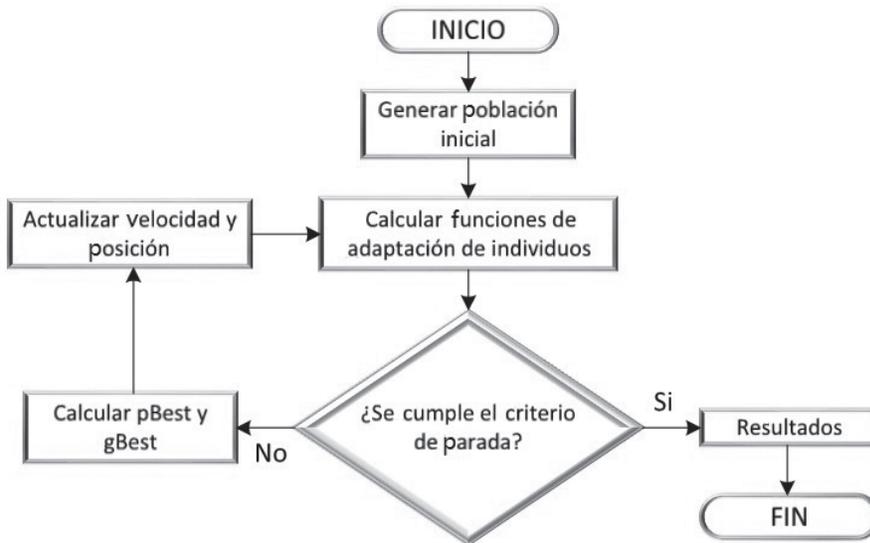


Figura 3. Diagrama de flujo del *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Fuente: Gutiérrez *et al.* (2017)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la finalidad de obtener un mínimo en la función objetivo que garantice una colada con la menor cantidad de defectos en el acero, se desarrolló un algoritmo heurístico que utiliza la técnica de Optimización por Enjambre de Partícula. El estudio se formuló como un problema de optimización multicriterio, utilizando las restricciones y modelos matemáticos mostrados en las tablas 1, 2 y 4; y la formulación de función de pérdida total fue del tipo minimización. La configuración se estableció con una población de 1000 para cada parámetro del molde, un máximo de iteraciones de treinta y una velocidad de colada de 1,11 m/min. Luego, la velocidad de colada fue variada en pequeñas magnitudes hasta obtener el valor más bajo en la función de pérdida total. Los valores optimizados de los parámetros del molde se alcanzaron a una velocidad de colada 1,03 m/min según se muestran en las tablas 5 y 6.

Tabla 5
Parámetros del proceso de colada continua de acero

Parámetros	Valor
Viscosidad (P)	2,30
Frecuencia de oscilación (cpm)	154
Carrera del molde (mm)	9,5
Temperatura solidus del polvo (°C)	1.113
Velocidad de drenaje del polvo (mm/min)	2,2
Densidad del flujo líquido (Kg/m ³)	2563
Longitud del molde (mm)	760
Velocidad del molde (m/min)	1,32

Elaboración propia

Tabla 6
Resultados del algoritmo PSO para la colada continua

Función de pérdida	SA	TLBO	PSO		
			Resultados	Media	D. Estándar
L ₁	0,24	0,23	0,136		
L ₂	0,80	0,002	0,005		
L ₃	0,09	0,01	0,088		
L ₄	0,12	0,05	0,023		
L ₅	0,19	0,14	0,069		
L ₆	0,15	0,13	0,817		
L ₇	0,30	0,30	0,265		
L ₈	0,67	0,0004	0,280		
L ₉	0,80	0,77	0,061		
L ₁₀	0,87	0,91	0,787		
PF	4,23	2,54	2,531	2,532	0,00043

Elaboración propia

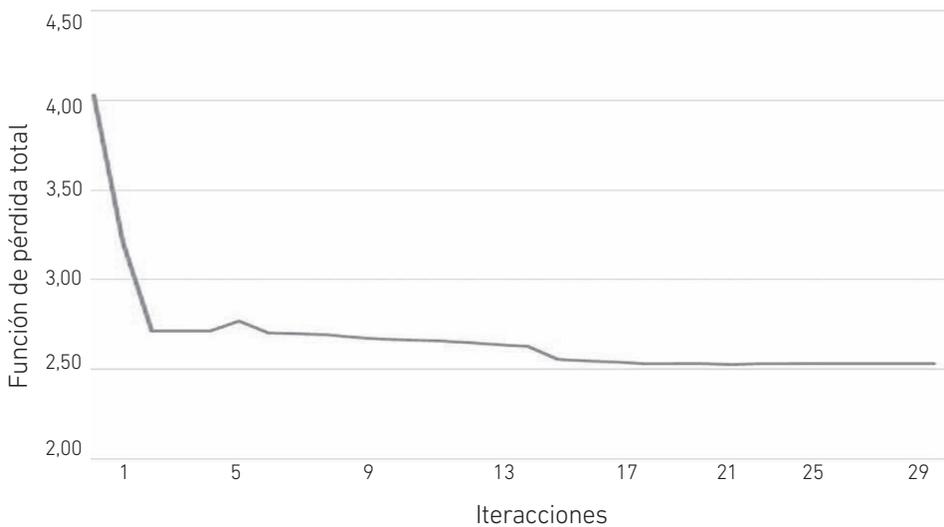


Figura 4. Variación de la función de pérdidas total en el algoritmo PSO

Elaboración propia

Se puede observar en la tabla 5 que los parámetros del molde que se han optimizado por PSO están dentro de los límites que previamente fueron ajustados según el reporte de la tabla 4; además, están dentro de los límites propuesto por (Kulkarni y Babu, 2001, 2003, 2005), manteniendo las restricciones de la tabla 3. Respecto a las funciones de pérdida individual de la tabla 6, se observa una mejora considerable en todos los resultados del PSO respecto a los publicados por Venkata *et al.* (2014), sobre un proceso de optimización por recocido simulado (SA), excepto en la función L_6 . Y al comparar los resultados del PSO respecto al TLBO (Venkata *et al.*, 2014) hubo una mejora en seis de las diez condiciones. En las funciones individuales donde hubo mejoras, en general la indeseabilidad se aproximó a cero, sin embargo la mejoría en L_7 y L_{10} no fue tan importante. Este comportamiento en los resultados obedece a que en las funciones de pérdida existen parámetros comunes y se debe cumplir con las restricciones descritas en las tablas 1 y 3, simultáneamente.

El algoritmo PSO ha dado una mejora mínima respecto al TLBO en la función de pérdida total, logrando disminuir de 2,54 (en el TLBO) a 2,531, lo que representa un porcentaje muy pequeño, pero no deja de ser importante. El promedio de la función de pérdida total en el PSO con 50 corridas fue de 2,532, valor que es muy aproximado a la mejor solución, con una desviación estándar de 0,00043, lo que permite afirmar que desde un punto de vista estadístico la dispersión es mínima. En la figura 4 se observa cómo el PSO alcanzó la convergencia de los resultados, según los resultados publicados por Venkata *et al.* (2014), el PSO alcanzó mucho más rápido la mejor solución respecto al TLBO, solo hizo falta cerca de 20 iteraciones para llegar al mínimo, en este sentido el tiempo de cálculo es mucho menor con el PSO que con el TLBO. Sin duda el PSO representa una herramienta útil para mejorar el rendimiento de plantas de colada continua.

4. CONCLUSIONES

En este artículo se ha desarrollado un algoritmo basado en cúmulos de partículas (Particle Swarm Optimization, PSO), que simula el comportamiento social del vuelo de las bandadas de aves o el movimiento de los bancos de peces para determinar los parámetros del molde de un proceso de colada continua de acero que más se ajuste a una fundición sin defectos. El PSO ha manejado efectivamente diversos modelos matemáticos y ha demostrado buenas capacidades en el campo de la optimización de parámetros que influyen en el proceso de colada continua. En el proceso de colada continua el algoritmo PSO arrojó, en seis de las diez condiciones de funciones de pérdidas individuales, valores más bajos que los arrojados por el algoritmo optimización de enseñanza-aprendizaje TLBO. El algoritmo PSO disminuyó la función de pérdida total a 2,531, lo que es una mejora muy pequeña con respecto a los resultados del TLBO (2,54), pero importante. Con el PSO la convergencia de los resultados se alcanzó cerca de las diecisiete

iteraciones, mientras que con el TLBO fueron necesarias más de treinta iteraciones para estabilizar el total de funciones de pérdida. El algoritmo PSO desarrollado tiene un alto potencial para gestionar la calidad en el sistema de colada continua, sin embargo, se recomienda aplicar en otros tipos de procesos de fundición que no han sido estudiados en esta investigación.

REFERENCIAS

- Aballe, M. (1992). *Colada continua y semicontinua de productos industriales*, Conference: 2.ª Jornada de Ciencia y Tecnología de Materiales. Barcelona.
- Adilson, J. Amaral, B. Sampaio, R. Mendes, E., y Leão, I. (9 de abril del 2018) Numerical Study of Turbulent Flows and Heat Transfer in Coupled Industrial-Scale Tundish of a Continuous Casting Material in Steel Production, *Numerical Simulations in Engineering and Science*, Srinivas P. Rao, IntechOpen, doi: 10.5772/intechopen.75935.
- Bäck, T, Fogel, D., y Michalewicz, Z. (1997). *Handbook of Evolutionary Computation*. IOP Publishing and Oxford University Press.
- Belisario, J. (2011). *Evaluación de la efectividad del proceso de colada en la reducción de defectos de salpicaduras en las palanquillas producidas en la acería 150 TM de Sidor*. [Tesis de grado en ingeniería industrial. Universidad Nacional Experimental de Guayana].
- Calvo, J. (2006). *Efecto de los elementos residuales e impurezas en la ductilidad y mecanismos de fragilización en caliente de un acero de construcción 0,23C – 0,9Mn – 0,13Si*. [Tesis Doctoral, UPC].
- Chang, V., y Bolsaitis, P. (1982). Simplified Model for Heat Transfer and Solidification in Continuous Casting, *Latin American Journal of Metallurgy and Materials*, 2(2).
- Cicutti, C. (1977). Transferencia de calor en la colada continua de aceros, I parte, el molde. *Metalurgia*, pp. 333-344.
- Coley, J. (2010). Fundición continua, una oportunidad para mejorar la calidad de los hierros. *Revista metalactual.com. Procesos*, pp. 10-17.
- Concast Data Sheets. (1992). *Specification distribution sheets for thermal modelling*, Concast (I) Ltd.
- Cruz, A. Hernández, O. Moreno, A., y Vargas, M. (2007). Caracterización de fundentes para molde de colada continua de acero. *Acta Universitaria*, 17(1), enero-abril, Universidad de Guanajuato, pp. 52-58.

- Dorigo, M. (2000). The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications and Advances. *Technical Report IRIDIA-2000-32*, Université Libre de Bruxelles, IRIDIA.
- Feng, Y. Wu, M. Chen, X. Chen, L., y Du, S. (2020). A Fuzzy PID Controller with Nonlinear Compensation Term for Mold Level of Continuous Casting Process. *Information Sciences* 539, 487-503.
- Flores, B. (2010). *Descripción del proceso de colada continua mediante CFD*. [Tesis de maestría en ciencias de la ingeniería mecánica con especialidad en materiales, Universidad Autónoma de Nuevo León].
- García, J. (2006). *Algoritmos Basados en Cúmulos de Partículas Para la Resolución de Problemas Complejos*. Departamento de Lenguajes y Ciencias de la computación. Universidad de Málaga.
- García Nieto, P. J., García-Gonzalo, E., Álvarez Antón, J. C., González Suárez, V. M., Mayo Bayón, R., y Mateos Martín, F. (2018). A Comparison of Several Machine Learning Techniques for the Centerline Segregation Prediction in Continuous Cast Steel Slabs and Evaluation of its Performance. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 330, 877-895.
- Gutiérrez, D. Villa W., y López, J. (2017). Flujo óptimo reactivo mediante optimización por enjambre de partículas. *Información Tecnológica*, 28(5), 215-224.
- Hahn, I. Schneider, M. Terhaar, J. Jarolimeck, J., y Sauermann, R. (2012). *Quality Prediction of Cast Ingots*. 1 International Conference on Casting, Rolling and Forging ICRF.
- Hernández, J. (1994). *La calidad total, una utopía muy práctica*. Universidad Pontificia Comillas.
- Kennedy, J. y Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, volume 4, pp. 1942-1948.
- Kennedy, J. Eberhart, R., y Shi, Y. (2001). *Swarm Intelligence*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Kulkarni, M. S., y Subash Babu, A. (2001). *Metamodels for continuous casting*, CARE Technical Report, Indian Institute of Technology.
- Kulkarni, M. S., y Subash Babu, A. (2003). A System of Process Models for Estimating Parameters of Continuous Casting Using Near Solidus Properties of Steel, *Mater. Manufact. Process*, 18, 287-312.
- Kulkarni, M. S., y Subash Babu, A. (2005). Managing Quality in Continuous Casting Process Using Product Quality Model and Simulated Annealing. *J. Mater. Process. Technol.* 166, 294-306.

- Kumar, R. (2015). *Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation for continuous casting process of steels*. [Master of Technology in Metallurgical and Materials Engineering, National Institute of Technology Rourkela].
- Kumar, S. (1996). *Mould Thermal Response and Formation of Defects in the Continuous Casting of Steel Billets*. [Degree Of Doctor Of Philosophy. The University Of British Columbia].
- Lei, Z., y Su, W. (2019). Research and Application of a Rolling Gap Prediction Model in Continuous Casting. *Metals*, 9(3), 380.
- Li, Y. R., y Zang, W. L. (2021). Prediction and Analysis of Slab Quality Based on Neural Network Combined with Particle Swarm Optimization (PSO). *Metallurgija*, 60(1-2), 15-18.
- Luo, X. Xie, Q. Wang, Y., y Yang, C. (2017). Estimation of Heat Transfer Coefficients in Continuous Casting under Large Disturbance by Gaussian Kernel Particle Swarm Optimization Method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 111, 1087-1097.
- Mannheim, R. (1983). Introducción general a la colada continua. *Revista Remetallica* 5, 28-38.
- Mills, K. Ramirez, P. Lee, P. Santillana, B. Thomas, B., y Morales, R. (2014). Looking into Continuous Casting Mould. *Ironmaking & Steelmaking. Ironmaking and Steelmaking*, 41(42).
- Najera, A. (2010). *Análisis del flujo de fluidos y transferencia de calor sobre la calidad de palanquillas de acero*. [Tesis de grado de doctor en ciencias en metalurgia y materiales. Instituto politécnico nacional].
- Rao, R. Savsani, V., y Vakharia, D. (2011). Teaching–Learning–Based Optimization: a Novel Method for Constrained Mechanical Design Optimization Problems, *Comput. Aided Des.* 43, 303-315.
- Rao, R. Savsani, V., y Vakharia. D. (2012). Teaching–Learning–Based Optimization: an Optimization Method for Continuous Non-Linear Large Scale Problems, *Inf. Sci.* 183, 1-15.
- Rao R., y Patel, V. (2012). An Elitist Teaching–Learning–Based Optimization Algorithm for Solving Complex Constrained Optimization Problems, *Int. J. Ind. Eng. Comput.* 3(4), 535-560.
- Romo, J. (2009). *Estudio de la formación de especies mineralógicas en el molde de colada continua de planchón delgado de acero*. [Tesis de maestría en ciencias en ingeniería metalúrgica, Instituto politécnico nacional].

- Saldaña, F. Torres, E. Ramos, J. Solorio, G., y Hernández, C. (2019). Analysis of the Depth of Immersion of the Submerged Entry Nozzle on the Oscillations of the Meniscus in a Continuous Casting Mold. *Metals* 9, 596.
- SEMCCO. (2012). *Lecture Notes in Computer Science*, 7677, 540-547. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35380-2_63
- Stephan O., y Zomaya, A. (2005). *Handbook Of Bioinspired Algorithms and Applications*. CHAPMAN and HALL/CRC.
- Venkata R., y Kalyankar, V. D. (2012). Parameters Optimization of Continuous Casting Process Using Teaching-Learning-Based Optimization Algorithm.. En Panigrahi B.K., Das S., Suganthan P.N. y Nanda P.K. (Eds.) *Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing. SEMCCO 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7677, 540-547*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35380-2_63
- Venkata R. Kalyankar V. D., y Waghmare, G. (2014). Parameters Optimization of Selected Casting Processes Using Teaching-Learning-Based Optimization Algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 5592-5608.
- Wang, X. Wang, Z. Liu, Y. Du, F. Yao, M., y Zhang, X. (2016). A Particle Swarm Approach for Optimization of Secondary Cooling Process in Slab Continuous Casting. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 93, 250-256.
- Wang, Y. Luo, X. Zhang, F., y Wang, S. (2019). GPU-Based Model Predictive Control for Continuous Casting Spray Cooling Control System Using Particle Swarm Optimization. *Control Engineering Practice*, 84, 349-364.
- Wang, Z. Zhang, Y. Jiang, Y. Zhang, J., y Zhang, S. (2020). An Optimization Control Method for Heat Transfer Model during Slab Continuous Casting. *Journal of Physics: Conference Series*, 1575 012208.
- Yang, J. Xie, Z. Meng, H. Liu, W., y Ji, Z. (2014). Multiple Time Steps Optimization for Real-Time Heat Transfer Model of Continuous Casting Billets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 76, 492-498.
- Yu, Y., y Luo, X. (2017). Identification of Heat Transfer Coefficients of Steel Billet in Continuous Casting by Weight Least Square and Improved Difference Evolution Method. *Applied Thermal Engineering*, 114, 36-43.
- Zhang, X. Chen, W., y Zhang, L. (2017). A Coupled Model on Fluid Flow, Heat Transfer and Solidification in Continuous Casting Mold. *China Foundry*, 14(5).

EVALUACIÓN HIGIÉNICA DE RIESGOS FÍSICOS EN EL SECTOR MADERERO DEL ECUADOR*

ROBERTO BARRAGÁN MONRROY**

<https://orcid.org/0000-0003-4682-5529>

BETTY GONZALEZ OSORIO*

<https://orcid.org/0000-0002-2851-2660>

KIMBERLY CAPA SALAZAR*

<https://orcid.org/0000-0001-5232-3651>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

Recibido: 5 de mayo del 2021 / Aprobado: 13 de julio del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5539>

RESUMEN: El objetivo de la presente investigación fue evaluar los riesgos físicos a los que está expuesto el personal que cumple labores en los procesos productivos e industriales correspondientes al sector maderero. Se identificó en las industrias dos áreas clave del desempeño del recurso humano para la evaluación higiénica: en las áreas de cepillado y de aserrío existen máquinas y herramientas que se encuentran en constante funcionamiento, cubriendo toda la jornada laboral. Los métodos investigativos considerados fueron de observación, campo, cuantitativo, entrevistas y metodologías disponibles por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, complementadas con guías técnicas de ruido, calculando el nivel de exposición diario equivalente, incertidumbre y atenuación; de iluminación, realizando las mediciones en ocho puntos clave tomando en cuenta los valores legales en función del sector industrial; y de vibraciones, calculando los valores de aceleración y exposición diaria. Los niveles de riesgo encontrados en las evaluaciones cumplen con los límites legales establecidos en las normativas vigentes a excepción de las vibraciones, que afectan al sistema mano-brazo y representan situaciones de riesgo considerables para los trabajadores.

PALABRAS CLAVE: ruido / iluminación / vibraciones / sector maderero / ergonomía / factores de riesgo

* Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación final de la versión publicada.

** Correos electrónicos: robertobarraganm81@gmail.com; bgonzalez@uteq.edu.ec; kimberly.kiki@hotmail.com

HYGIENIC EVALUATION OF PHYSICAL RISKS IN THE TIMBER SECTOR IN ECUADOR

ABSTRACT: The objective of this research was to evaluate the physical risks to which personnel working in the production and industrial processes of the timber sector are exposed. Two critical areas of human resource performance were identified in the industries for the hygienic evaluation. In these areas, corresponding to planning and sawing, machines and tools that are in constant operation, covering the entire workday. The research methods considered were observation, field, quantitative, interviews, and methodologies available from the National Institute of Safety and Hygiene at Work of Spain, complemented by technical noise guides calculating the equivalent daily exposure level, uncertainty, and attenuation. Lighting was analyzed by taking measurements at eight key points taking into account the legal values according to the industrial sector, and vibrations by calculating acceleration and daily exposure values. The risk levels found in the evaluations comply with the legal limits established in the regulations in force, except for vibrations, affecting the hand-arm system and representing considerable risk situations for workers.

KEYWORDS: noise / lighting / vibrations / timber sector / ergonomics / risk factors

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de que en la Constitución del Ecuador y en el decreto 2393 existen artículos que protegen la salud del recurso humano, los trabajadores están expuestos a factores de riesgo ocupacionales durante el desempeño de sus labores (Capa *et al.*, 2018). En décadas pasadas, la prevención de riesgos laborales era conocida como una cuestión ética, debido a que el empleador no tenía la obligación de proteger a sus trabajadores con el desarrollo normativo en materia de seguridad y salud en el trabajo; a la cuestión ética se le sumaba la obligación legal, aspecto importante en el desempeño de los trabajadores y los posibles riesgos a los que estaban expuestos (Saldaña *et al.*, 2015).

Según el subregistro que cuenta el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), en el Ecuador ocurren 80 000 accidentes de trabajo al año y 60 000 enfermedades profesionales como hipoacusia, pérdida de capacidad visual, de olfato, afectaciones músculo-esqueléticas y factores de riesgo psicosociales. Mientras más tarde se detecta o trata una enfermedad laboral, existe mayor probabilidad de generar una incapacidad (Martínez, 2016).

En el sector de la madera, a diario los trabajadores se exponen a riesgos muy diversos como es el caso de los higiénicos, algunos potencialmente severos que pueden originar accidentes laborales de carácter grave o enfermedades profesionales (Díaz, 2014). Como riesgo ocupacional, el ruido es reconocido desde la antigüedad; la exposición a este riesgo ocupacional es un problema de salud importante: la Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que 1100 millones de jóvenes de todo el mundo podrían estar en riesgo de sufrir pérdida de audición debido a prácticas auditivas perjudiciales. Más de 43 millones de personas de entre 12 y 35 años padecen una pérdida auditiva discapacitante debida a diferentes causas, lo que afecta las habilidades de comunicación y adecuación social y puede ocasionar daños al sistema auditivo que además alteran otros sistemas y disminuyen el aprovechamiento de la labor del trabajador (Picard *et al.*, 2008; Sierra y Bedoya, 2016).

Por otro lado, la iluminación es un factor fundamental en los puestos de trabajo y áreas en general, debido a su relación directa con la salud visual en relación con varios aspectos, como los físicos y los ergonómicos, ligados a una iluminación óptima de acuerdo con las características de los puestos y áreas de trabajo; varios estudios plantean que la mala iluminación de un lugar aumenta las probabilidades de que los trabajadores cometan errores cuando se encuentran trabajando, lo que posibilita que ocurran accidentes por esta causa (Beltrán y Merchán, 2013), lo que empeora si en el área se emplean máquinas comunes del sector maderero como cepilladoras, sierras circulares, entre otras, y exista deficiencia o exceso de iluminación, pues las probabilidades que ocurra un accidente es elevada.

Según Arias y Martínez (2016), desde un enfoque de seguridad y salud ocupacional, las exposiciones a vibraciones críticas en el sistema mano-brazo o en el cuerpo entero, ligadas a factores como el tiempo de exposición pueden provocar afectaciones considerables a la salud y al bienestar del personal laboral.

En los últimos años, el sector maderero ha adquirido mayor relevancia en la oferta exportadora del Ecuador, uno de los principales proveedores de madera de balsa en el mundo. Dicho sector ha sido uno de los que mayor crecimiento ha tenido, para el año 2016 alcanzó una participación del 0,36 % con respecto al PIB. En la actualidad, Ecuador posee más de 20 000 hectáreas entre bosques naturales y reforestados, siendo las zonas de mayor producción la provincia del Guayas, El Oro, Los Ríos y Pichincha (Corporación Financiera Nacional, 2017; Gonzalez *et al.*, 2010).

Para lograr las exportaciones de balsa, las empresas necesitan contar con diversas áreas, donde los trabajadores puedan cumplir sus respectivas labores acorde a sus puestos de trabajo, en los mismos que se pueden presentar riesgos relacionados con la higiene industrial que pueden afectar negativa e irreversiblemente su salud si no se tiene un debido control de los mismos. Por este motivo se tomó en consideración para la evaluación de ruido, iluminación y vibraciones los parámetros establecidos en las guías técnicas disponibles por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, normas UNE-EN reguladas por la Asociación Española de Normalización y Certificación y límites máximos permisibles establecidos en el R. D. 286/2003, la Norma DIN 5035, y el R. D. 1311/2005, respectivamente, por cada riesgo.

De acuerdo con la bibliografía consultada, no se encontraron estudios similares a esta investigación, por lo tanto, la investigación se planteó como objetivo evaluar los riesgos físicos a los que está expuesto el personal que cumple labores en los procesos productivos e industriales correspondientes al sector maderero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La provincia Los Ríos se encuentra ubicada en el litoral ecuatoriano. Es parte vital de la cuenca del río Guayas, con una extensión de 7509 km², equivalente al 2,8 % del territorio nacional. Tiene una población de 778 115 habitantes (Gonzalez *et al.*, 2020). Se realizaron salidas de reconocimiento a las principales empresas madereras, y se utilizaron métodos de observación, de campo, cuantitativos y entrevistas; se identificaron dos empresas de mayor extensión, de las cuales se tomó en consideración dos áreas claves para la evaluación higiénica: la de aserrío y la de cepillado, debido a la presencia de máquinas en constante funcionamiento en toda la jornada laboral.

2.2 Ruido

Para la evaluación higiénica de ruido se tuvo en consideración la cercanía de la fuente emisora de ruido; se distinguió así la fuente por puestos de trabajo y se realizó la evaluación por el tipo de exposición directa al ruido de los operadores, recibidores de madera y ayudantes de operadores y recibidores (seis puestos) que hacen referencia a un grupo homogéneo de exposición (GHE) en ambas áreas.

Para el número de mediciones y cálculo se tomó como referencia la norma UNE-EN ISO 912, basada en la jornada completa, debido a las características de los puestos de trabajo, y se realizaron tres mediciones en tres días hábiles diferentes, cubriendo toda la jornada, que en este caso es de seis horas. Si los resultados difieren en 3dB o más, se debe realizar una medición adicional en la jornada laboral. Para este tipo de medición se utilizó un dosímetro TES-1354 en base al anexo III del R. D. 286/2006 de instrumentos de medición y condiciones de aplicación, previamente calibrado.

Para los cálculos de los valores medidos en el dosímetro se emplean las siguientes ecuaciones:

- Nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,d}$), que proporciona información sobre el nivel de exposición al ruido del personal laboral.

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \left[\frac{T}{8} \right]$$

Donde:

T = Duración diaria de la exposición (horas).

$L_{Aeq,T}$ = Nivel de presión sonora equivalente en el período de tiempo T (dBA). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{L_{Aeq,T,n}/10} \right]$$

- Incertidumbre

Para un análisis más profundo, se calculó la incertidumbre basada en la función o jornada completa, tal como lo describen la guía técnica de ruido 2006 y la NTP 950:

$$U^2 = \sum_m \left\{ C_{a,m}^2 (u_{1,a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_{3,m}^2 + \left[\frac{4,34 C_{a,m}}{T_m} \right]^2 u_{1b,m}^2) \right\}$$

Donde:

$U_{1a,m}$ = Es la incertidumbre estándar debida al muestreo de operación.

$U_{1b,m}$ = Es la incertidumbre estándar debida a la duración de la operación m .

$U_{2,m}$ = Es la incertidumbre estándar debido al instrumento de medición usado para la operación m .

$U_{3,m}$ = Es la incertidumbre estándar debido a la imperfecta selección de la posición del micrófono en la operación m .

T_m = Es el valor medio de los valores obtenidos del tiempo de duración de la operación m .

$C_{a,m}$ = Es el coeficiente de sensibilidad correspondiente a la operación m .

- Atenuación proporcionada por el uso actual de protectores auditivos

En base a las características de los protectores auditivos que utilizan los trabajadores, tapones 3M 1270 y orejeras 3M H510P3, se procedió a realizar el cálculo de atenuación acústica tal como lo describe la norma UNE-EN 458:2016, empleando el método de SNR y H, M y L:

Método del SNR

$$L'_A = L_c - SNR$$

Donde:

L_c = Niveles de presión sonora ponderado (C).

SNR = Parámetro que disponen de fábricas los protectores auditivos (fichas técnicas).

Método H, M y L

Para dicho cálculo se toma en consideración la diferencia entre L_c y L_A de la siguiente forma: si la diferencia $L_c - L_A \leq 2$ dB se utiliza la primera ecuación; en caso de $L_c - L_A \geq 2$ dB se utiliza la segunda ecuación:

$$PNR = M - \frac{H - M}{4} [L_c - L_A - 2]$$

$$PNR = M - \frac{H - M}{8} [L_c - L_A - 2]$$

Donde:

H, M y L = Parámetros que disponen de fábrica los protectores auditivos (fichas técnicas).

L_c = Niveles de presión sonora ponderado (C).

L_A = Niveles de presión sonora ponderado (A) correspondiente al intervalo más desfavorable.

Para evidenciar si los protectores brindan una protección óptima, se toman en consideración los valores descritos en la norma UNE-EN 458:2016.

Con el valor de PNR se procedió a calcular el nivel de presión sonora efectivo ponderado (A) con la siguiente ecuación:

$$L'_A = L_A - PNR$$

2.3 Iluminación

Para la evaluación higiénica de la iluminación se tomó en consideración la metodología descrita en la guía técnica de iluminación en conjunto con el R. D. 486/1997, del 14 de abril.

No obstante, para mantener un control efectivo, la evaluación de iluminación tendrá en cuenta valores legales en función del sector industrial, debido a que la medición se llevó a cabo en dos áreas de aserrío y de cepillado pertenecientes a empresas del sector maderero dedicadas a la exportación de madera, donde la dificultad de la percepción visual del personal laboral depende en gran parte de los niveles de iluminación de las tareas en el ámbito industrial. En la tabla 1 se describen cuatro niveles de iluminación correspondientes a cuatro tareas de actividad en base a la Norma DIN 5035, referente a niveles de iluminación recomendada en actividades industriales.

Tabla 1

Niveles de iluminación recomendadas en actividades industriales

Tareas	Descripción	Iluminación (lux)
Muy finas	Observación constante y por mucho tiempo de detalles al límite del poder visual.	1000
Finas	Recintos y trabajos no incluidos en las categorías I, III o IV.	500-1000
Normales	Se excluye la percepción de detalles pequeños.	250-500
Bastas	No se trabaja continuamente.	125-250

Elaboración propia a partir de la norma DIN 5035

Para la medición de la iluminación se tomó en consideración toda el área de aserrío y cepillado, identificando cuatro puntos de mediciones clave cercanos a los tres puestos

de trabajo de cada área; posteriormente se utilizó un luxómetro PM6612 previamente calibrado para la medición, los valores obtenidos se promediaron por el número de medición por cada área.

2.4 Vibraciones

Para la evaluación higiénica de vibraciones se tomó en consideración la metodología descrita en la guía para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas en conjunto con la norma UNE-EN ISO 5349. Se identificó el empleo de maquinaria y herramientas generadoras de vibraciones por cada puesto de trabajo; los operadores y recibidores de ambas áreas están expuestos de forma directa a las vibraciones debido a su contacto directo con objetos vibrantes que afectan al sistema mano-brazo, a diferencia de los ayudantes que no requieren evaluación ya que no tienen contacto con ningún objeto que genere vibración. Para este tipo de medición se utilizó un vibrómetro PCE-VM 31 previamente calibrado de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 8041.

Para los cálculos de la aceleración obtenida en el vibrómetro se utilizó las siguientes ecuaciones acorde a lo que establece la norma UNE-EN ISO 5349:

$$a_{hv} = \sqrt{(a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2)}$$

Donde:

$(a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2)$ = Suma de los cuadrados de los componentes de la aceleración ponderada en frecuencia en los tres ejes.

En base al tiempo de exposición, se evidenció en los puestos de trabajo de las áreas de aserrío y cepillado que el contacto con los objetos vibrantes es relativamente corto, por ello se tomó una serie de mediciones a diferentes horas del día, como mínimo de un minuto. El promedio de las magnitudes de las vibraciones de una serie de números de muestras vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$a_{hw} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{j=1}^N a_{hwj}^2 t_j}$$

Donde:

a_{hwj} = Es la magnitud de las vibraciones medidas para la muestra j .

t_j = Es la duración de la medición de la muestra j .

Conocidos los valores de aceleración y tiempo de exposición se calculó el valor de exposición diaria (A) dentro de la jornada correspondiente a ocho horas con la siguiente ecuación:

$$A(8) = a_{hw} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

2.5 Análisis de datos

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los puestos de trabajo y áreas evaluadas, se empleó análisis estadísticos con la ayuda del *software* Infostat, en función de las variables de estudio (categóricas y numéricas). Para identificar si los niveles de las mediciones representan riesgos para los trabajadores, se tomó como referencia los límites máximos permitidos para ruido, atenuación, iluminación y vibraciones de acuerdo con los reales decretos y normas técnicas españolas y alemanas: R.D.286/2003, Norma UNE-EN 458, Norma DIN 5035 y R.D.1311/2005, respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Ruido

Sobre la base de la evaluación higiénica de ruido, se pudo evidenciar que en todos los puestos de trabajo de las áreas de aserrío y de cepillado los niveles de ruido superan los valores límite de exposición $L_{Aeq,d}>87$ dB (A). Los mayores niveles encontrados corresponden al operador de sierra del área de aserrío, con $93,2\pm 3$ dB, y el menor nivel corresponde al ayudante de operador y receptor del área de aserrío, con $88,8\pm 3$ dB, tal como se evidencia en la tabla 2. Por tal motivo, todo el personal laboral debe de contar con protectores auditivos de manera obligatoria, ya que estos niveles corresponden a riesgos intolerables con consecuencias críticas en el sistema auditivo. En estos casos, para identificar si los trabajadores son vulnerables al ruido evaluado, se tendrá en cuenta la atenuación que procuran los protectores auditivos individuales utilizados por el personal laboral, tal como lo establece el artículo 5.2 del R. D.286/2006.

Tabla 2
Resultados de los niveles equivalentes diarios e incertidumbres de ruido

Áreas	Puestos	GHE	LAeq,T dB(A)	LAeq,d dB(A)	Incertidumbre	Intervalo
Aserrío	Operador de sierra	Operador	94,4	93,2	3	90,2 y 96,2
	Recibidor de madera	Recibidor	94,1	92,9	3	89,9 y 95,9
	Ayudante de operador y recibidor	Ayudante	90,0	88,8	3	85,8 y 91,8
Cepillado	Operador de máquina de cepillado	Operador	95,0	93,8	3	90,8 y 96,8
	Recibidor de la máquina de cepillado	Recibidor	94,3	93,1	3	90,1 y 96,1
	Ayudante de operador y recibidor	Ayudante	90,3	89,1	3	86,1 y 92,1

Elaboración propia

De acuerdo con la prueba de Kruskal Wallis, se demostró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($H=4,57$; $p=0,067$) en los niveles de ruido de los grupos homogéneos de exposición (operadores, recibidores y ayudantes) de las áreas de aserrío y de cepillado (figura 1).

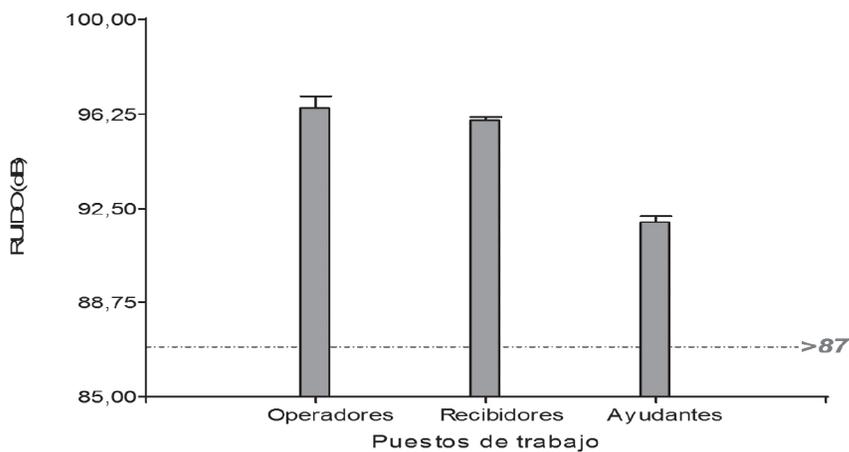


Figura 1. Resultados estadísticos de ruido

Elaboración propia

Los dos métodos considerados para la evaluación de la atenuación proporcionada por los protectores auditivos arrojaron niveles similares, tal como se detalla la tabla 3, que recoge la evaluación de la protección auditiva de los trabajadores obtenida por el método H, M y L, por ser más exacto. Los resultados demuestran que los EPI que utiliza el personal laboral de ambas áreas brinda una protección satisfactoria y aceptable frente a los niveles de ruido que superan los 87 dB (A). Los puestos de trabajo que muestran valores de exposición al ruido aceptables son los ayudantes, mientras que los operadores y recibidores muestran valores de exposición satisfactoria. Se trata de un aspecto positivo para la empresa y los trabajadores, pues muestra un nivel de riesgo trivial, categoría 1 con consecuencias tolerables.

Tabla 3
Atenuación proporcionada por el uso actual de protectores auditivos

Áreas	Puestos	LA dB(A)	LC dB(C)	PNR	L´A dB(A)	SNR	L´A dB(A)
Aserrío	Operador de sierra	96,2	99,4	21,7	74,5	26	73,4
	Recibidor de madera	95,9	99,1	21,7	74,2	26	73,1
	Ayudante de operador y recibidor	91,8	93,9	21,9	69,9	25	68,9
Cepillado	Operador de máquina de cepillado	96,8	99,5	22,2	74,6	26	73,5
	Recibidor de la máquina de cepillado	96,1	99,1	21,9	74,2	26	73,1
	Ayudante de operador y recibidor	92,1	94,0	22,1	70,0	25	69

Elaboración propia

La prueba de Kruskal Wallis demostró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($H=4,57$; $p=0,067$) en la atenuación proporcionada por el uso actual de protectores auditivos de los grupos homogéneos de exposición de las áreas de aserrío y de cepillado (figura 2).

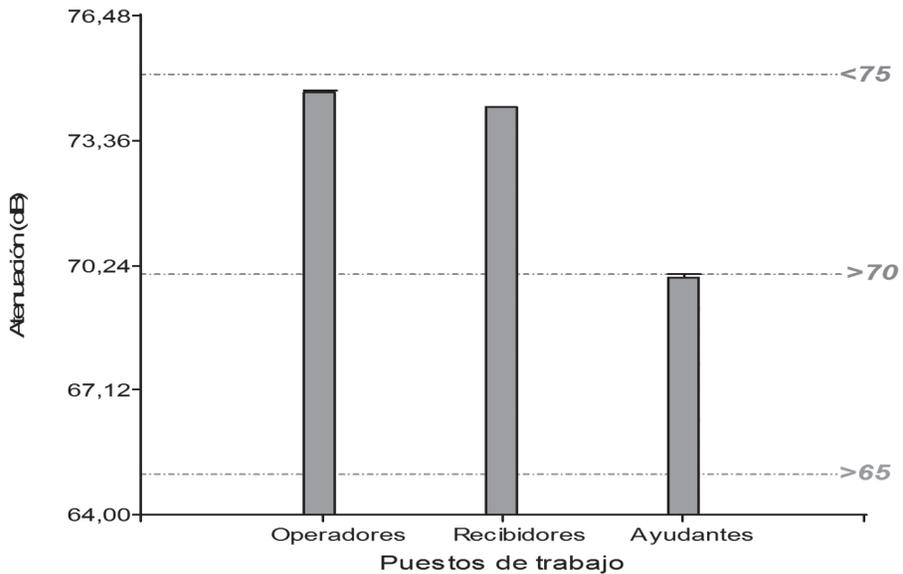


Figura 2. Resultados estadísticos de atenuación

Elaboración propia

3.2 Iluminación

Sobre la base de la evaluación higiénica, se pudo evidenciar que en las áreas de aserrío y de cepillado los niveles de iluminación se encuentran dentro de los valores legales de acuerdo con la actividad industrial, tipo de interior, tarea y actividad: 250-500 Lux. Los mayores niveles de iluminación encontrados pertenecen al área de aserrío, tal como se detalla en la tabla 4; se trata de un aspecto positivo para los trabajadores y la empresa, pues presentan un nivel de riesgo trivial, categoría 1 con consecuencias tolerables.

Tabla 4
Resultados de las mediciones de iluminación

Áreas	Mediciones Em (Lux)				
Aserrío	401,7	400,8	403,1	400,9	401,6
Cepillado	352,2	353,1	350,1	350,9	351,6

Elaboración propia

De acuerdo con la prueba de Wilcoxon, se demostró que sí existen diferencias estadísticamente significativas ($w=26,0$; $p=0,029$) entre las dos áreas, siendo la media mayor en el área de aserrío ($401,63 \pm 1,06$) que en la de cepillado ($351,58 \pm 1,34$) en cuanto a los niveles de iluminación (figura 3).

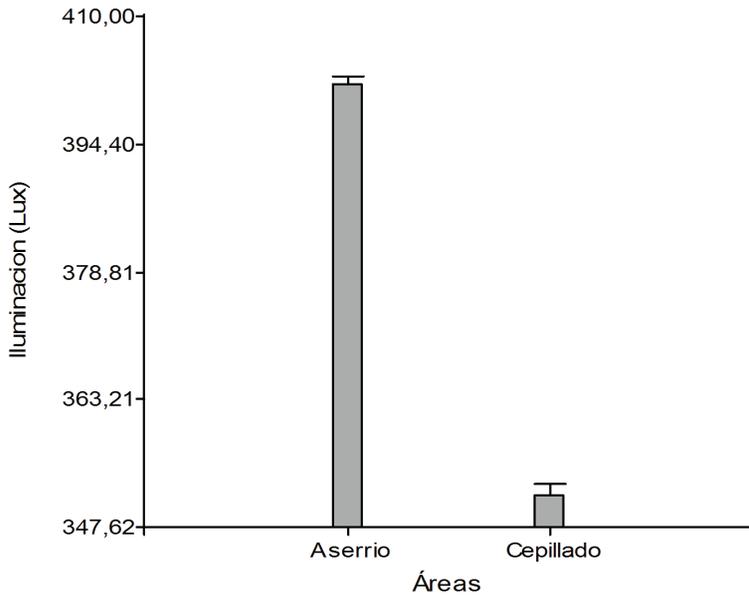


Figura 3. Resultados estadísticos de iluminación
Elaboración propia

3.3 Vibraciones

Sobre la base de la evaluación higiénica, se pudo evidenciar que todos los puestos de trabajo evaluados en las áreas de aserrío y de cepillado se encuentran en situación de riesgo, con valores de $A(8) < 5\text{m/s}^2$ y $A(8) > 2.5\text{m/s}^2$. Los mayores niveles de exposición diaria (A) a vibraciones, normalizados a lo largo de la jornada completa, corresponden al área de cepillado en el puesto de operador de la máquina de cepillado, tal como lo demuestra la tabla 5. Se trata de un aspecto negativo para los trabajadores y la empresa, al presentar un nivel de riesgo moderado categoría III con consecuencias importantes. Por ello que es necesaria la implementación de planificaciones de la actividad preventiva, ya que estos niveles registrados podrían provocar afectaciones considerables al personal laboral.

Tabla 5
Resultados de mediciones de vibraciones

Áreas	Puestos	A_{hw}	Tiempo de muestreo (Sg)	a_{hw}	Jornada (h)	A(8) (m/s ²)			
Aserrío	Operador de cierra	3,54	19	3,51	6	3,04			
		3,55	20						
		3,44	16						
		3,49	18						
	Recibidor de madera	3,37	19				3,37	6	2,92
		3,42	16						
		3,30	20						
		3,38	19						
Cepillado	Operador de la máquina de cepillado	3,60	17	3,56	6	3,08			
		3,55	15						
		3,52	16						
		3,55	19						
	Recibidor de la máquina de cepillado	3,51	16				3,51	6	3,04
		3,44	14						
		3,54	15						
		3,56	19						

Elaboración propia

La prueba T student mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($T=1,26$; $p=0,333$) en los valores de exposición diaria (A) a vibraciones en los grupos homogéneos de exposición (figura 4).

Sobre la base de la evaluación higiénica del ruido se demostró que todos los puestos de trabajo de ambas áreas están expuestos a niveles de ruido que superan los valores límite de exposición $L_{aeq,d} > 87dB(A)$; sin embargo la protección proporcionada por el uso actual de protectores auditivos frente a este riesgo brinda una protección aceptable para los ayudantes $>65dB$ y una protección satisfactoria para los operadores y recibidores $>70dB <75dB$. Estos resultados concuerdan con la investigación realizada por González (2016) en el Ecuador, donde los protectores auditivos cumplen el rol de proteger satisfactoriamente al personal laboral frente a niveles de ruido que superan las normas internacionales españolas y alemanas.

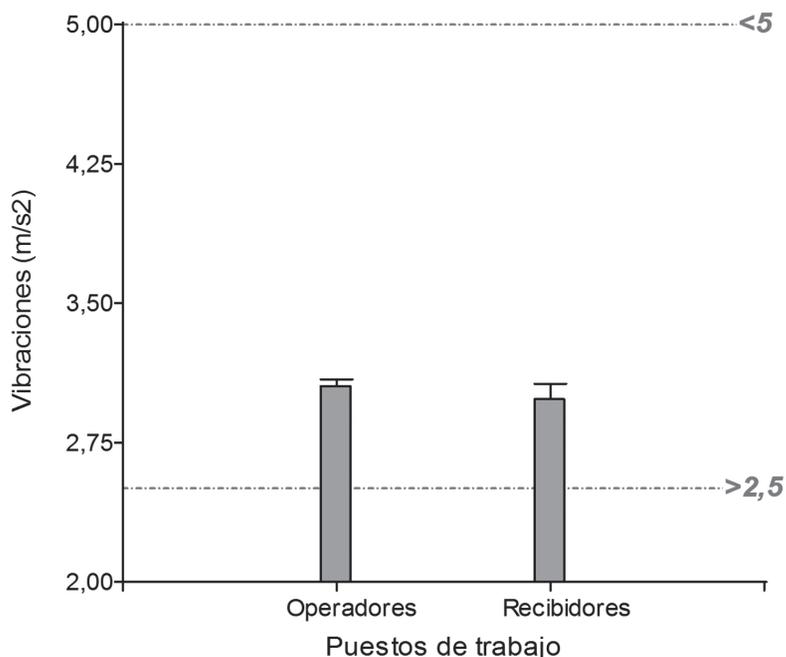


Figura 4. Resultados estadísticos de vibraciones

Elaboración propia

Los niveles de iluminación encontrados cumplen con los límites legales establecidos de 200-500 Lux, aspecto positivo para los trabajadores y las empresas, debido a su influencia directa en la salud visual. Por otra parte, los trabajadores de las áreas de aserrío y de cepillado están expuestos a situaciones de riesgo a vibraciones en el sistema mano-brazo que superan los límites legales $>2,5\text{m/s}^2 <5\text{m/s}^2$, aspecto negativo para el personal laboral y la empresa. Estos niveles pueden provocar afectaciones significativas a largo plazo (Arias y Martínez, 2016).

4. CONCLUSIONES

Al tratarse de empresas pertenecientes al sector maderero, el personal laboral está expuesto a una diversidad de riesgos ligados con la higiene industrial, debido a la complejidad de sus procesos productivos en los que la presencia de herramientas y máquinas es constante. Si no existe un debido control o prevención de los niveles de estos riesgos, las afectaciones a la salud podrían tornarse irreversibles.

Los niveles encontrados cumplen con los límites legales, con excepción de las vibraciones, lo que representa una situación de riesgo que puede provocar problemas vasculares, de huesos, entre otros, por lo que es necesario implementar medidas correctoras y preventivas que fortalezcan el diseño de estrategias que conduzcan a la prevención y cumplimiento legal articulados por parte de las empresas dedicadas a la fabricación de los derivados de la madera.

Los resultados de la evaluación higiénica de ruido demostraron que en todos los puestos de trabajo de las áreas de aserrío y de cepillado se superan los valores límites de exposición; sin embargo, la atenuación proporcionada por el uso actual de protectores auditivos representa una protección aceptable y satisfactoria frente a este riesgo, lo que resulta positivo para el personal laboral y la empresa; ello no obstante, es recomendable llevar controles trianuales sobre los niveles de ruido generados en estos puestos.

Con respecto a los niveles de iluminación, se concluyó que en ambas áreas existen niveles lumínicos aceptables para el desarrollo normal de las actividades, lo que representa un aspecto positivo tanto para el personal laboral como para las empresas, ya que se cumple con la normativa vigente; se evita así que un lugar con poco o exceso de iluminación pueda representar un problema grave para los trabajadores, ya que las posibilidades de que ocurran afectaciones visuales o accidentes es alta. De igual manera, es recomendable llevar un control trianual frente a dicho riesgo.

La evaluación higiénica de riesgos físicos realizada en torno al sector maderero permitió conocer los niveles de ruido, iluminación y vibraciones a los que está expuesto el personal laboral de las áreas de aserrío y de cepillado, y permitió disponer de un referente apropiado de indicadores de riesgos físicos para sustentar el estudio y dar solución al problema identificado y, con ello, mejorar la seguridad y salud ocupacional del sector evaluado.

REFERENCIAS

- Arias, G., y Martínez, C. (2016). Evaluación de la exposición al riesgo por vibraciones en el segmento mano brazo en compañías del sector metalmecánico. *Medicina y Seguridad Del Trabajo*, 62(245), 327–336. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2016000500005
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2002). *Medición y Evaluación de La Exposición Humana a Las Vibraciones Transmitidas Por La Mano*, (UNE-EN ISO 5349-2). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0056117>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2009). *Determinación de la exposición al ruido en el trabajo*, (UNE-EN ISO 9612). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0044443>

- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2016). *Protectores auditivos. Recomendaciones relativas a la selección, uso, cuidado y mantenimiento*, (UNE-EN 458:2016). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056361>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2018). *Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida*, UNE-EN ISO 8041-1. https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sxsrf=ALeKk019cu8BoWAP7JNcjkQg-u3tJNK94g%3A1608787567567&ei=bybkX_aLIoiQ5wLc3LIw&q=UNE-EN+ISO+8041+&oq=UNE-EN+ISO+8041+&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAzIGCAAQFHa eOgQIABBHUPWiAlj1ogJgp6oCaABwAngAgAGjAYgBowGSAQMwLjGYAQC
- Beltrán, J., y Merchán, C. (2013). Niveles de iluminación y su relación con los posibles efectos visuales en los empleados de una IPS de Bogotá. *Movimiento Científico*, 7(1), 31–37. <https://doi.org/10.33881/2011-7191>.
- Capa, L. B., Flores Mayorga, C., y Sarango Ortega, Y. (2018). Evaluación de factores de riesgos que ocasionan accidentes laborales en las empresas de Machala-Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 10(2), 335–340. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v10n2/2218-3620-rus-10-02-341.pdf>
- Corporación Financiera Nacional. (2017). *Explotación de viveros forestales y madera en pie*. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2017/10/Ficha-Sectorial-Viveros-y-Madera-en-Pie.pdf>
- Díaz, Á. (2014). Riesgos específicos y su prevención en el sector de la madera. En *Manual básico de seguridad y salud en el trabajo*. Invasat.
- González, Barragan, R. M., Luis, S., y Marisol, R. (2020). Influencia de las variables climáticas en el rendimiento de cultivos transitorios en la provincia Los Ríos, Ecuador. *Centro Agrícola*, 47(4), 54–64. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V47-Numero_4/cag07420.pdf
- González, Cervantes, X., Torres, E., Sánchez, C., y Simba, L. (2010). Caracterización del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 3(2), 7–11. http://www.erevistas.csic.es/ficha_articulo.php?url=oai_revista718:65&oai_iden=oai_revista718
- González, J. (2016). *Evaluación higiénica de ruido y vibraciones en los Viveros Municipales Tejavana (Córdoba)* [Tesis de posgrado, UNIR]. <https://reunir.unir.net/handle/123456789/4535>
- Instituto Alemán de Normalización. (2006). *Iluminación artificial. Parte 6: Medición y evaluación*, (DIN 5035-6:2006-11). <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/din/?c=90757408>

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2012). *NTP 950: Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (I): Incertidumbre de la Medición*. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/926a937/950w.pdf>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2005). *Guía Técnica Para La Evaluación y Prevención de Los Riesgos Relacionados Con Las Vibraciones Mecánicas*. <https://www.insst.es/documents/94886/203536/Guía+Técnica+para+la+evaluación+y+prevención+de+los+riesgos+relacionados+con+las+vibraciones+mecánicas/817c3e60-3256-4bdb-accb-e25b430cd91e>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2006). *Guía Para La Evaluación y Prevención de Los Riesgos Relacionados Con La Exposición de Los Trabajadores Al Ruido*. https://www.insst.es/documents/94886/96076/guía_técnica_ruido.pdf/85821846-2195-4359-94eb-08fdc6457dce
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1989). *Iluminación en el puesto de trabajo*. <https://www.adpreven.es/wp-content/uploads/2016/02/Iluminacion-en-el-puesto-de-trabajo.pdf>
- Martínez Guirao, J. E. (2016). Riesgos laborales en la construcción. un análisis sociocultural. *Universitas*, 23, 65. <https://doi.org/10.17163/uni.n23.2015.03>
- Organización Mundial de la Salud. (2015). Departamento de Enfermedades No Transmisibles, Discapacidad y Prevención de La Violencia y Los Traumatismos (NVI). http://www.who.int/pbd/deafness/activities/MLS_Brochure_Spanish_lowres_for_web.pdf
- Picard, M., Girard, S. A., Courteau, M., Leroux, T., Larocque, R., Turcotte, F., Lavoie, M., y Simard, M. (2008). Could driving safety be compromised by noise exposure at work and noise-induced hearing loss? *Traffic Injury Prevention*, 9(5), 489–499. <https://doi.org/10.1080/15389580802271478>
- Real Decreto 286/2006 de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. *Boletín Oficial Del Estado*, núm. 60, 1-12. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/2006/286_2006/PDFs/realdecreto-2862006de10demarzobrelaprotecciondelasal.pdf
- Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. *Boletín Oficial Del Estado*, núm. 265, 1-11. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/1999/1254_99/PDFs/realdecreto12541999de16dejulioporelqueseapruebanlasmTxtAnt.pdf

- Saldaña, A., Hernando, L., y Núñez, J. (2015). Fundamentos de las técnicas de mejora de las condiciones de trabajo y ámbito jurídico de la prevención. *Logroño - La Rioja: Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Material No Publicado.*
- Sierra, C., y Bedoya, M. (2016). Prevalence of Sensorineural Hearing Loss Induced Noise in Wood Sector Companies City Cartagena. *Nova, 14(25), 47–56.* http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702016000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=

ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE COMPONENTES DE TURBINAS DE AVIÓN*

RAFAEL GRANADOS GIL**

<https://orcid.org/0000-0003-4874-9187>

ILEANA MONSREAL BARRERA*

<https://orcid.org/0000-0003-4567-9830>

JUAN JOSÉ BARRERA GUTIÉRREZ*

<https://orcid.org/0000-0002-3098-4667>

Universidad Autónoma de Yucatán, México

Recibido: 18 de febrero del 2021 / Aprobado: 15 de julio del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5540>

RESUMEN: La particular situación de la industria aeronáutica para los próximos años obligará a las plantas productoras vinculadas con ésta a analizar sus procesos productivos buscando, entre otras cosas que podrían destacarse, mayor flexibilidad y eficiencia. El presente artículo analiza el proceso de manufactura de una línea de producción de componentes de turbinas de avión que enfrentaba problemáticas en su flujo y capacidad de producción, por lo que se plantean propuestas realistas y acordes al caso que permitan mejoras en su capacidad en un futuro cercano. En este estudio se utilizó la metodología aplicada por Okutmuş *et al.* (2015) para la recolección de datos y, posteriormente, para el análisis de la información, se recurrió a la metodología utilizada por Molano y Materón (2018). Finalmente se concluye que se podría incrementar la capacidad de producción. Por ello, se presentan propuestas realistas sobre el caso, que permiten mejorar su capacidad en un futuro próximo.

PALABRAS CLAVE: capacidad de producción / procesos / tiempo de ciclo / industria aeronáutica

* Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación Final de la versión publicada.

** Correos electrónicos: rafaelgranados93@outlook.com; ileana.monsreal@correo.uady.mx; juanjbz2@outlook.com

PROCESS ANALYSIS OF A PRODUCTION LINE OF AIRCRAFT TURBINE COMPONENTS

ABSTRACT. The particular situation of the aeronautical industry in the coming years will force related manufacturing plants to analyze their production processes seeking, among other things that could be remarkable, greater flexibility and efficiency. This article analyzes the manufacturing process of a production line of aircraft turbine components, which faced flow and production capacity problems. The study used the methodology applied by Okutmuş et al. (2015) for data collection, and subsequently, resorted to the methodology used by Molano & Materón (2018) to analyze of the information. Finally, it concludes that production capacity could be increased. Therefore, realistic proposals on the case are presented, which allow improvements in its capacity in the near future.

KEYWORDS: production capacity / processes / cycle time / aeronautical industry

1. INTRODUCCIÓN

En 2018 la industria aeronáutica se encontraba en una etapa importante de crecimiento y desarrollo ya que se esperaba que entre el 2017 y el 2036 hubiera un incremento en el sector del transporte aéreo de un 83,6 % (AIRBUS, 2018), lo que se traduciría en una demanda de 35 000 aviones en los próximos veinte años. Sin embargo, dada la situación actual debida a los efectos de la pandemia que se está viviendo desde el 2020 y de acuerdo con Semprún (2021), las aerolíneas de todo el mundo han reducido un 20 % su flota en servicio y frenado la compra y recepción de nuevos aviones por el desplome de la demanda, que tardará tres años más en superar los efectos del COVID-19, retrasando así a 2026 la recuperación total de la industria aeronáutica.

Esta situación supone un gran reto para las plantas productoras de esta industria, que se verá obligada a reducir sus niveles de producción, pero con la posibilidad latente de reactivación posterior, por lo que requerirá procesos productivos más eficientes, flexibles y de menor costo que los que actualmente tiene.

Es así como, considerando la paradójica situación planteada, se hace necesario abordar la mejora de los procesos productivos de una industria que da trabajo a una gran cantidad de personas en el mundo; tan solo para citar un ejemplo, en Baja California, México, según De León (2021) citando al Gobierno del Estado, al presente año se estima que existen cien empresas, que dan trabajo a alrededor de 33 000 personas, cuya supervivencia está ligada a la microeconomía de este sector.

El presente artículo es un acercamiento al sector aeronáutico mediante el análisis del proceso de un estudio de caso; sin que pretendamos ser exhaustivos, consideramos que los estudios de caso, particularmente ligados a actividades productivas, son claves para entender situaciones que pueden servir para evitar en otras organizaciones los mismos errores o bien comprender mejor las causas y sus consecuencias, tal como sucede en la medicina, en la que muchas veces se parte del estudio de un paciente que presenta alguna enfermedad o trastorno para posteriormente acumular diversos casos que lleven a conclusiones que en un inicio no se vislumbraban.

Son varios los trabajos que han abordado el análisis de procesos para detallar sus efectos en las organizaciones; los efectos que los procesos puedan traer a la industria van desde ahorro en insumos hasta la mejora de procesos; entre las referencias que se consideraron para el desarrollo de la metodología con la que se trabajó, se encuentran:

Ortiz-Triana y Caicedo-Rolón (2015) concluyeron que los problemas relacionados con la capacidad se presentan por la existencia de cuellos de botella causados por equipos y falta de personal operativo, así como también por una mala programación de actividades.

Serrano-Gómez y Ortiz-Pimiento (2012) realizaron una revisión de la literatura sobre los diferentes modelos para el mejoramiento de procesos con la finalidad de alinear las operaciones de las empresas con sus prioridades estratégicas.

Luna-Puente *et al.* (2010) abordaron el tema en la industria textil al realizar un análisis del proceso de fabricación de cuellos para playeras tipo polo, con la finalidad de disminuir las pérdidas ocasionadas por el desperdicio de hilo.

Arango-Serna *et al.* (2015) aplicaron la metodología Kanban y el análisis de su efecto en una empresa de fabricación de transformadores. Mediante la aplicación de su propuesta fueron capaces de mejorar la programación de la producción y redujeron la cantidad de producto en proceso no utilizado, de forma que fue posible reducir el inventario.

De igual forma, Robles (2012) realizó una propuesta de mejora en el proceso productivo de una empresa dedicada a la producción de cereales, mediante la implementación del Lean Manufacturing; con ello se logró identificar las deficiencias del proceso, disminuir los tiempos de producción y generar menos merma y ahorros económicos para la empresa.

Autores como Rocha, Pinto y Silva (2018) trabajaron con la filosofía Lean en una empresa de manufactura de joyería y aplicaron diferentes herramientas como los sistemas Pull, Kanban, 5 S's, entre otros, para impulsar la efectividad y la eficiencia de la operación de la planta y lograr disminuir productos defectuosos, inventarios excesivos, problemas de transporte y tiempos de espera.

Molano y Materón (2018) realizaron un análisis de los procesos en una empresa de alimento para animales con la finalidad de identificar los principales factores que afectan la productividad y plantearon propuestas para aumentarla, así como para reducir los tiempos de ciclo.

La teoría de restricciones cobra importancia al ser una metodología que se ha utilizado ampliamente en todo tipo de industrias, tanto públicas como privadas, como lo señalan Okutmuş *et al.* (2015), quienes aplicaron esta teoría en la industria Mueblera para identificar las restricciones en el proceso productivo mediante la metodología que Goldratt propuso en 1984.

Tao *et al.* (2018) describen la creciente cantidad de información generada por las empresas hoy en día y enfatizan la importancia del análisis de la misma, mediante herramientas de análisis estadístico y Big Data, que permitan incrementar la eficiencia de la industria manufacturera, así como aportar sustento a la toma de decisiones, supervisión de operaciones y equipo, control de calidad, predicción de fallas y mantenimiento inteligente.

Sin embargo, es poca la información sobre procesos productivos de la industria aeronáutica y es, en ese sentido, que cobran importancia trabajos como el presente que,

abordado como estudio de caso, se acerca al planteamiento de Hernández-Pólito (2013) que plantea una estrategia de investigación cuya información resultante puede coadyuvar en la toma de decisiones sobre situaciones “fuera de lo generalmente esperado” en la conducción de las organizaciones. Es una estrategia guiada por tres preguntas de investigación centrales: ¿Cuándo? ¿Cómo? y ¿Por qué? La premisa es la necesidad de entender en profundidad el caso. La investigación mediante el método de los estudios de caso permite la exploración y comprensión de las situaciones complejas que se enfrentan y, esencialmente, cuando encontramos que las ideas y conceptos de la teoría de la administración no operan bajo ciertas condiciones.

Como ya se mencionó, el presente artículo aborda uno de esos complejos procesos de la industria aeronáutica; el principal objetivo del trabajo fue analizarlo y plantear propuestas realistas y acordes al caso de una línea de productos (que denominaremos NG por razones de confidencialidad) que permitan en un futuro cercano aumentar la capacidad de producción de dichos componentes, mediante la disminución del tiempo de ciclo de proceso. Una vez detectadas las causas, se presentan las propuestas de mayor impacto que ayudarían a reducir o eliminar las trabas encontradas. Cabe comentar que, aunque el estudio implicó gran profundidad en el análisis, la alta dirección de la empresa consideró que hay información que no debe ser pública pues puede afectar a la empresa o afectar los intereses de sus clientes, razón por la cual se tuvo particular cuidado en mantener el nombre, los datos, las cifras y los cálculos que ellos consideraron delicados, fuera de la presente publicación.

La lista de problemas que afectaban la capacidad de producción en la planta objeto de estudio se resume a continuación:

- Mala programación específica de la producción: no se conocían las capacidades exactas de los equipos y procesos.
- Recurso humano ocioso.
- Problemas de flujo de materiales.
- Equipos detenidos por calibraciones vencidas.

Así también cabe comentar que, al iniciar el trabajo, la planta no contaba con un estándar de medición de la productividad de todo el sistema. El único parámetro de medición consistía en cubrir diariamente el equivalente a un número determinado de horas estándar de trabajo (ESH: *earned standard hours* en inglés). Este número no era fijo y aumentaba cada mes, según lo determinaba la gerencia y el estamento corporativo de la empresa. A cada producto o número de parte se le asignaba un valor en ESH, determinado por la industria estadounidense, que oscilaba entre 0,1 y 5 horas por pieza, dependiendo del grado de complejidad del producto, ya que, a este valor se le atribuía el tiempo efectivo invertido

a cada pieza. La planta iba sumando tiempo estándar al finalizar el procesamiento de cada pieza a través de todas las operaciones de su ruta de trabajo.

Adicionalmente, al iniciar el proyecto, observamos en la planta una cierta conformidad con la producción y el modo de operar, dado que, siendo una maquiladora, mucho se definía en las oficinas centrales y no se detectaba preocupación por su proceso productivo a pesar de situaciones que evidenciaban fallas importantes.

2. METODOLOGÍA

El enfoque de este trabajo fue mixto, ya que incorpora elementos de enfoques tanto cualitativos como cuantitativos.

Se presenta un tipo de diseño preexperimental, específicamente de un caso de estudio único. Este tipo de diseño permite tomar la realidad de un evento ocurrido en una organización y que es idóneo para investigar, ya que sirve para explicar relaciones causales complejas, estudiar cambios a través del tiempo, elaborar perfiles descriptivos y generar teorías o generalizaciones teóricas utilizando una perspectiva holística del fenómeno estudiado, entendiendo el contexto real en el que se desarrollaron los hechos (Saavedra García, 2017).

Cómo investigadores se aplicó la técnica de observación-participación, en la que el investigador baja al campo, se adentra en el contexto social que quiere estudiar, vive cómo y con las personas objeto del estudio, comparte con ellas la cotidianidad, les hace preguntas, descubre sus preocupaciones y sus esperanzas, sus concepciones del mundo y sus motivaciones al actuar, con el fin de desarrollar esa visión desde dentro tan importante para la comprensión (Corbetta, 2007).

Usando como referencia la metodología que aplicaron Okutmuş *et al.* (2015) para el análisis del proceso y Molano y Materón (2018) para la reducción de tiempos de ciclo, se utilizó la metodología presentada a continuación.

Etapa 1: Diagnóstico de la situación mediante el análisis de los tiempos de ciclo de la línea de productos NG.

- 1.1 Descripción del proceso.
- 1.2 Identificación de los tiempos de ciclo.
- 1.3 Determinación de la capacidad máxima de producción.
- 1.4 Determinación del tiempo de ciclo máximo permisible.

Etapa 2: Identificación de las principales causas de ineficiencia en la operación.

- 2.1 Identificación preliminar de las principales causas.

2.2 Definición del grado de afectación de cada una de las causas identificadas.

Etapa 3: Propuestas de solución que permitan mejorar el flujo de productos e incrementar la capacidad de producción en un futuro cercano.

3. RESULTADOS

ETAPA 1. Descripción del proceso de producción

La secuencia general del proceso de manufactura de los productos NG se muestra en la figura 1.

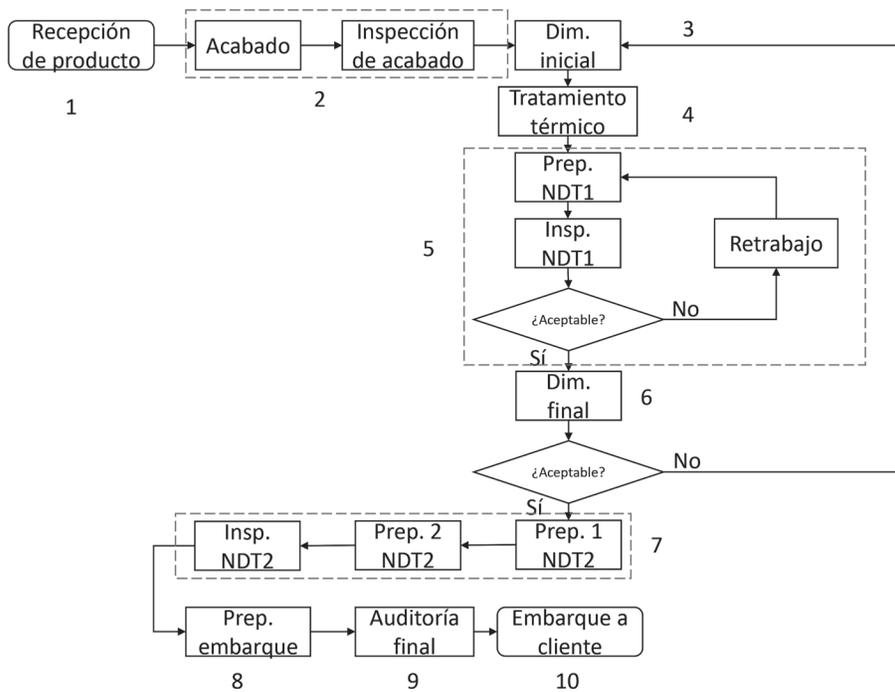


Figura 1. Proceso
Elaboración propia

Como se observa en la secuencia presentada en la figura 1, en todo el proceso de manufactura intervienen una larga serie de operaciones e inspecciones. Aquellas operaciones marcadas con líneas punteadas son las que conllevan un mayor tiempo. A continuación, se describe brevemente el proceso de manera general:

- **Recepción de producto:** en esta etapa inicia el proceso en la planta. Todos los días, las plantas de fundición de Estados Unidos envían producto a México por

avión para su procesamiento. El producto llega en cajas a la planta y es descargado de los vehículos del transportista para ser ubicado en el área de entrada de producto denominada *incoming* o recepción; aquí el producto espera hasta ser programado en las operaciones de acabado para iniciar su procesamiento. Dicha área cuenta con un auxiliar de producción encargado de ordenar y clasificar el producto tan pronto llega para facilitar su ubicación por cliente y número de parte. Una vez realizada la programación del trabajo, es el auxiliar el encargado de llevar el producto al área de trabajo para que el personal operativo pueda trabajar las piezas asignadas durante el turno.

- **Trabajo de acabado e inspección:** Esta es una de las operaciones principales del proceso, consiste en eliminar los principales defectos presentes en la superficie de la pieza, procedentes del proceso de fundición. Estos defectos son removidos mediante el uso de materiales abrasivos. Permiten eliminar rebabas, irregularidades superficiales como porosidad, entre otros defectos del proceso de fundición. Existen defectos no removibles, característicos del proceso de fundición que comprometen la integridad de la pieza en funcionamiento, por lo que estas piezas son rechazadas desde un inicio. La finalidad de esta operación es obtener una pieza visualmente aceptable según las especificaciones de cada cliente. Una vez que la pieza obtiene la conformidad, es aceptada y se mueve a la siguiente operación.
- **Inspecciones dimensionales:** Se realiza una inspección dimensional inicial (preliminar) y una inspección final. Esta operación consiste en la medición de ciertas características de las piezas mediante la utilización de diferentes herramientas y equipos de medición, para corroborar que sus dimensiones corresponden a las que cada cliente especifica en sus planos. Al detectarse algún defecto en la pieza, esta se debe reparar para lograr que la medición se inscriba en el rango de tolerancia. Las reparaciones pueden ir desde desgastar un punto de la pieza mediante el uso de abrasivos como lijas o chorros de arena hasta torcer o doblar alguna característica de la pieza. Es importante recalcar que cada número de parte cuenta con un equipo específico que solo puede usarse para ese determinado producto. La inspección final es la verificación de las piezas medidas y reparadas en la medición inicial. Consiste en la medición completa de todas las características que el cliente requiere para la aceptación de la pieza. Si la pieza es conforme, se acepta y se mueve a la siguiente operación, si es rechazada, la pieza tiene que ser retrabajada. Las operaciones inicial y final se realizan en la misma área y utilizan los mismos equipos, por lo que estas operaciones comparten recursos entre sí.
- **Tratamiento térmico:** Esta operación consiste en ciclos controlados de calentamiento y enfriamiento de las piezas metálicas con la finalidad de cambiar

sus propiedades físicas y mecánicas. Usualmente se utiliza para aumentar la fuerza y resistencia del material, aunque también puede ser utilizada para alivio del estrés mecánico interno del material, para tener como resultado una pieza dimensionalmente estable, menos propensa a tener variaciones en sus dimensiones debido a la redistribución del estrés residual (Engineers Edge, 2018).

- **Pruebas no destructivas (NDT):** Las pruebas no destructivas consisten en diferentes evaluaciones e inspecciones que se realizan a las piezas para identificar defectos que no son detectables a simple vista, pero sin afectar la integridad del material evaluado. Las pruebas no destructivas realizadas en la planta se llevan a cabo con la finalidad de detectar defectos no apreciables a simple vista como grietas, daños internos, y otras fallas características del proceso de fundición.
- **Preparación para embarque:** Esta es la última etapa de los procesos realizados en la planta y consiste en la aplicación de un número de serie único a cada pieza (para dar trazabilidad al producto una vez que las piezas han salido de la planta) y su posterior empaque final.
- **Auditoría final:** Es una auditoría previa al embarque del producto al cliente mediante el muestreo de determinado número de piezas, dependiendo de la cantidad que se requiera enviar al cliente (al menos un 20 %) y puede realizarse de manera diaria o semanal. Se inspeccionan diferentes características de la pieza de manera aleatoria. Si la auditoría se acepta, se libera el producto para embarque; si se rechaza, se inspecciona todo el lote al 100 % hasta confirmar que el problema se ha corregido.
- **Embarque al cliente:** Una vez que el producto está terminado y ha sido auditado, este queda liberado y disponible para ser enviado directamente al cliente. El producto empacado es llevado al almacén de productos terminado en donde, de acuerdo con los requerimientos del cliente, es embalado y puesto en tarimas para su recolección y envío al cliente.

Descripción del problema

La figura 2 muestra la demanda proyectada por el cliente para la línea de productos NG para los próximos años. Como se puede observar, entre el 2018 y el 2025 se planeaba incrementar la demanda en más de un 85 %.

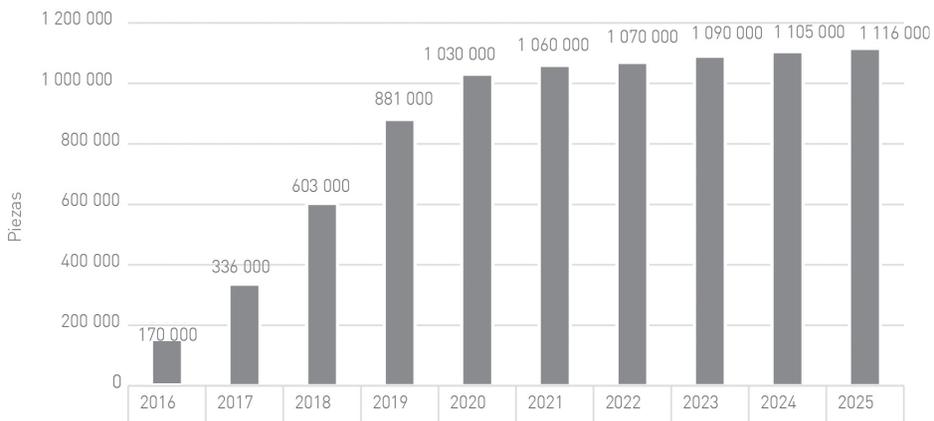


Figura 2. Gráfica de la proyección de demanda de los productos NG
Elaboración propia a partir de la información del cliente

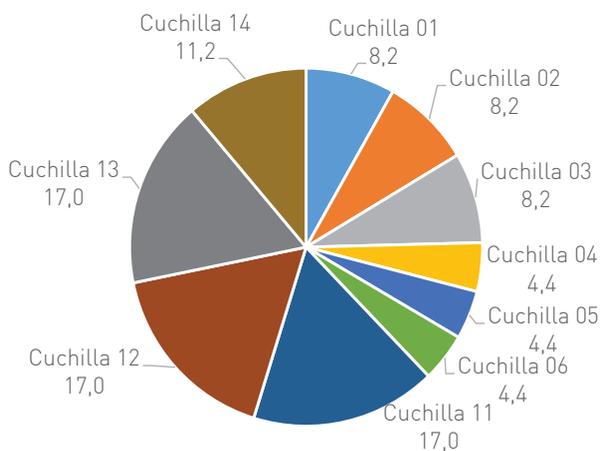


Figura 3. Gráfica del desglose de la demanda por producto de la familia NG (porcentajes)
Elaboración propia

La familia de productos NG está conformada por 10 productos diferentes utilizados en dos motores distintos. La proporción de la demanda por número de parte se muestra en la figura 3.

La planta no contaba con un estándar de medición de productividad para todo el sistema. El único parámetro que se tenía era el de cubrir diariamente el equivalente a un número determinado de horas estándar de trabajo (ESH: *earned standard hours*), este

número no era fijo y cada mes aumentaba, según decisiones de la gerencia y del estamento corporativo de la empresa. Cada producto contaba con un valor ESH asignado por las plantas de Estados Unidos, el cual oscilaba entre 0,1 y 5 horas por pieza. Las piezas de mayor volumen contaban con valores asignados como se observa en la tabla 1.

Tabla 1

Valor en ESH por producto NG (asignados por las plantas de EE. UU)

Producto	Horas estándar
Cuchilla 01	0,45
Cuchilla 02	0,45
Cuchilla 03	0,50
Cuchilla 04	0,61
Cuchilla 05	0,52
Cuchilla 06	0,57
Cuchilla 11	0,456
Cuchilla 12	0,502
Cuchilla 13	0,50
Cuchilla 14	0,73

Elaboración propia

Fuera de esto, no se contaba con otro indicador que reflejara alguna medida de productividad de la planta ya que se desconocían los tiempos reales invertidos en el procesamiento de cada producto. Para conocer los tiempos reales de producción de cada producto, se consultó la base de datos de la empresa (por razones de confidencialidad no se proporciona el detalle) con ayuda del programa SQL Server Management Studio. En él se consultó el tiempo medio que transcurría entre el momento en que una pieza era liberada de una operación y era procesada en la siguiente, es decir, el tiempo que espera cada pieza desde que es puesta en cola para ser procesada en la siguiente operación hasta que finaliza su procesamiento en dicha operación; se consideraron todas las operaciones correspondientes al proceso respectivo. Con los datos obtenidos se construyó la tabla 2.

Tabla 2
Tiempo real promedio para completar el procesamiento de una pieza

Producto	Tiempo real de producción por producto (horas)
Cuchilla 01	124,77
Cuchilla 02	176,85
Cuchilla 03	156,57
Cuchilla 04	143,60
Cuchilla 05	139,21
Cuchilla 06	125,96
Cuchilla 11	115,04
Cuchilla 12	100,75
Cuchilla 13	97,54
Cuchilla 14	93,89

Elaboración propia

Comparando los valores presentados en la tabla 1 con los tiempos estándar mostrados en la tabla 2, se puede apreciar que la diferencia es significativa, y esto demuestra la existencia de largos tiempos de espera que derivan en largos tiempos de ciclo (tiempo transcurrido entre la primera y la última actividad del proceso por pieza) por lo que se hizo necesario realizar un análisis de las operaciones para determinar cuáles son los factores que afectaban y prolongaban el tiempo de procesamiento.

Identificación de tiempos de ciclo

Con la información proporcionada por la empresa se construyó la tabla 3 con las principales operaciones y el tiempo que tarda la realización de cada una.

Tabla 3
Duración de las principales operaciones del proceso

Estación de trabajo (secuencia)	Definición de la actividad	Piezas / hora (por operador o equipo)	Número de operadores o equipos	Duración (min / pza)
1	Operación de acabado	19,00	36	0,09
2	Inspección dimensional inicial	28,00	12,8	0,17
3	Tratamiento térmico	416,67	3	0,05
4	Preparación para prueba no destructiva 1	230,00	4	0,07
5	Prueba no destructiva 1	190,00	5	0,06
6	Inspección dimensional final	39,00	9,2	0,17
7	Preparación para prueba no destructiva 2 (etapa 1)	140,00	4	0,11
8	Preparación para prueba no destructiva 2 (etapa 2)	63,00	11	0,09
9	Prueba no destructiva 2	188,00	4	0,08
10	Preparación para embarque a cliente	103,00	6	0,10
			Total	0,97

Elaboración propia

Determinación de la capacidad máxima

De acuerdo con la tabla anterior y considerando que la capacidad está determinada por la operación con el tiempo más largo por unidad dentro de un proceso (teoría de restricciones), para la producción de productos NG los principales cuellos de botella son dados por las operaciones dimensionales inicial y final. De acuerdo con la tabla 3, cada 0,97 minutos se debía obtener una pieza finalizada. En función de esto, se calcularon los siguientes parámetros referentes al tiempo de ciclo, utilizando la ecuación 1:

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{\text{Tiempo disponible por día}}{\text{Tiempo de ciclo por unidad}} \quad (1)$$

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{(24 \text{ horas/día})(60 \text{ minutos/hora})}{0,97 \text{ minutos /unidad}}$$

$$\text{Producción diaria máxima} = \frac{1440}{0,97} = 1464,54 \text{ unidades /día}$$

Determinación del tiempo de ciclo máximo permisible

Considerando que la proyección de la demanda para el 2020 en ese entonces era de 1 030 000 piezas al año, que en ese año se tendrían 305 días laborales, con el nivel de producción que se tenía se estimó que no sería posible satisfacer las necesidades del cliente. Con ayuda de la Ecuación 2, se procedió a calcular el tiempo de ciclo máximo permisible (TCMP) que lograría satisfacer las necesidades del cliente para ese año.

$$TCMP = \frac{\text{Tiempo disponible por día}}{\text{Número de unidades deseadas por día}} \quad (2)$$

$$TCMP = \frac{1440}{(1\ 030\ 000/305)}$$

$$TCMP = 0,4264 \text{ minutos/unidad}$$

Lo que indicaba que el tiempo de ciclo debía ser disminuido de 0,97 a 0,4264 ya que es el tiempo de ciclo máximo permisible.

ETAPA 2. Identificación de las principales causas de ineficiencia en la operación

Ante los resultados del análisis de tiempos, se procedió a realizar monitoreos en el piso de producción haciendo énfasis en las operaciones en las cuales fueron detectados los tiempos más largos (inspección dimensional inicial, tratamiento térmico, inspección dimensional final y prueba no destructiva 2).

Como resultado de entrevistas preliminares con el personal de producción (coordinadores, supervisores y personal operativo) se detectaron algunos factores que podrían estar afectando la capacidad del proceso, los cuales se presentan en el siguiente diagrama de Ishikawa, véase figura 4,

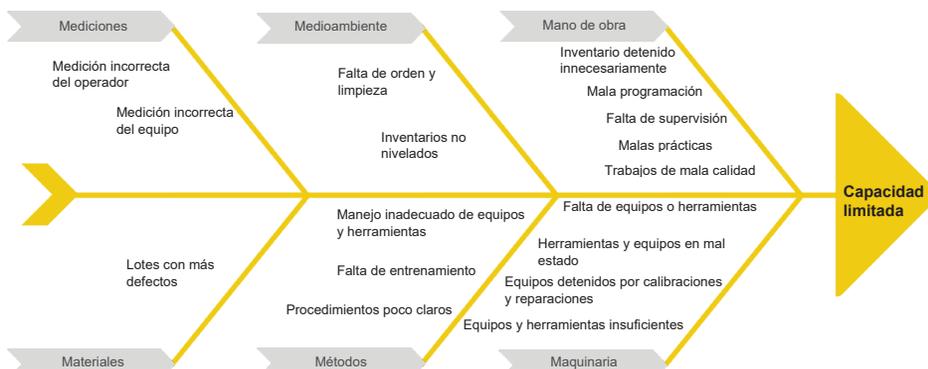


Figura 4. Diagrama de Ishikawa para identificar los factores que podrían estar afectando la capacidad del proceso, de acuerdo con las entrevistas preliminares al personal. Elaboración propia

Posteriormente y a fin de tener mayor precisión con respecto a la apreciación preliminar, se le solicitó al personal del departamento de producción que, de acuerdo con su experiencia, asignaran una calificación a cada una de las causas identificadas, según su nivel de impacto en la capacidad de producción, con una escala Likert del 1 al 5, en donde 1 significa bajo impacto y 5 significa alto impacto, con la finalidad de cuantificarlas y detectar cuáles son las causas que afectan más significativamente la operación. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4
Causas que afectan la capacidad de producción

Causa	Coord. 1	Coord. 2	Superv. 1	Superv. 2	Superv. 3	Total	Porcentaje	
Inventario detenido innecesariamente (malas prácticas)	5	4	5	4	5	23	11,22	
Falta de orden y limpieza	5	4	4	4	3	20	9,76	
Equipos y herramientas insuficientes	4	4	4	4	4	20	9,76	
Equipos detenidos por calibraciones y reparaciones	3	4	3	4	4	18	8,78	
Inventarios no nivelados (distribución de producto)	4	3	4	2	4	17	8,29	
Lotes con más defectos	3	3	4	2	3	15	7,32	
Equipos detenidos por distracción del personal	2	3	3	2	3	13	6,34	
Trabajos de mala calidad	2	3	3	2	2	12	5,85	
Mala programación	3	1	2	3	2	11	5,37	
Falta de supervisión	2	2	1	3	1	9	4,39	
Manejo inadecuado de equipos y herramientas	2	2	1	1	2	8	3,90	
Fallo de equipos o herramientas	1	2	2	1	2	8	3,90	
Procedimientos poco diarios	1	1	3	1	1	7	3,41	
Falta de entrenamiento	1	1	2	2	1	7	3,41	
Medición incorrecta del equipo	1	1	1	2	1	6	2,93	
Herramientas y equipos en mal estado	1	1	1	2	1	6	2,93	
Medición incorrecta del operador	1	1	1	1	1	5	2,44	
						Total	205	100,00

Elaboración propia

Según la tabla 4, se determinó que las principales causas eran:

1. Inventario detenido innecesariamente: Con el personal de acabado, inspección dimensiona inicial y dimensional final se detectó que el personal detenía el producto ya trabajado con el fin de “disminuir el número de vueltas”. Estos tiempos de espera son los que aportaban mayor cantidad de tiempo de procesamiento y no agregaban ningún valor al producto.
2. Falta de orden y limpieza: Durante los procesos se utilizan bandejas que, dependiendo del tamaño del producto que estén transportando, pueden almacenar entre dos y ochenta piezas. Era común encontrarse con charolas que tenían piezas de otra operación, esto tenía un efecto negativo ya que el procesamiento del producto se realiza por número de serie, por lo que tener piezas que no corresponden a una operación implicaba destinar tiempo a identificar, separar y moverlas a la operación correspondiente.
3. Equipos y herramientas insuficientes: Faltaban equipos para el procesamiento, especialmente los equipos de medición que se utilizan en las operaciones dimensionales inicial y final para medir las dimensiones de las piezas. La problemática era compleja debido a que, aunque se tenía personal suficiente para mantener un buen flujo de producto, las complicaciones se presentaban dependiendo del inventario de partes disponible que es proporcionado por las plantas suministradoras. La familia de productos NG tiene 10 números de partes diferentes y cada uno de ellos utiliza equipos con características diferentes lo que no permite mucha flexibilidad en el proceso y propicia que en muchas ocasiones grandes inventarios queden en cola en algunos equipos mientras que otros no contaban con material para trabajar.
4. Equipos detenidos por calibraciones y reparaciones: se tenía un problema por la falta de comunicación, coordinación y seguimiento entre los departamentos de calibraciones y producción al momento de retirar los equipos de medición de piso para someterlos a calibraciones programadas. En general, el área de producción no daba un correcto seguimiento y no se tomaban medidas preventivas para el momento en que no se contara con los equipos en piso de producción. Entre los problemas que más comúnmente se presentaban estaban los siguientes:
 - El departamento de calibraciones tomaba un equipo para darle mantenimiento sin que el área de producción lo supiera.
 - Una vez que finalizaba la calibración, el equipo era regresado a piso de producción sin dar aviso.
 - Cuando un equipo entraba a calibración se le detectaban otros problemas, lo que provocaba que se quedara inactivo por más tiempo del previsto.

ETAPA 3. Propuestas

En general, las propuestas se engloban en dos grupos:

- Mejora continua y buenas prácticas (propuestas 1, 2, y 4).
- Adquisición de equipos (propuesta 3).

Propuesta 1

Se propuso comenzar a monitorear la frecuencia de liberación de producto como parte de las actividades de supervisión, de tal manera que se pueda tener un flujo constante en la producción hora con hora y de esta forma evitar picos a la mitad del turno y al final de este; así también se planteó la contratación de personal dedicado exclusivamente al movimiento del producto de una operación a la siguiente.

Propuesta 2

Establecer un mecanismo de nomenclatura de los *racks* que permitiera identificar fácilmente la operación a la que corresponden, el cliente, la familia de producto y, en casos particulares como los productos NG que cuentan con un mayor volumen de piezas, el número de parte. Se propuso adaptar a cada *rack* un letrero con información del proceso, como se observa en la figura 5.

Con este cambio se estima que los cuatro minutos dedicados cada dos horas al movimiento y acomodo de producto en las áreas ya comentadas se pueden reducir a un minuto cada dos horas, lo que para un turno de 8 horas (450 minutos sin considerar media hora de comida) representa una disponibilidad de tiempo productivo del 2,4 %.



Figura 5. Propuesta de identificación de *racks*

Elaboración propia

Propuesta 3

1. Adquisición de equipos:

La falta de equipos es un factor crucial que impide eliminar la restricción para tener un mejor flujo de producto. Dado que se conocía el volumen de ventas requerido y los requerimientos por número de parte individual, se pudo estimar el equipo requerido para posteriormente determinar el equipo faltante, lo que se presenta en la tabla 5.

Tabla 5
Resultados del cálculo de equipo faltante

Modelos	Equipos de medición		
	Requeridos	Disponibles	Faltantes
Cuchilla 01	3	2	1
Cuchilla 02	3	2	1
Cuchilla 03	3	2	1
Cuchilla 04	2	2	0
Cuchilla 05	2	2	0
Cuchilla 06	2	2	0
Cuchilla 11	5	2	3
Cuchilla 12	5	3	2
Cuchilla 13	5	3	2
Cuchilla 14	4	2	2

Elaboración propia

Se observa que, para satisfacer la demanda proyectada en las operaciones dimensionales inicial y final, es necesario incrementar la cantidad de equipos de medición en doce unidades.

2. Incremento de horas laborales y adquisición mínima de equipos:

Se planteó que, dado que las operaciones identificadas trabajan seis días a la semana, existía la posibilidad de incrementar su capacidad al trabajar un día más. Con veinticuatro horas más de operación se tendría un incremento de 1/6 sobre la capacidad, 16,67 % de aumento para estas operaciones. Con un día más de trabajo la cantidad de equipos a adquirir disminuiría, sin embargo, se necesitaría la contratación de personal para cubrir descansos, al igual que el pago de primas dominicales.

Propuesta 4

De manera general, se propone la implementación de la cultura del *Total Productive Maintenance* tan pronto como sea posible, considerando lo que plantea Kiran (2016):

- Maximizar la efectividad de los equipos.
- Establecer un sistema de mantenimiento preventivo minucioso que abarque toda la vida útil del equipo.
- Involucrar no únicamente al departamento de mantenimiento sino al personal operativo, de ingeniería, etcétera.
- Promover el mantenimiento preventivo de los equipos a través de la promoción de este.

De manera específica, se propone implementar un plan de calibraciones (a manera de plan de mantenimiento) en el que se establezcan los tiempos promedio de calibración por equipo, así como las fechas en que los equipos serán retirados de uso para tener fechas tentativas en que serán regresados al piso de producción; de igual forma, se propone que mes a mes se informe sobre las calibraciones correspondientes para que el área de producción esté informada y pueda tomar medidas pertinentes.

A continuación, se presentan de manera resumida las propuestas:

Tabla 6

Principales causas de ineficiencia en la producción identificadas y propuestas de solución

Resumen de propuestas			
Causa 1	Propuesta de solución 1	Causa 2	Propuesta de solución 2
Inventario detenido innecesariamente por malas prácticas, retención de producto y afectación del flujo de este.	Monitoreo en la liberación del producto y movimiento a las siguientes operaciones. Contratación de personal para movimiento de producto.	Falta de orden y limpieza en el acomodo de producto que rezaga el producto y atrasa su procesamiento.	Establecer identificación de los racks de transporte y almacenamiento de producto para no mezclar diferentes números de parte correspondientes a procesos diferentes.
Causa 3	Propuesta de solución 3	Causa 4	Propuesta de solución 4
Equipos y herramientas insuficientes para el procesamiento del producto. Producto permanece en cola por largos tiempos.	Adquisición de equipos e incremento de horas de operación.	Equipos detenidos por calibración y reparaciones. No se cuenta con todos los equipos disponibles en el piso de producción.	Implementación de la cultura del <i>Total Productive Maintenance</i> , así como mejorar la comunicación interdepartamental mediante el uso de controles y notificaciones.

Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

Primero hay que hacer notar que, aunque en un principio no se mostraba mayor interés en la situación del proceso, dada la conformidad que se observó al inicio, a medida que se avanzó en el análisis, particularmente al comparar las proyecciones de demanda con las posibilidades de producción, la perspectiva cambió, pues se hizo patente el riesgo futuro que tenía la maquiladora ante una realidad no vislumbrada.

Durante el desarrollo del presente proyecto se identificaron cuáles son las principales causas que afectan al proceso y se realizaron propuestas para que no solo se mitigaran sus efectos, sino que se agilizará el flujo del proceso, lo que impactará en la flexibilización de éste, dado que podrá producirse una mayor diversidad de productos por día de acuerdo con los requerimientos de los clientes.

En contraste con los tiempos estándar de proceso de una pieza que la empresa había establecido, los cuales son menores a una hora, se encontró que el tiempo de procesamiento promedio de una pieza era mucho mayor al definido, pudiendo tomar más de 170 horas el llevar una unidad desde la actividad inicial hasta el momento en que se empacaba y se preparaba para el cliente. Se identificó que el tiempo efectivo invertido en una pieza debía ser de 0,97 minutos, por lo que, al compararlo con el tiempo real de procesamiento, se encontró que existía una gran afectación al proceso debido a largos tiempos improductivos y de espera que derivaban en largos tiempos de ciclo.

Se identificaron las principales causas de ineficiencia en la operación, entre las que se encontraron las malas prácticas del personal que afectaban el flujo de producto, al no moverlo a las siguientes operaciones, la falta de orden y limpieza en los espacios de trabajo y almacenamiento de producto en proceso, la cantidad de equipos y herramientas que resultaron insuficientes en operaciones críticas, y la falta de comunicación entre los departamentos de calibraciones y producción.

Cabe comentar que, dado que las secuencias de procesamiento no eran iguales para todos los productos, las áreas de trabajo no estaban distribuidas de una manera secuencial, por lo que para futuros trabajos se les sugirió evaluar la reconfiguración del *layout* de las áreas y actividades del proceso, evaluando la factibilidad de establecer una única secuencia de procesos que permitiera llegar a un nivel de automatización del transporte del producto dentro de la planta.

También cabe recalcar que, a pesar de que se identificaron otras causas además de las presentadas, el criterio de acotamiento a las de mayor impacto en la productividad se realizó mediante el uso de una escala Likert, cuyos resultados se obtuvieron mediante encuestas a los responsables de las diferentes áreas de producción. Para trabajos futuros, se recomendó complementar el proceso de cuantificación del impacto de cada causa mediante un análisis de riesgo, de tal manera que no se trabaje únicamente sobre

las causas que tengan los mayores efectos sobre la producción sino que también se evalúen desde un enfoque de probabilidad de ocurrencia.

Por último, no está de más comentar que, aunque no fue posible publicar parte de los datos, información y cálculos realizados por razones de confidencialidad, se realizó un ensayo piloto con la mayor parte de las recomendaciones expresadas en el presente documento, lo que evidenció una agilización en el flujo del proceso y una notable mejora en la capacidad de producción, ya que se logró disminuir el tiempo de ciclo del proceso actual en más de 12 % alcanzando un valor de 0,85 minutos por unidad, lo que se podría traducir en un aumento de la producción (al pasar de una producción diaria máxima de 1464,54 unidades/día a 1694,12 unidades/día) lo que conlleva un incremento en la eficiencia del proceso. Se sugirió completar los resultados con un análisis de costos.

REFERENCIAS

- AIRBUS. (9 de junio del 2018). *Global Market Forecast 2017-2036*. <http://www.airbus.com/aircraft/market/global-market-forecast.html>
- Arango-Serna, M. D., Campuzano-Zapata, L. F., y Zapata-Cortes, J. A. (2015). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. *Revistas Ingeniería Universidad de Medellín*, 221-234.
- Corbetta. (2007). *Metodología y Técnicas de Investigación Social*. McGraw Hill.
- De León, N. (2021). Industria aeroespacial genera 15 mil empleos directos en Mexicali. *El Imparcial*. <https://www.elimparcial.com/tijuana/dinero/Industria-aeroespacial-genera-15-mil-empleos-directos-en-Mexicali-20200525-0003.html>
- Engineers Edge. (2018). *Heat Treatment - Stress Relieving*. https://www.engineersedge.com/material_science/heat_treatment__stress_relieving_12886.htm
- Hernández-Pólito, A. (2013). Motivación, satisfacción y desempeño laboral en organizaciones públicas y privadas. *ANFECA*.
- Kiran, D. R. (2016). Total Productive Maintenance. En D. R. Kiran, *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies* (pp. 177-192). Butterworth-Heinemann.
- Luna-Puente, R., Guerrero-Aguirre, J. D., Contreras-Amezquita, E., y Moreno-Villanueva, E. (2010). Análisis del proceso de fabricación de cuellos de camisa. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 39-47.
- Molano, A. F., y Materón, C. (2018). *Reducción del tiempo de ciclo para el aumento de la productividad en el proceso de elaboración de concentrado para gallinas ponedoras*. [Trabajo de grado Ingeniería Industrial, Universidad de San Buenaventura].

http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/5545/1/Reduccion_Tiempo_Ciclo_Molano_2017.pdf

- Okutmuş, E., Kahveci, A., y Kartašova, J. (2015). Using Theory of Constraints for Reaching Optimal Product Mix: An Application in the Furniture Sector. *Intellectual Economics*, 138-149.
- Ortiz-Triana, V., y Caicedo-Rolón, A. J. (2015). Procedimiento para la programación y control de la producción de una pequeña empresa. *Ingeniería Industrial*, 14 (1), 89-104.
- Robles Rodríguez, V. M. (2012). *Propuesta de mejoramiento del proceso productivo de los cereales en la empresa Big Bran S. A .S. a partir de la implementación de la Teoría de Lean Manufacturing*. [Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana]. <http://hdl.handle.net/10554/15046>
- Rocha, H., Pinto, L., y Silva, F. (11 al 14 de junio del 2018). Analysis and Improvement of Processes in the Jewelry Industry. 28th International Conference of Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), Columbus, OH, USA. *Procedia Manufacturing*, 640-646.
- Semprún, A. (2021). La industria aeronáutica superará el COVID en el 2026 tras reducirse un 20% la flota. *ElEconomista*. <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/11094886/03/21/La-industria-aeronautica-superara-el-Covid-en-2026-tras-reducirse-un-20-la-flota.html>
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., y Kusiak, A. (2018). Data-Driven Smart Manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157-169.

**CALIDAD
Y MEDIOAMBIENTE**

Quality and Environment

EVALUACIÓN DE LA MOTIVACIÓN EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD EN PERUVIAN GLASS S. A.*

NANCY GEORGINA TORRES ZAVALA**

<https://orcid.org/0000-0001-8753-9962>

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

LUZ EUFEMIA LÓPEZ RÁEZ*

<https://orcid.org/0000-0002-5425-1900>

Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

Recibido: 12 de noviembre del 2020 / Aprobado: 17 de marzo del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5541>

RESUMEN: El objetivo de la investigación fue evaluar la motivación y determinar los índices motivacionales que afectan al sistema de gestión de calidad medido en uno de sus principales indicadores: porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona, de la empresa Peruvian Glass S. A., para lo cual se aplicó el cuestionario de auditoría del sistema humano motivación ASH-MOT a 73 personas del proceso de producción durante cinco meses. Se concluye que los índices de conciencia de resultados y significado percibido son los que más afectan a la motivación laboral de la muestra en estudio.

PALABRAS CLAVE: motivación laboral / medición de la motivación / sistema de gestión de calidad / ISO 9001

EVALUATION OF MOTIVATION IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF PERUVIAN GLASS S. A.

ABSTRACT: The objective of this investigation was to evaluate the motivation and determine the motivational indexes that affect the quality management system measured in one of their primary targets: "Percentage of Reprocess type A curved caused by the person" of the Peruvian Glass S.A. company by applying questionnaire of audit of the human system motivation: ASH-MOT to 73 people of the production process during five months. The investigation concludes that the indices of conscience of results and perceived meaning most affect the labor motivation in the sample under study.

KEYWORDS: labor motivation / measurement of motivation / system of quality management / ISO 9001

* Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación Final de la versión publicada.

* Correos electrónicos: nancytorresz2018@gmail.com; luzlopezr@yahoo.es

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la globalización y la competitividad en los mercados han convertido a las actividades de gestión de calidad en un componente casi obligatorio de la actividad empresarial, ya que, sin duda, aportan un marco de fiabilidad y seguridad a los clientes. ¿Y cómo es que la calidad influye en los clientes? Influye dada la expectativa que los clientes tienen al adquirir un producto o servicio y, en el caso de las empresas, como un medio de diferenciación competitiva (Charaja *et al.*, 2015).

En un entorno cada vez más competitivo, todas las áreas de la empresa enfrentan una creciente exigencia por resultados. Así, el área de recursos humanos evoluciona desde un rol operativo a uno estratégico de desarrollo de las capacidades clave para la gestión efectiva del capital humano. La motivación, entendida como los procesos que dan cuenta de la intensidad, dirección y persistencia del esfuerzo de un individuo por conseguir las metas organizacionales, condicionadas por la habilidad del esfuerzo de satisfacer alguna necesidad individual, es uno de los principales factores que incide en la productividad laboral (Robbins, 2004). Las personas son dirigidas a actuar por muchos factores distintos, con experiencias y consecuencias muy variadas (Ryan y Deci, 2000).

Se demostró que la aplicación del Sistema de Gestión de la Calidad incrementó la productividad en un 24 % en el área de proyectos de la empresa CMOPERU S. A. C. Este resultado concuerda con lo investigado por Meléndez (2017) en la tesis "Propuesta de implementación del sistema de gestión de calidad en una industria pesquera según la norma ISO 9001:2015.", en la cual la productividad incrementó en un 30 % (Rojas, 2019).

Según Contreras (2018), corresponde contextualizar las mediciones del impacto económico de la gestión del capital humano como una útil herramienta gerencial en la toma de decisiones. Es fundamental cuantificar la inversión en cada persona, es decir, el costo fijo/variable de la inversión, con una representación de estos en los costos del producto que genera el ingreso financiero para que el ejercicio se complete. Un adecuado equilibrio entre inversión, motivación, productividad y medición complementa una estrategia alineada con el mejoramiento y el éxito, lo que redundará en generación de valor a los inversionistas, proveedores, empleados y clientes.

Benzaquen de las Casas (2018) toma una muestra de 211 empresas conformada por empresas de logística (33,18 %) y por medianas empresas con 51 a 200 trabajadores (40,76 %), entre las cuales 128 empresas no contaban con certificación ISO y 83 empresas lo tenían. Los resultados confirman que las empresas con certificación ISO 9001 tienen mejor promedio en los nueve factores de TQM analizados, lo que enfatiza y confirma la importancia de la certificación para mejorar la gestión de la calidad en las empresas peruanas.

Es necesario que las organizaciones se replanteen de forma continua qué pueden hacer para atraer, retener y motivar a las personas que necesitan (mientras las necesitan), a fin de lograr sus objetivos en un contexto dinámico. Por otra parte, dadas las evidentes interrelaciones que existen entre las distintas políticas y prácticas de recursos humanos, es necesario adoptar un planteamiento integral y sistemático en lo que se refiere a la dirección de recursos humanos, en general, y a la motivación en particular (Revuelto-Taboada, 2018).

En Estados Unidos, se realizó un estudio con una muestra de 397 empresas que habían recibido la certificación ISO 9001 desde 1991 hasta 2002; se incluyeron empresas certificadas y empresas no certificadas. El estudio concluyó que hubo una mejora significativa en el rendimiento del año anterior al año de certificación. Las empresas certificadas tuvieron un mejor rendimiento que las empresas no certificadas (Aba *et al.*, 2016, citado en Benzaquen de las Casas, 2018).

El desafío esencial que afrontan las organizaciones en la actualidad demanda que se apliquen e intensifiquen estrategias que permitan una acertada motivación laboral. Es importante destacar que toda organización empresarial es responsable de crear mecanismos mediadores que permitan crecer al empleado dentro de la organización, reconocer las divergencias de cada empleado a fin de ofrecerle las mejores soluciones motivacionales, tales como incentivos, elogios, ascensos y aumentos, de tal forma que el empleado logre sentirse cómodo y satisfecho en su ambiente laboral, que sienta que se le toma en cuenta y que se le brindan oportunidades para surgir. De esta manera, el empleado será más productivo y se sentirá con mayor disposición a cooperar en todas las actividades que la organización requiera (Coromoto y Villón, 2018).

Es así como la motivación es de gran relevancia si se desea tener un buen desempeño de los colaboradores, ya que es la que determina el comportamiento del individuo dentro de la organización en la búsqueda por alcanzar los objetivos establecidos y el cumplimiento de las metas (Rodríguez, 2018).

En el 2019, el 69 % de las empresas certificadas se encuentran solo en diez países, es decir en el 5,2 % del total de países del mundo. El primero de ellos es China, en el continente asiático, con el 32 %, Italia en el segundo puesto, en Europa, con el 10,8 %, y Brasil, en el décimo puesto, con el 2,0 % como el único país de Sudamérica, tal como se muestra la figura 1.

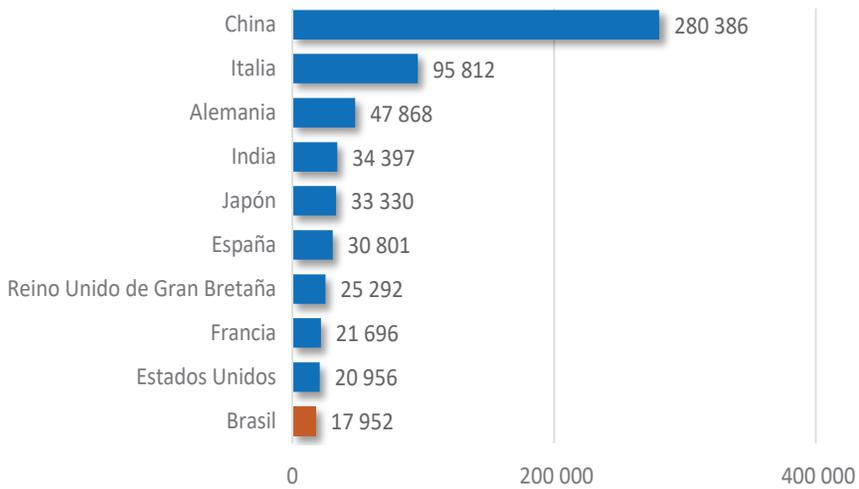


Figura 1. Primeros diez países con Certificación ISO 9001:2015

Fuente: ISO (2019)

En Sudamérica, Brasil lidera con el 41,6 % de empresas certificadas, mientras que el Perú se encuentra en el quinto puesto con el 4,0 % de empresas certificadas tal como se muestra en la figura 2:

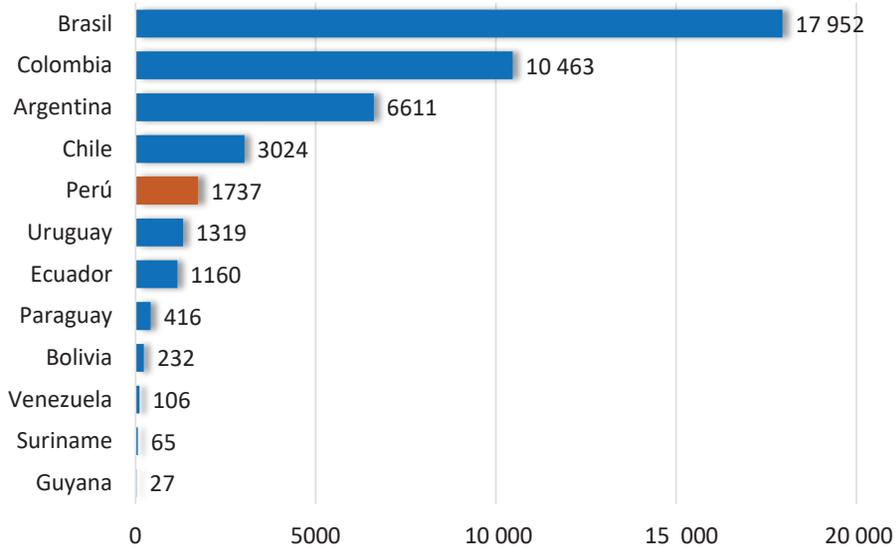


Figura 2. Empresas Certificadas en ISO 9001:2015 Sudamérica - 2019

Fuente: ISO (2019)

Una de las ventajas de obtener una certificación es lograr una diferencia frente a la competencia del sector que permita superar las barreras para encontrar nuevos mercados. El Perú, a pesar de tener un crecimiento del 65 % de empresas certificadas con la ISO 9001, tras pasar de 1052 empresas en el 2014 a 1737 en el 2019, todavía está en una etapa de iniciación, ya que solo el 0,1 % de las industrias manufactureras, es decir 1737 de 2 581 583, cuentan con el Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001 (INEI, 2019; ISO, 2019), tal como se muestra en la figura 3.

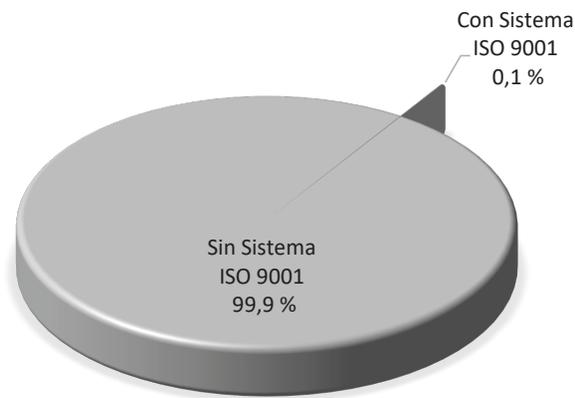


Figura 3. Empresas peruanas certificadas con la ISO 9001 en el 2019

Fuente: INEI (2019); ISO (2019)

En el ámbito nacional e internacional se han realizado investigaciones que han permitido describir y analizar la motivación y satisfacción en diversos ámbitos laborales, aunque todas hacen uso de cuestionarios diferentes para su medición. Las organizaciones que aplican seriamente la gestión de la calidad, por razones de mejoramiento, tienen mejores resultados de rendimiento que las empresas que buscan una certificación ISO por ser requisito de confiabilidad (Marín y Placencia, 2017).

Góngora (2017) llevó a cabo un estudio con el fin de identificar la relación existente entre la motivación para el trabajo y el compromiso organizacional en trabajadores de una empresa del sector industrial peruano. La muestra estuvo conformada por 160 trabajadores. El diseño de investigación que se utilizó fue el no experimental, de corte transversal, de tipo descriptivo-correlacional. Se utilizó el cuestionario de motivación para el trabajo de Gagné, Forest, Gilbert, Aubé, Morin y Malorni y la escala de compromiso organizacional de Meyer y Allen. Los resultados evidenciaron que existe una correlación directa, moderada y muy significativa entre las variables motivación para el trabajo y compromiso organizacional ($r = 0,516$), es decir que, a mayor motivación para el trabajo, mayor compromiso organizacional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es explicativa, debido a que va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, está dirigida a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables. El diseño de investigación es no experimental, ya que no se manipulan las variables (Hernández *et al.*, 2014). Asimismo, es transaccional, puesto que la recolección de la información se realizó en un único período de tiempo, de mayo a setiembre del 2010. Esta metodología tiene un enfoque cuantitativo que mide la situación actual de la motivación en la empresa para identificar los índices motivacionales que afectan al sistema de gestión de calidad.

Según Yin (2012), los datos cuantitativos también pueden ser relevantes y estar disponibles cuando un estudio de caso utiliza un diseño integrado. Aunque las principales conclusiones serán sobre el caso en estudio, dentro de una sola organización, los empleados podrían haber sido encuestados.

Para la selección de la herramienta de medida de la motivación laboral se utilizó el cuestionario de auditoría del sistema humano-motivación (ASH-MOT) que integra diversas teorías clásicas como la teoría de necesidades de Maslow y Herzberg, la teoría de expectativas de Vroom, la teoría de la equidad de Adams, la teoría de la autoeficacia de Bandura y la teoría de los estados psicológicos críticos de Hackman y Oldham. Este modelo integrado se aplicó a una muestra de más de 1600 trabajadores de diferentes países (Chile, España, México, Portugal y Reino Unido) y de diferentes sectores de salud (Navarro *et al.*, 2011).

Se tuvo el apoyo en la interpretación de los datos por uno de los autores del cuestionario ASH-MOT, el Dr. José Navarro Cid, psicólogo social español.

El modelo integrado de motivación: relaciones entre las diversas aportaciones teóricas

En primer lugar, se considera que el origen energético de la motivación se halla en las necesidades activadas de los individuos. Una persona sin necesidades activadas (del tipo que sean), será una persona sin energía, apática, sin voluntad de esfuerzo para conseguir algo o llegar a alguna meta. Primero se identifica qué es lo que motiva a las personas, es decir, cuáles son sus necesidades activadas, y cuál es la intensidad de las mismas. Este es el primer paso necesario para cualquier medida que quiera hacerse de la motivación (Quijano y Navarro, 1998).

Primer proceso

Es preciso entrar en los procesos mentales que se van a poner en marcha inmediatamente. El primero que se considera es la instrumentalidad. En una relación circular

como aparece en la figura 4, ésta se produce a través de la experiencia y percepción que el sujeto tiene de la conexión existente, en la organización a la que pertenece, entre el trabajo bien hecho y la satisfacción de necesidades mediante recompensas conseguidas.

La conjunción de necesidades actividades e instrumentalidad produce la motivación esperada: IMEs¹ (Quijano y Navarro, 1998).

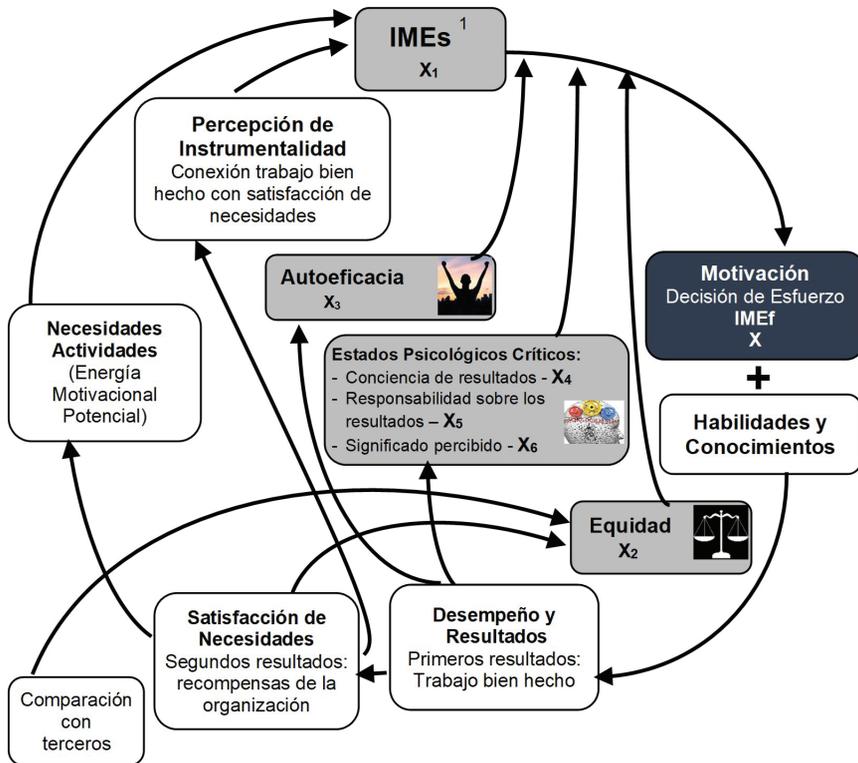


Figura 4. Modelo integrado de la motivación laboral

Fuente: Adaptado de Quijano y Navarro (1998)

Segundo proceso

Una vez que las personas tienen interés y voluntad de satisfacer necesidades, y perciben que si hacen un trabajo bien hecho en su empresa podrán conseguirlo, entra en juego otra serie de procesos cognitivos que van a modular la motivación esperada inicial (Quijano y Navarro, 1998), como se muestra en la tabla 1.

1 IMEs: Índice de motivación esperada

Tabla 1
Procesos del modelo integrado de la motivación laboral

	Primer proceso	Segundo proceso	Tercer proceso
El origen energético de la motivación se halla en las necesidades activadas	Procesos mentales: Instrumentalidad (conexión entre el trabajo bien hecho y la satisfacción de necesidades mediante recompensas conseguidas). Esta conjunción de necesidades activadas e instrumentalidad produce la motivación esperada (IMEs) – X_1 .	Procesos cognitivos que van a modular la motivación esperada inicial: El primero es autoeficacia – X_3 El segundo proceso es el de los estados psicológicos críticos: Conciencia de resultados- X_4 Responsabilidad sobre los resultados – X_5 Significado percibido – X_6	Percepción de equidad – X_2 Relación justa entre sus prestaciones y contraprestaciones, comparadas con las que mantienen otras personas de su entorno en semejantes condiciones

Fuente: Adaptado de Quijano y Navarro (1998)

El primer proceso es la autoeficacia. Si los colaboradores no se creen capaces de hacer un trabajo bien hecho y de conseguir resultados con su esfuerzo, abandonan y decaen en su decisión de mantener ese esfuerzo para conseguir sus objetivos y satisfacer sus necesidades. Bandura (1977, citado en Quijano y Navarro, 1998), describió cómo se genera la autoeficacia. En el caso concreto de la situación de trabajo, buena parte de ella se genera en base a experiencias anteriores de éxito y de obtención de buenos desempeños y resultados.

El segundo proceso que se contempla es el de los estados psicológicos críticos: conciencia de resultados, responsabilidad sobre los resultados y significado percibido (Hackman y Oldham, 1974/1980, citado en Quijano y Navarro, 1998). Las personas deben tener conciencia de los resultados que obtienen con su esfuerzo en su trabajo, tienen que percibir que tales resultados dependen de su esfuerzo y han de sentir que tales resultados y su trabajo son importantes para la empresa y para quienes los rodean. Cualquier valor negativo en estos procesos cognitivos disminuye la motivación y debilita la decisión de esfuerzo para realizar el trabajo. Los valores positivos, por el contrario, conducen a invertir energía que, unida a habilidades y conocimientos adecuados, derivan en altos rendimientos (Quijano y Navarro, 1998).

Tercer proceso

Por último, se considera la percepción de equidad. Si las personas tienen experiencia de que, tras su esfuerzo y su trabajo bien hecho, no perciben recompensas equitativas, no mantendrán su decisión de esfuerzo, es decir, perderán su motivación. Deben tener conciencia de

que existe una relación justa entre sus prestaciones y contraprestaciones, comparadas con las que mantienen otras personas de su entorno en semejantes condiciones.

Este proceso es dinámico ya que sus partes se alimentan entre sí, tal como se representa en la figura 4 (Quijano y Navarro, 1998).

El índice de motivación efectiva (IMEf), es el resultado final que indica el nivel de motivación de la persona o el esfuerzo que está dispuesta a realizar en su trabajo.

$$\text{IMEf} = \text{IMEs} \times \text{índice ponderación autoeficacia} \times \text{índice ponderación equidad} \times \text{índice ponderación conciencia resultados} \times \text{índice ponderación significado} \times \text{índice ponderación responsabilidad}$$

El presente estudio se realizó en la empresa peruana Peruvian Glass S.A. en la que trabajan 450 empleados y que cuenta con la certificación ISO 9001 desde febrero del 2007. Peruvian Glass S. A. cuenta con más de 150 clientes en cuarenta y cinco países, se dedica a la fabricación de vidrios de uso vehicular. La empresa está situada en la ciudad de Lima y desarrolla sus actividades de comercialización en el mercado de exportación mundial, en México, Colombia, Brasil, Guatemala, Estados Unidos, Alemania, España, Israel, Irak, Japón y Bélgica. La certificación ISO 9001 le ha permitido ingresar a mercados tan exigentes como el europeo, el asiático y el estadounidense.

Se trabajó con el 100 % del personal de la línea de producción curvo de Peruvian Glass S. A. con un total de 73 personas en grupos de diez, no al azar, si no de acuerdo con la secuencia del proceso y los tres turnos de trabajo que se presentan en la tabla 2. Se utilizó la observación y el cuestionario de auditoría del sistema humano-motivación ASH-MOT para determinar la motivación efectiva del personal operativo y su efecto en el sistema de gestión de calidad a través de uno de sus principales indicadores de gestión: el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona en el año 2010.

Tabla 2
Población de estudio

Sección	Cantidad	Porcentaje de población
Acabado	5	6,8
Bloqueo	2	2,7
Brillado	4	5,5
Corte de PC	2	2,7
Curvado	6	8,2
Depilado	1	1,4
Embolsado/Autoclave	6	8,2

(continúa)

(continuación)

Empalme	2	2,7
Ensamble	13	17,8
Filtro	8	11,0
Habilitamiento	2	2,7
Pulido	10	13,7
Recorte	4	5,5
Serigrafía	6	8,2
Supervisores	2	2,7
TOTAL	73	100,0

Elaboración propia

Variable dependiente sistema de gestión de calidad

El sistema de gestión de calidad medido en uno de sus principales indicadores, el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona (Y), se determinó a partir de los indicadores diarios de la producción curvo mostrados en la tabla 3.

Variable independiente motivación

La medida del nivel de motivación tuvo los siguientes pasos:

Se modificó el cuestionario ASH-MOT según la realidad de la compañía para definir solo los datos demográficos necesarios para su posterior análisis, no se modificó ninguna pregunta del cuestionario para evitar una posterior validación.

El proceso de toma de información se inició con la presentación del proyecto a la gerente de Recursos Humanos, a la encargada del Sistema de Gestión de Calidad, al director Industrial y al jefe de Producción, a quienes se les explicó los objetivos, la importancia de poder medir la motivación a través del cuestionario de auditoría del sistema humano-motivación ASH-MOT y determinar los índices de motivación que más afectan a los operarios en este proceso tan importante para la empresa.

Luego se convocó y explicó a las personas a evaluar, y se les manifestó la importancia de su participación y la sinceridad de sus respuestas en este proyecto. La toma del cuestionario fue en días que no afectaron a la facturación de la empresa.

El cuestionario se aplicó de manera individual y anónima para garantizar la participación y la sinceridad de las respuestas.

Por lo expuesto, el enunciado del problema de investigación es: ¿Cuál es la medida de la motivación en el proceso de producción? ¿Cuáles son los índices motivacionales que afectan al sistema de gestión de calidad? Para responderla se estableció el siguiente objetivo principal: determinar los índices motivacionales que afectan al sistema de

gestión de calidad de Peruvian Glass S. A. Para conseguir el objetivo general, se han planteado los siguientes objetivos específicos: 1. Medir la situación actual del indicador más representativo del sistema de gestión de calidad: el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona; 2. Determinar si la motivación es adecuada para el sistema de gestión de calidad y 3. Determinar los índices motivacionales que afectan al sistema de gestión de calidad medido con relación al porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona.

Se realizó un resumen en el que se muestra la relación de las variables dependiente e independiente para la determinación de las cuatro hipótesis: una principal y tres específicas, que se muestran en la figura 5.

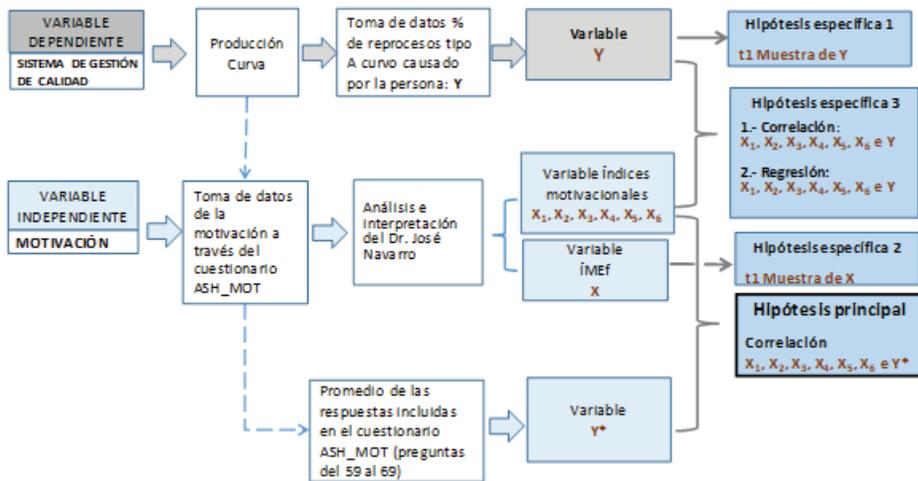


Figura 5. Relación de las variables dependiente e independientes para la obtención de las hipótesis

Elaboración propia

3. RESULTADOS

Los datos obtenidos del cuestionario ASH-MOT se ingresaron en un archivo Excel y fueron enviados por correo electrónico al doctor José Navarro, quien realizó el análisis e interpretación de la variable independiente *motivación*, entregando como resultado los valores del índice de motivación efectiva (IMEf): X y sus componentes: índice de motivación esperada (IMES) X₁, índice ponderación equidad - X₂, índice ponderación autoeficacia - X₃, índice ponderación conciencia de resultados - X₄, índice de ponderación de responsabilidad sobre los resultados - X₅ e índice ponderación significado percibido - X₆, que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
 Resumen de resultados de los componentes de la motivación, el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona y del sistema de gestión de calidad

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X	Y	Y*
Fecha	IMES	Equidad	Auto-eficacia	Conciencia de resultados	Responsabilidad sobre los resultados	Significado Percibido	IMEf	Porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona	Sistema de gestión de calidad
1	5,62	5,80	8,40	8,30	7,90	9,10	5,35	2,27	4,15
2	5,72	4,86	7,86	8,14	8,00	8,29	5,33	3,45	4,01
3	5,21	5,20	7,50	8,00	8,00	8,40	5,17	2,44	3,85
4	5,45	4,90	8,40	8,60	8,20	8,80	5,46	3,33	4,27
5	6,08	5,00	8,44	7,89	8,00	8,44	5,50	1,67	3,93
6	6,50	6,30	8,40	7,60	8,70	8,60	6,07	2,44	3,97
7	5,84	5,56	8,00	7,11	7,00	8,22	5,42	1,67	3,79
8	5,41	5,13	8,38	8,50	7,88	9,00	5,25	2,08	4,09

Elaboración propia

Hipótesis principal

La motivación afecta en forma significativa al sistema de gestión de calidad de Peruvian Glass S. A.

Se tienen las siguientes hipótesis:

H_0 = La motivación medida en sus seis componentes no afecta en forma significativa al sistema de gestión de calidad de Peruvian Glass S. A.

H_1 = La motivación medida en sus seis componentes afecta en forma significativa al sistema de gestión de calidad de Peruvian Glass S. A.

La herramienta utilizada fue de correlación de los componentes de la motivación ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$) y el promedio de las respuestas obtenidas del cuestionario de las preguntas del 59 al 69 que están relacionadas con el Sistema de Gestión de Calidad (Y^*), mostrados en la tabla 3, por medio del programa Minitab. Los resultados de la correlación son mostrados en la tabla 4.

Tabla 4

Correlación de los componentes de la motivación y el sistema de gestión de calidad (Y^*)

Correlaciones en parejas de Pearson

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95 % para ρ	Valor p
Equidad-X2	Imes-X1	0,591	(-0,195; 0,915)	0,123
Autoeficacia-X3	Imes-X1	0,445	(-0,378; 0,875)	0,269
C. Resultados-X4	Imes-X1	-0,570	(-0,909; 0,225)	0,14
Responsabilidad-X5	Imes-X1	0,311	(-0,504; 0,833)	0,453
Significado P.-X6	Imes-X1	-0,242	(-0,809; 0,558)	0,564
SGC (Y^*)	Imes-X1	-0,249	(-0,811; 0,553)	0,553
Autoeficacia-X3	Equidad-X2	0,239	(-0,560; 0,808)	0,568
C. Resultados-X4	Equidad-X2	-0,486	(-0,887; 0,333)	0,223
Responsabilidad-X5	Equidad-X2	0,208	(-0,582; 0,796)	0,622
Significado P.-X6	Equidad-X2	0,177	(-0,603; 0,784)	0,675
SGC (Y^*)	Equidad-X2	-0,186	(-0,787; 0,597)	0,660
C. Resultados-X4	Autoeficacia-X3	0,249	(-0,552; 0,811)	0,552
Responsabilidad-X5	Autoeficacia-X3	0,288	(-0,523; 0,825)	0,489
Significado P.-X6	Autoeficacia-X3	0,619	(-0,151; 0,922)	0,101
SGC (Y^*)	Autoeficacia-X3	0,577	(-0,216; 0,911)	0,135

(continúa)

(continuación)

Responsabilidad-X5	C. Resultados-X4	0,401	(-0,423; 0,862)	0,325	
Significado P.-X6	C. Resultados-X4	0,693	(-0,022; 0,939)	0,057	
SGC (Y*)	C. Resultados-X4	0,845	(0,346; 0,971)	0,008	←
Significado P.-X6	Responsabilidad-X5	0,300	(-0,513; 0,829)	0,470	
SGC (Y*)	Responsabilidad-X5	0,422	(-0,402; 0,868)	0,298	
SGC (Y*)	Significado P.-X6	0,776	(0,156; 0,957)	0,024	←

Elaboración propia

Se comprobó que solo los índices de ponderación conciencia de resultados ($X_4 = 0.008$) e índice ponderación significado percibido ($X_6 = 0.024$) afectan en forma significativa al sistema de gestión de calidad de la empresa Peruvian Glass S. A., debido a que los valores del coeficiente de Pearson se encuentran cercanos a 1: 0,845 y 0,776, respectivamente, y los valores P son menores a 0,05.

Hipótesis específica 1

La situación actual del indicador más representativo del sistema de gestión de calidad de la empresa Peruvian Glass S. A., medido como el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona es mayor a la meta del 1,5 %.

Se tienen las siguientes hipótesis:

$H_0 =$ El porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona =1,5 %.

$H_1 =$ El porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona >1,5 %.

La herramienta utilizada fue el t de una muestra, con los datos del porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona.

Se tomaron los datos del porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona (Y) de la tabla 3, que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5

Porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona (Y)

Fecha	1	2	3	4	5	6	7	8
Reprocesos A causado por la persona (Y)	2,27	3,45	2,44	3,33	1,67	2,44	1,67	2,08

Elaboración propia

Se ingresaron los datos de porcentaje de reprocesos A causados por la persona (Y) en el *software* Minitab.

Para la prueba de normalidad se tienen las siguientes hipótesis:

H_0 : La distribución es normal.

H_1 : La distribución no es normal.

Se obtuvo un Valor P = 0,269 > 0,05, por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0): La distribución es normal y los datos del porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona cumplen con una distribución normal para poder utilizar la herramienta de *t* de una muestra.

Luego se utilizó la herramienta *t* de una muestra, ingresando los datos del porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona (Y) al programa Minitab, de lo que se obtuvo el siguiente resultado mostrado en la tabla 6.

Se tienen las siguientes hipótesis:

$H_{0=}$ El porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona =1,5 %.

$H_{1=}$ El porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona >1,5 %.

Tabla 6

t de una muestra del porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona

Estadísticas descriptivas				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95 % para μ
8	2.419	0.671	0.237	1.969
μ : media de IMEf(Y)				
Prueba				
Hipótesis nula	$H_0: \mu = 1.5$			
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 1.5$			
Valor T	Valor p			
3.87	0.003			

Elaboración propia (2010)

Se puede observar que el valor P es menor a 0,05 ($p=0,03$), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa:

H_1 =El porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona $>1,5\%$.

Por lo que la empresa Peruvian Glass S.A. no logra cumplir con el objetivo de tener como máximo 1,5 % de reprocesos tipo A curvo causado por la persona.

Hipótesis específica 2

La motivación en Peruvian Glass S.A. es inadecuada para el sistema de gestión de calidad.

Se tienen las siguientes hipótesis:

H_0 = El índice de motivación efectiva: IMEf es = 6,0, es adecuado para el sistema de gestión de calidad.

H_1 = El índice de motivación efectiva: IMEf es inadecuado para el sistema de gestión de calidad.

Se considera una motivación adecuada si: $IMEf \geq 6$. La herramienta utilizada fue el t de una muestra a los datos del índice de motivación efectiva: IMEf (X) de la tabla 3, tal como se presenta en la tabla 7.

Tabla 7

Índice de motivación efectiva: IMEf (X)

Fecha	1	2	3	4	5	6	7	8
Índice de motivación efectiva: IMEf (X)	5,35	5,33	5,17	5,46	5,50	6,07	5,42	5,25

Elaboración propia

Se realizó la prueba de normalidad por medio del programa Minitab.

Se tienen las siguientes hipótesis:

H_0 : La distribución es normal

H_1 : La distribución no es normal

Al realizar la prueba de normalidad de los datos, se obtuvo un valor $P < 0,05$, por lo que se eliminó el dato atípico número 6: $IMEf = 6,07$, para que estos tengan una distribución normal.

Se obtuvo un valor $P = 0,892 > 0,05$, por lo que se acepta la Hipótesis nula (H_0): La distribución es normal y los datos de índice de motivación efectiva: IMEf (X) cumplen con una distribución normal para poder utilizar la herramienta del t de una muestra.

Luego de ingresar los datos al programa Minitab se realizó la prueba del *t* de una muestra, considerándose como meta $IMEf = 6,0$. Los resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8
t de una muestra del índice de motivación esperada (IMEf)

Estadísticas descriptivas				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95 % para μ
7	5.3543	0.117	0.0442	(5.2461; 5.4625)

μ : media de IMEf(X)

Prueba	
Hipótesis nula	$H_0: \mu = 6$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu \neq 6$
Valor T	Valor p
-14.60	0.000

Elaboración propia (2011)

La media del $IMEf = 5,35$ está por debajo de la condición mínima $IMEf = 6,0$ (H_0), mostrados en la figura 6.

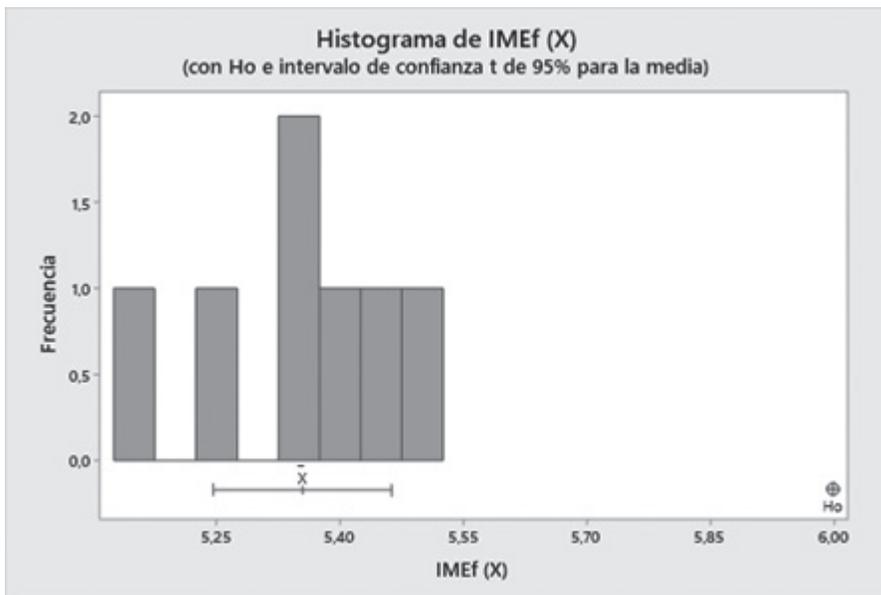


Figura 6. Histograma de los datos de los índices de motivación efectiva (IMEf)

Elaboración propia

Con una probabilidad del 95 % se obtendrían resultados del IMEf entre 5,25 y 5,46, valores por debajo del mínimo valor de IMEf = 6,0, lo que permitirá ser considerado como *motivado*.

Por lo que la motivación en la empresa Peruvian Glass S.A. es inadecuada para el sistema de gestión de calidad.

Hipótesis específica

La motivación medida en sus 6 componentes afecta al sistema de gestión de calidad en Peruvian Glass S.A.

Se tienen las siguientes hipótesis:

H_0 = La motivación medida en sus 6 componentes no afecta al porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona.

H_1 = La motivación medida en sus 6 componentes afecta al porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona.

La primera herramienta utilizada fue de correlación de los componentes de la motivación (índice de motivación esperada (IMES) – X_1 , índice ponderación equidad – X_2 , índice ponderación autoeficacia – X_3 , índice ponderación conciencia de resultados – X_4 , índice de ponderación de responsabilidad sobre los resultados – X_5 e índice ponderación significado percibido – X_6 y el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona (Y), datos tomados de la tabla 3. Se determinó que los componentes de la motivación no están relacionados en forma significativa al porcentaje de reprocesos A curvo causado por la persona, debido a que los valores del coeficiente de Pearson no se encuentran cercanos a -1 o a 1: los valores varían desde -0,33 hasta 0,53, como se muestra en la tabla 9.

Por otro lado, el valor P es mayor que 0,05, por lo que se debería aceptar la hipótesis nula:

H_0 = La motivación medida en sus seis componentes no afecta al porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona.

Pero al aceptar la hipótesis nula se podría haber cometido el error de tipo beta (aceptar una hipótesis nula cuando es falsa). Este tipo de error se produce por la baja cantidad de muestras.

Tabla 9

Correlación de los componentes de la motivación y el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona (Y)

Correlaciones en parejas de Pearson

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95 % para ρ	Valor p
Equidad-X2	IMES-X1	0,591	(-0,195; 0,915)	0,123
Autoeficacia-X3	IMES-X1	0,445	(-0,378; 0,875)	0,269
C. Resultados-X4	IMES-X1	-0,570	(-0,909; 0,225)	0,140
Responsabilidad-X5	IMES-X1	0,311	(-0,504; 0,833)	0,453
Significado P.-X6	IMES-X1	-0,242	(-0,809; 0,558)	0,564
Y	IMES-X1	-0,248	(-0,811; 0,554)	0,554
Autoeficacia-X3	Equidad-X2	0,239	(-0,560; 0,808)	0,568
C. Resultados-X4	Equidad-X2	-0,486	(-0,887; 0,333)	0,223
Responsabilidad-X5	Equidad-X2	0,208	(-0,582; 0,796)	0,622
Significado P.-X6	Equidad-X2	0,177	(-0,603; 0,784)	0,675
Y	Equidad-X2	-0,331	(-0,840; 0,487)	0,423
C. Resultados-X4	Autoeficacia-X3	0,249	(-0,552; 0,811)	0,552
Responsabilidad-X5	Autoeficacia-X3	0,288	(-0,523; 0,825)	0,489
Significado P.-X6	Autoeficacia-X3	0,619	(-0,151; 0,922)	0,101
Y	Autoeficacia-X3	-0,183	(-0,786; 0,599)	0,664
Responsabilidad-X5	C. Resultados-X4	0,401	(-0,423; 0,862)	0,325
Significado P.-X6	C. Resultados-X4	0,693	(-0,022; 0,939)	0,057
Y	C. Resultados-X4	0,529	(-0,280; 0,899)	0,178
Significado P.-X6	Responsabilidad-X5	0,3	(-0,513; 0,829)	0,470
Y	Responsabilidad-X5	0,454	(-0,368; 0,878)	0,258
Y	Significado P.-X6	0,034	(-0,687; 0,721)	0,936

Elaboración propia

Por ello se procedió a utilizar la regresión lineal múltiple, a fin de establecer la relación entre el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona y los índices motivacionales que conforman la motivación efectiva: IMEf, relacionándolas mediante una ecuación, medida por el valor P, que se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Regresión lineal múltiple de los componentes de la motivación y el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona (Y)

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Regresión	6	310,908	0,51818	11,83	0,219	
IMES-X1	1	0,1425	0,1425	3,25	0,322	←
Equidad-X2	1	117,091	117,091	26,73	0,122	
Autoeficacia-X3	1	0,39129	0,39129	8,93	0,206	←
C. Resultados-X4	1	162,077	162,077	37,00	0,104	
Responsabilidad-X5	1	0,46966	0,46966	10,72	0,189	←
Significado P.-X6	1	122,703	122,703	28,01	0,119	
Error	1	0,04381	0,04381			
Total	7	315,289				

Elaboración propia

Se eliminaron aquellos índices que tienen los mayores valores en el valor P, porque no eran significativos (valor P > 0,05):

IMES-X₁: índice de motivación esperada = 0,322.

Autoeficacia-X₃: índice ponderación autoeficacia = 0,206.

Responsabilidad R.-X₅: índice de ponderación de responsabilidad sobre los resultados = 0,189

Y se realizó nuevamente la regresión y se obtuvo los resultados que se muestran en la tabla 11.

Tabla 11

Segunda regresión de los componentes de la motivación y el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona

Coeficientes					
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0,47	4,59	0,10	0,923	
Equidad-X2	1,3	0,646	2,01	0,115	3,80
C. Resultados-X4	2,891	0,906	3,19	0,033	7,03
Significado P.-X6	-3,27	1,2	-2,73	0,053	5,55
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	23,671	0,789	4,02	0,11
Equidad-X2	1	0,7947	0,7947	4,05	0,11
C. Resultados-X4	1	19,988	19,988	10,17	0,03
Significado P.-X6	1	14,588	14,588	7,43	0,05
Error	4	0,7858	0,1965		
Total	7	31,529			

Elaboración propia

Se puede observar que los índices que más afectan en la motivación de la empresa Peruvian Glass S. A. son: índice ponderación conciencia de resultados- X_4 ($P = 0,03$) e índice ponderación significado percibido- X_6 ($P = 0,05$), debido a que sus valores P son menores o iguales a 0,05.

4. CONCLUSIONES

- De los resultados obtenidos se tiene que el indicador más representativo del sistema de gestión de calidad de la empresa Peruvian Glass S. A., medido como el porcentaje de los reprocesos tipo A curvo causado por la persona es mayor al de la meta máxima del 1,5 % de la empresa.
- Se demostró que la situación actual de la motivación en Peruvian Glass S. A. es inadecuada para el sistema de gestión de calidad. Con una probabilidad del 95 % se obtendrían resultados del IMEf entre 5,25 y 5,46, valores por debajo del mínimo: IMEf = 6,0 que pueden ser considerados como *motivado*.

- Se determinó que el índice ponderación equidad tiene un valor promedio de 5,34, que lo convierte en el índice más bajo de los índices motivacionales, por lo que se trataría de un área de intervención para poder mejorar.
- Se logró definir que el sistema de gestión de calidad en la empresa Peruvian Glass S. A. es afectado por la motivación, siendo el índice ponderación conciencia de resultados y el índice ponderación significado percibido los que más afectan al porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona. Ello afecta su competitividad en el mercado con una pérdida de USD 30 255 a USD 51 501 por año debido a que el porcentaje de reprocesos tipo A curvo causado por la persona representa entre el 40 % y el 51 % de los reprocesos totales.

5. RECOMENDACIONES

- Se considera pertinente que el área de recursos humanos implemente planes de acción para mantener o mejorar el índice ponderación conciencia de resultados y el índice ponderación significado percibido. Por ejemplo, para que los trabajadores encuentren un sentido de pertenencia a la organización y muestren motivación por las labores que realizan, deben tener un conocimiento preciso de los resultados de su trabajo y cómo este afecta al adecuado desenvolvimiento de la empresa. Un ejemplo sería colocar paneles visuales en la zona de trabajo que muestren las tendencias mensuales de su desempeño por turnos de trabajo a través de los indicadores de porcentaje de reprocesos y porcentajes de rechazos de la línea y cómo estos afectan al objetivo principal de la empresa.
- La percepción de equidad es un proceso cognitivo que varía de persona a persona, esto dificulta a muchos sistemas de recompensa o reconocimiento en las empresas. El reconocimiento no solo sería económico (aspecto más higiénico que motivador), por lo que es necesario identificar qué es lo que esperan los trabajadores de la empresa. Se podría trabajar en los procesos de desarrollo de personal, capacitaciones, inclusión de la familia en la organización, reconocimientos públicos, asignación de nuevas responsabilidades, entre otros. La gama de opciones es amplia, lo importante es que se pueda identificar lo que realmente espera el trabajador y lograr de este modo la equidad.
- Se debería realizar estudios en otras empresas de producción similares, como del sector textil debido a que es una de las principales fuerzas productivas en el Perú, ya que representa el 26 % de empresas manufactureras, según el censo industrial realizado por el Ministerio de la Producción en el 2014 para la mejora de la competitividad de la organización.

REFERENCIAS

- Benzaquen de las Casas, J. (2018). La ISO 9001 y la Administración de la Calidad Total en las Empresas Peruanas. *Universidad & Empresa*, 20(35), 281-312. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1872/187255450011/html/index.html>.
- Charaja, L., Hilario, D., Isidro, R., y Morvely, D. (2015). *Calidad en las Empresas del Sector Bienestar en Lima Metropolitana* [tesis para obtener el grado de Magíster en Administración estratégica de empresas, Pontificia Universidad Católica del Perú]. http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14864/CHARAJA_HILARIO_CALIDAD_BIENESTAR.pdf;jsessionid=EF0E331C42F5F0D4BD781CF8976FC842?sequence=1
- Contreras, A. (2018). Gestión de la motivación en escenarios organizacionales. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 6(1), 84-92. <https://10.17081/invinno.6.1.2777>
- Coromoto, H., Villón S. (2018). Motivación laboral. Elemento fundamental en el éxito organizacional. *Revista Cientific*, 3(7), 177-192.
- Góngora, M. (2017). *Motivación para el Trabajo y Compromiso Organizacional en trabajadores de una empresa industrial, Puente Piedra 2017* [tesis para obtener el título profesional de licenciado en psicología, Universidad César Vallejo] <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3266>.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). <http://m.inei.gov.pe/biblioteca-virtual/boletines/demografia-empresarial-8237/1/#lista>
- International Organization for Standardization (2019). ISO 9001:2015 certifications worldwide. The ISO Survey of Certifications 2008. <https://isotc.iso.org/livelink/livelink?func=ll&objId=20719433&objAction=browse&viewType=1>
- Marín, H., Placencia, M. (2017). Motivación y satisfacción laboral del personal de una organización de salud del sector privado. *Horizonte Médico (Lima)*, 17(4), 42-52. www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-558X2017000400008&lng=es&nrm=iso
- Meléndez L. (2017). *Propuesta de implementación del sistema de gestión de calidad en una industria pesquera según la norma ISO 9001:2015* [tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Industrial, Universidad Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9337>
- Ministerio de la Producción. (s/f) Estadística sectorial. <http://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/shortcode/estadistica-oe/estadistica-sectorial>

- Navarro, J., Yepes, M., Ayala, C., y Quijano, S. (2011). An Integrated Model of Work Motivation Applied in a Multicultural Sample. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 27(3), 177-190. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1576-59622011000300003&lng=es&tlng=en.
- Norma ISO 9001:2015. <http://www.itvalledelguadiana.edu.mx/ftp/Normas%20ISO/ISO%209001-2015%20Sistemas%20de%20Gesti%C3%B3n%20de%20la%20Calidad.pdf>
- Quijano, S., Navarro, J. (1998). Un modelo integrado de la motivación en el trabajo: Conceptualización y medida. *Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 14 (2), 193-216. <https://journals.copmadrid.org/jwop/art/fa14d4fe2f19414de3ebd9f63d5c0169>
- Revuelto-Taboada, L. (2018). Un enfoque estratégico de la motivación laboral y la satisfacción laboral. *Perspectiva Empresarial*, 5(2), 7-26. <http://dx.doi.org/10.16967/rpe.v5n2a1>
- Robbins, S. (2004). *Comportamiento organizacional* (10.ª ed.). Pearson Educación.
- Rodríguez, J. (2018). *Influencia del liderazgo en la motivación intrínseca de los colaboradores del fast food Kentucky Fried Chicken en Chiclayo 2018*. [Tesis para optar por el título de licenciado en administración de empresas, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2759/1/TL_RodriguezEnriquezJean.pdf
- Rojas, K. (2019). *Aplicación del SGC basada en la norma ISO 9001:2015 para mejorar la productividad en la empresa CMOPERU S.A.C. 2019* [tesis para obtener el título profesional de Ingeniería Industrial, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/52467/Rojas_PKV-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ryan, R., y Deci, E. (2000). La teoría de la autodeterminación y la facilitación de la motivación intrínseca, el desarrollo social, y el bienestar. *American Psychologist*, 55, 68-78.
- Yin, R. K. (2012) Case Study Methods. *Handbook of Research Methods in Psychology*, 2,141-155. doi: 10.1037/13620-009

STUDY OF THE MOST VALUABLE RESEARCHER: BIBLIOMETRIC INDICATORS AND COLLABORATION NETWORKS*

CAMILO PEÑA RAMÍREZ**

<https://orcid.org/0000-0002-1535-8510>
Universidad Central de Chile, Chile

LEONARDO CONCHA*

Universidad del Bío-Bío, Chile

ERIC FORCAEL*

<http://orcid.org/0000-0002-3036-4329>
Universidad del Bío-Bío, Chile

GONZALO GARCÉS*

<https://orcid.org/0000-0002-1359-4835>
Universidad del Bío-Bío, Chile

Recibido: 17 de junio del 2021 / Aprobado: 27 de julio del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5208>

ABSTRACT: This work seeks to find the Most Valuable Researcher (MVR) within the academics of Faculties of Engineering and Business of a University in Chile, applying bibliometric indicators and collaboration networks. The methodology consisted in reviewing the literature referring to similar bibliometric studies from open databases, such as SciELO and Google Scholar. As a result of the study, a model was proposed based on the main bibliometric indicators used, with it was possible to filter the researchers from both faculties and establish a ranking with those academics with the best results and the current situation facing the research in each unit. This ranking indicates the standard that the most valuable researchers have, identifying that the variable "collaborative networks" has a direct relationship with the productivity of researchers and, also, the existence of correlations with indicators of network grade, co-authorship, and research area. This work seeks to deliver recommendations on the quantity and quality of scientific production within the University. Future research should include other databases and expand the scope by region, country, and area of expertise, and consider other factors such as the age of the

* Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación final de la versión publicada.

** Correos electrónicos: camilo.pena@ucentral.cl; leonardoconchar@gmail.com; eforcael@ubiobio.cl; gegarcés@ubiobio.cl

researcher, forms of citation, and characteristics by area of knowledge, as well as deepen the concept of MVR, and its virtuous effect on the productivity of an academic unit.

KEYWORDS: most valuable researcher / bibliometric indicator / collaborative networks / scientific production / WoS, h index

ESTUDIO DEL INVESTIGADOR MÁS VALIOSO: INDICADORES BIBLIOMÉTRICOS Y REDES DE COLABORACIÓN

RESUMEN: Este trabajo busca encontrar al Investigador Más Valioso (IMV) entre los académicos de las Facultades de Ingeniería y Negocios de una Universidad en Chile, aplicando indicadores bibliométricos y redes de colaboración. La metodología consistió en una revisión de la literatura referida a estudios bibliométricos similares de bases de datos abiertas, como SciELO y Google Scholar. Como resultado del estudio, se propuso un modelo basado en los principales indicadores bibliométricos utilizados, con lo cual se pudo filtrar a los investigadores de ambas facultades y establecer un ranking con aquellos académicos con mejores resultados y la situación actual que enfrenta la investigación en cada unidad. A partir de este ranking, se indica el estándar que tienen los investigadores más valiosos, identificando que la variable "redes de colaboración" tiene una relación directa con la productividad de los investigadores, así como la existencia de correlaciones con los indicadores de grado de red, coautoría y área de investigación. Con esto, se busca que este trabajo sirva para entregar recomendaciones sobre la cantidad y calidad de la producción científica dentro de la Universidad. Futuras investigaciones deberían incluir otras bases de datos y ampliar el alcance por regiones, países y áreas de conocimiento y considerar también otros factores como la edad del investigador, formas de citación y características por área de conocimiento, así como profundizar en el concepto de IMV y su efecto virtuoso en la productividad de una unidad académica.

PALABRAS CLAVE: investigador más valioso / indicador bibliométrico / redes de colaboración / producción científica / WoS / índice h

1. INTRODUCTION

This work seeks to determine the main factors that intervene in the quality and quantity of scientific research at a university level. The search for the best producers of scientific material was carried out within the Faculties of Engineering and Business at the main campus of a regional university in Chile.

The study's main objective is to determine the most valuable researcher (MVR) using bibliometric tools. By definition, bibliometrics focuses essentially on calculating and analyzing the values of what is quantifiable in the production and consumption of scientific information (Roig-Tierno *et al.*, 2017). On the other hand, Okubo (1997) proposed bibliometry as the discipline that measures and analyzes the production of science in the form of articles, publications, citations, patents, and other more complex derived indicators that make it possible to determine each of the factors that intervene in the scientific evaluation and the performance of researchers.

The study considers three areas in applying these indicators: the first is the bibliometric data of Web of Science, and the second is the collaborative networks of the authors in their publications. As a complement, it extracts the indicators with what Google Scholar works about the authors. In this way, a comparison is made between data delivered by the Web of Science and Google Scholar.

2. THEORETICAL FRAMEWORK

2.1 Bibliometrics

Bibliometrics is an emerging and frontier research field of Library and Information Science (LIS), which has significantly developed in recent decades (White & McCain, 1998).

As Alan Pritchard (1969) proposed, bibliometrics applies mathematics and statistical methods to analyze the course of written communication and the course of a discipline. It applies a quantitative treatment to the properties of written speech and its typical behaviors. Other terms such as Scientology, Reporting, Librarianship, Webometrics are also frequently used; each refers to metric studies applied to specific phenomena or objects (Chaparro & Rojas-Galeano, 2021; Roldan *et al.*, 2019; Sengupta, 1992).

Later, Okubo (1997) defines bibliometrics as the discipline that measures and analyzes the production of science in the form of articles, publications, citations, patents and other more complex derived indicators.

Among the first antecedents of bibliometric studies found in the literature, the works of Cole and Eales (1917) are usually quoted. They made a statistical analysis of comparative anatomy publications between 1550 and 1860, distributed by country and the

divisions of the animal kingdom. Similarly, Hulme (1923), librarian of the British Patent Office, presented a statistical study of the History of Science, and Gross & Gross (1927) on references included in chemistry journals indexed in the Journal of the American Chemical Society.

2.2 Bibliometric Methods

Bibliometric methods are based on the premise that the number of publications shows the scientific productivity of an individual or a research group at a local, regional, national or international level (Chaparro & Rojas-Galeano, 2021; Patra *et al.*, 2006; Roldan *et al.*, 2019). In this respect, any methodological approach to bibliometrics relies on recognizing a database (mainly contained in the Science Citation Index, Web of Science, Social Sciences Citation Index). A set of selected indicators is classified from the databases to identify their frequency and distribution for a particular discipline or scientific area (Zupic & Čater, 2015).

One of the best-known databases worldwide is the Web of Science (WoS), a product of the ISI Web of Knowledge package, which currently belongs to the company Clarivate Analytics. What ISI does through WoS is basically to integrate an extensive database of published articles identified from the world's leading academic journals, where most of the indicators used to interpret the information are proposed by the international academic community (Jacsó, 2008).

Numerous studies show bibliometric methodologies applied to disciplines, knowledge areas and countries. Canada is an example of a country that has continuously worked with bibliometric methods to measure the results of their scientific and technological work (Gringas, 1996).

2.3 Bibliometric Indicators

Bibliometric indicators are statistical data derived from scientific publications. They are based on the crucial role of publications in disseminating new knowledge, a role assumed at all levels of the scientific process. These indicators are valid in research that leads to scientific publications, common in the most fundamental scientific areas (King, 1987; Rinia *et al.*, 1998).

The main bibliometric indicators can be grouped into two basic categories: (a) quantitative indicators of scientific activity (number of publications) and (b) impact indicators, based on the number of citations obtained from the works, that characterize the importance of these productions based on the recognition granted by other researchers (Bordons, 1999).

That said, table 1 shows the main indicators used in the study.

Table 1
Summary of indicators

	Indicator	Name	Description
Bibliometrics WoS	Citations	Total citations received	Correspond to the total number of citations that the author has in the WoS database.
		Total publications	Delivers the number of publications made in WoS.
		Citation average	Delivers the average number of citations received per article.
	h index	Impact- h	It quantifies the productivity of the authors according to the number of citations received and the total number of publications (WoS).
	Productivity	Annual Productivity	It indicates the average of the researcher's annual publications.
		Lotka Productivity	It classifies the author in two grades, elite and casual. Elite corresponds to the most productive and casual to the least productive.
	Impact	Impact Factor	It indicates the impact caused by the publication in the journal. It takes values between 1 and 4, with 1 being the best factor and 4 the lowest.
Google Scholar	h index	Impact h	It quantifies the productivity of the authors according to the number of citations received and the total of publications based on the information provided by Google Scholar.
	Citations	Total citations received	It indicates the total number of citations received in their publications according to Google Scholar.
Networks	Grade	Country Network Grade Indicator	The number of countries to which the author is related.
	Co-authority	Co-authority Indicator	The network of co-authors with whom it conducts the research
	Network's size	External network's size	The number of researchers to whom the author is related.
	Area	Area of research	The number of research areas with which the authors are related in their publications.

Own elaboration based on theoretical framework

3. METHODOLOGICAL FRAMEWORK

Figure 1 presents the research methodology used to identify the most valuable investigator (MVR) standard.

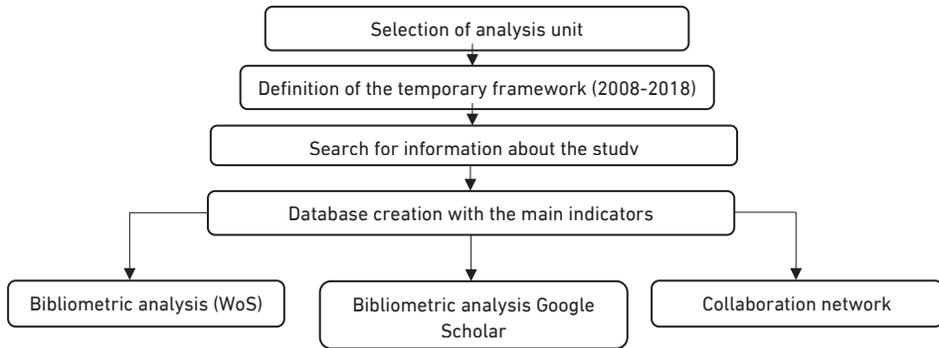


Figure 1. Proposed methodology

Own elaboration

We have the methodology to follow and the indicators to be used; however, in addition to carrying out the descriptive statistical analysis of the data, we perform a multiple regression analysis with the selected indicators to enable a comparison between the results of the descriptive analysis of the multiple regression analysis. Figure 2 shows the Most Valuable Researcher (MVR) model:

To select the sample data, publications made by Faculties of Engineering and Business, both belonging to a regional University in Chile, were selected. These were selected to make a comparison and establish differences or similarities between the indicators obtained.

We applied bibliometric indicators to data obtained from the WoS and, afterward, compared some of them with indicators obtained from Google Scholar's researcher profile and, finally, applied productivity filters. The group that stands out is selected within the publications ("elite") according to the Lotka indicator, to then apply the selected network indicators. It should be noted that the study did not consider the variables "time in the institution" or "academic load of researchers" because they did not appear in the literature consulted. Applying these variables would increase the complexity of the analysis.

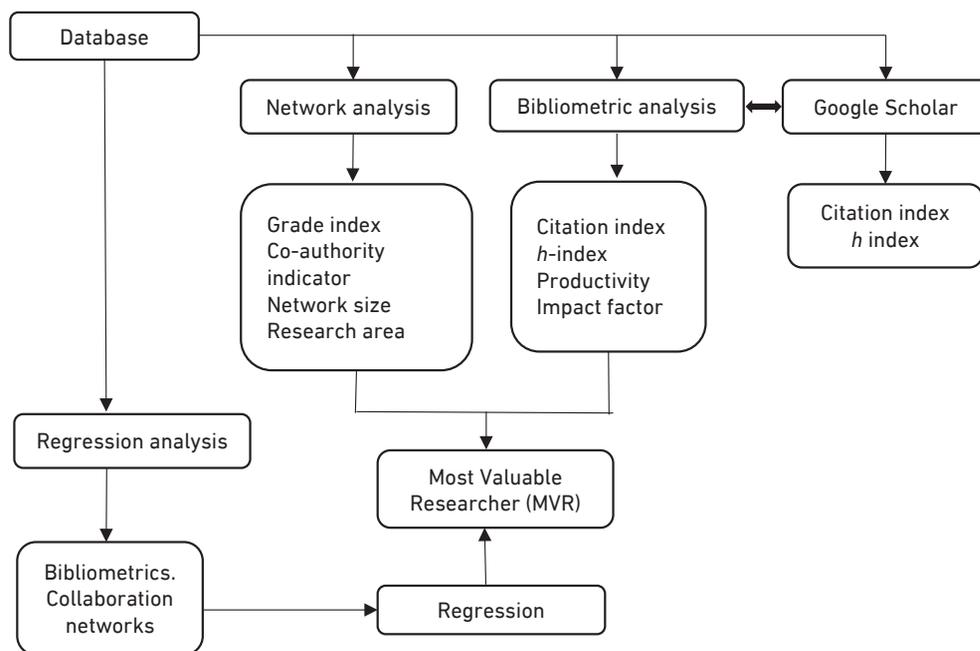


Figure 2. Most Valuable Researcher (MVR) model

Own elaboration

To achieve the main objective, we filtered the selection by organization (OG = University -name-) in the WoS and obtained 1792 publications. Subsequently, the search was refined considering ten years of publications between 2008 and 2018, thus reducing data to 1502 publications. Here we found a big problem, since the WoS does not have a faculty filter, it was necessary to verify each of the publications of these ten years and save, with the help of Microsoft Excel, only the data valid for the study. Finally, the database was limited to a total of 281 exclusive publications of both faculties.

The data extracted from the WoS included: title of the research, year and month of publication, authors and co-authors, institution and area of each author of the publications, language, the quartile of publication, number of citations received, country and city of researchers, as well as the h index and research areas with which the researchers are associated. A unique five-digit ID replaced the name of each author and co-author to avoid confidentiality problems.

Having all the necessary data, we used indicators for each area of study and obtained bibliometric indicators. Thus it is possible to obtain indicators of citations such as the total number of citations received, the total of publications by author, and an average of citations received by each article. The h indicator, which quantifies productivity, is obtained

directly from the WoS, so it does not need to be calculated. The annual productivity of researchers can be obtained through dynamic tables with the productivity indicators and the Lotka indicator. Finally, we considered the impact category of the research and classified the authors according to the impact of the journals in which they publish.

The second step was to compare indicators of citations and the h index obtained from the database, with the data extracted from the profiles of each researcher (the “elite”) in Google Scholar, this in order to determine if the ranking obtained only for ISI publications of WoS is similar to that obtained in Google Scholar under all publications of the authors (not only ISI).

Finally, we applied indicators in collaborative networks, among which the following stand out: (1) grade indicator in countries (the number of countries with which the author is related); (2) size of the network (the number of researchers with whom the authors are related); (3) research area in which the authors collaborate (in this indicator the sub-areas were not considered because the study applied to only one institution and with a small number of authors); and (4) the number of co-authors with whom they work.

4. RESULTS

After using the filters, the 281 articles selected from WoS were saved in a Microsoft Excel 2016 database to enable the necessary calculations. The results were 72 articles belonging to the Faculty of Business and 209 to the Faculty of Engineering, that is 25,62 % and 74,38 %, respectively.

4.1 Publications per year

Publications of both faculties during the years under study reflect an increase in the number of articles published by the Faculty of Engineering in WoS, reaching 33 published pieces of research in 2016, an annual average of 19 publications, and a standard deviation of 9,6. On the other hand, the Faculty of Business has fewer publications than the Faculty of Engineering in each year of comparison; it achieved its highest number of published articles in 2017, with 14 articles; its average of publications is six per year, with a standard deviation of 3,41.

4.2 Publication Language

The language of an article seriously conditions the number of citations and the impact factor of a journal. Ninety seven percent of the scientific journals that appear on the Web of Science (WoS) are written in English (Franco-López *et al.*, 2016). The difference in the penetration of articles in English is abysmal in comparison to other languages. That is why English is considered the international language for scientific research, improving visibility and increasing the probability of receiving citations (Cargill and Burgess, 2017).

4.3 Authorship of publications

The database allowed to retrieve the number of authors participating in the publications. Considering researchers from the University and other institutions, the total amount was 520; 116 belong to the Faculty of Engineering, 48 to the Faculty of Business, and 356 to other institutions.

4.4 Lotka Indicator

With this indicator, it was possible to filter the number of authors for the study, since many of them present a low number of publications; 67 authors of the Faculty of Engineering have only one publication, and a single researcher has 30 investigations, which produces a significant difference between the authors.

4.5 Application of Lotka to the database

Applying the method delivered by Lotka reduced the number of researchers. For the Faculty of Engineering, the number of researchers with which it will be necessary to work is ten, that is to say, the ten researchers who have the highest number of publications. Just six in the case of Business School.

4.6 Index of citations for authors, Faculty of Engineering

The ten authors of the Faculty of Engineering received at least 57 citations for their publications, with author 78120 being the most cited, reaching 124 citations, followed by author 72199 with 102, and author 72149 with 64. The two authors who received the most citations also have the most publications with 21 and 30, respectively. When the average of citations per author was calculated, the group average was 4,62 citations for each publication they participated in, with a standard deviation of 1,65. However, this result does not reflect what happens with each researcher. Author 72149 received only 2,8 citations per article, while author 72174 received an average of 7,2 citations per article.

The analysis results showed that authors with higher productivity are not necessarily those with the highest number of publications; instead, the critical factor is the number of years that it takes to produce. The author with the highest productivity was 78120 with an average of 4,2 publications per year, while the author 72199, with 30 publications, only achieved a productivity index of 2,7 publications per year. On the other hand, the worse index obtained was by author 78101, who failed to achieve at least one publication per year.

4.7 Index h

The results in table 2 show, for each author, that—in their great majority—they have similar h indicators, with an index of 5, which means that there are five publications in

which the authors received five citations in each one of them. Several types of research approved the use of this indicator, making a ranking of researchers based on the *h* index (Braun *et al.*, 2005; Mitra, 2006; Schubert & Glänzel, 2007).

Table 2
H index of the authors

Author ID	<i>h</i> index in WoS
78120	8
72199	5
72149	5
78113	5
72174	3
72214	2
72186	3
72181	3
88128	5
78101	5

Own elaboration

Table 2 provides the indicators obtained by each author, taking data from the eleven years of study. The results show that the best-positioned author was 78120, who managed to obtain an *h8* index, which means he has eight publications, each of which received at least eight citations. Next, five researchers obtained an *h5* index, followed by authors who received at least three citations (*h3*) in three publications. Finally, the author with the lowest indicator was 72174, who only reached an index of two publications with at least two citations (*h2*).

4.8 Comparison of WoS and Google Scholar indicators

Some of the bibliometric indicators, such as citations and *h* index, however are limited since they only measure the Web of Science publications. We compared these results with the indicators obtained for the same authors in Google Scholar to broaden our view. Table 3 shows the results.

Table 3
Comparison between indicators, Faculty of Engineering

Author ID	Total citations WoS	Total citations Google	<i>h index</i> in WoS	<i>h index</i> in Google
78120	124	618	8	14
72199	102	439	5	11
72149	64	0	5	0
78113	63	0	5	0
72174	65	357	2	6
72214	57	707	3	14
72186	52	434	3	12
72181	54	0	3	0
88128	44	0	5	0
78101	57	0	5	0

Own elaboration

There is a significant difference in the citation indicator and for the *h index*: first, citations for all the authors in Google Scholar considerably exceed those obtained in the WoS database. Author 72214 shows the most prominent difference; according to Google, he is among the best researchers, with 707 received citations, while he has only 57 in the WoS. The same happens with his *h index*: according to WoS, he has an *h3*, while according to Google, he reaches an *h14*, the same as the researchers who obtained the best indexes in the analysis of the Web of Science. Secondly, some authors do not have citations or *h* indicators because they do not have a profile created in the platform, so this information could not be recovered. Table 4 shows the comparison for the Faculty of Business.

Table 4
Comparison between indicators, Faculty of Business

Author ID	Total citations WoS	Total citations Google	<i>h index</i> in WoS	<i>h index</i> in Google
72156	67	588	4	12
72272	60	0	2	0
72161	34	218	4	9
78129	16	76	2	5
72162	9	173	2	8
72233	9	0	1	0

Own elaboration

As it happened with the Faculty of Engineering, the rates of the Business School increased for all researchers; however, the best author of the WoS continues to rank in

the first place according to Google Scholar data. On the other hand, author 72156 significantly increased the number of citations received, as well as the h index, becoming one of the best positioned.

4.9 Network Indicator

To complete the search for the most valuable researchers, we compared the network indicators to identify similarities among authors who possess the best indicators, as shown in table 5.

Table 5
Networks indicators in the Faculty of Engineering

Author ID	Grade	Co-authorship	Network size	Area
78120	9	27	34	10
72199	10	35	46	3
72149	10	9	47	6
78113	8	10	33	9
72174	5	9	28	5
72214	6	12	15	6
72186	4	1	34	2
72181	4	22	29	8
88128	4	13	34	8
78101	2	0	15	5

Own elaboration

Table 5 shows that, in general, for the Faculty of Engineering, authors are related to six countries, on average they work in their research with 14 co-authors, their average network size is 31 researchers, while they relate to other six areas, different to the one of the principal author. Sixty percent of the researchers are related to five or more countries, and 100 percent have a network size of more than 15 researchers, while 10 percent make their publications alone and another 10 percent do it with just one co-author. Eighty percent work with at least five different areas of knowledge and 100 percent relate to other areas.

Table 5 shows that author 78120 has quite good indicators; for the degree, the indicator is equivalent to nine, which indicates that the author has relationships with various international researchers, in this case with nine countries. In addition, these researchers come from areas different from the author's; as the area indicator shows, he has relations with ten disciplines different from his own. In the case of co-authors, the author has worked with 27 different researchers and has participated in conjunction with 34

researchers. This indicates that the author has an extensive network of work and information flow, making him one of the leading candidates to choose the name of the most valuable researcher.

Author 72199 has excellent network indicators, except for one, but that does not directly affect the researcher's performance. In the first place, the author has relationships with 46 researchers in ten different countries, which indicates that their network of collaborators is quite broad; in the same way, the co-authorship indicator shows a high number of researchers who have collaborated with the author in his publications, 35 co-authors specifically. Finally, there is a low relation with other specialty areas since it is related to only three; this does not mean that it is a poor index; it only indicates that his field of knowledge is centered only in his area, and he does not address different issues. In the same way as the previous author, he is also a candidate for the name of the most valuable researcher.

Author 72149 has a network size of 47 researchers in ten different countries, implying that he has quite an extensive collaboration network; however, in his work, he has only shared signatures with nine researchers, which indicates that he has numerous participations such as co-author in other publications. Finally, this author is related to six areas different from the main one, so he is a candidate to be the most valuable researcher.

Table 6 contains each indicator of the authors, both of the Faculty of Engineering and Business of the University. Thus, it was possible to compare both groups and interpret characteristics that the authors share to establish factors that lead them to belong to the group of best researchers.

Table 6
Ranking of authors with the best indicators

Author ID	Faculty	Annual Productivity	H Indicators WoS	Impact factor	Network Grade	Co-authorship	Network size	Investigation area
78120	Engineering	4.2	8	1	9	27	34	10
72199	Engineering	2.7	5	2	10	35	46	3
72149	Engineering	2.3	5	2	10	9	47	6
72156	Business	1.3	2	2	4	4	19	6
72272	Business	1	4	3	3	1	3	6

Own elaboration

From table 6, it was possible to establish the necessary characteristics so that a researcher could develop optimally in teaching research. Hence, table 6 shows that 80 percent of researchers have high impact factors, between one and two, which means that the best researchers share the importance of publishing in high-impact journals. Faculty of Engineering researchers have a much higher network size index than Faculty of Business researchers, perhaps a critical point in the observed productivity. Likewise, the number of countries with which the authors are associated is high for the Faculty of Engineering and lower for the Faculty of Business.

4.10 Multiple linear regression analysis

We elaborated a correlation matrix before performing the regression analysis. We correlated the collaborative network variable with the grade indicator, co-authorship, external network size, research area (independent variable), and annual productivity (dependent variable). We used IBM SPSS software to obtain the correlation matrix, as shown in table 7.

Table 7
Correlation matrix

	Annual productivity	Network grade indicator	Co-authorship indicator	External network size	Investigation area
Annual productivity	1				
Grade Indicator	0,806**	1			
Co-authorship indicator	0,700**	0,663**	1		
External network size	0,642**	0,837**	0,537**	1	
Investigation area	0,422**	0,263**	0,136	0,106	1

** The correlation is significant at level 0,01 (bilateral)

Own elaboration

Table 7 indicates that the variables that have a significant correlation with the researchers' annual scientific productivity are the grade indicator (0,8), co-authorship (0,7), network size (0,642), and research area (0,422). Given these correlations, all variables affect the productivity of researchers, which explains that researchers with higher network indicators have higher annual productivity.

Finally, the correlation between the research area and the degree of the network was found to be (0.26**), indicating that an increase or decrease in the research areas will influence the increase or decrease of the network of countries with which the authors are related.

After analyzing the correlation matrix, we performed the multiple regression analysis. Results are shown in table 9.

Table 8
Model summary

Model	R	R square	R squared adjusted
1	0,867*	0,752	0,747

* Predictions: (Constant), research area, external network size, co-authorship indicator, network-grade indicator.

Own elaboration

Table 8 shows the summary of the model, which shows that the model explains 74,7 percent of the variability observed in the annual productivity of researchers analyzed. The variables that influence the variability of the annual productivity of researchers that show a significant effect are the network grade indicator, with a high level of significance (0,000), the co-authorship indicator, with a high level of significance (0,000), and the research area, with a high level of significance (0,000) with the annual productivity of researchers (see table 9).

Finally, the size of the external network does not influence productivity; that is, increasing relationships outside the research group will not help improve the researcher's productivity.

Table 9
Multiple linear regression

Indicators	Non-standardized coefficients		Standardized coefficients		
	B	Dev. Error	Beta	T	Sig.
Model 1(Constant)	-0,31	0,106		-0,296	0,767
Network grade indicator	0,177	0,25	0,538	7,044	0,000
Co-authorship indicator	0,27	0,004	0,312	6,608	0,000
External network size	-0,00006022	0,005	-0,001	-0,13	0,99
Research area	0,087	0,014	0,239	6,38	0,000

Own elaboration

Considering the analysis of correlations and regression where the variables that influence productivity were obtained (network grade indicator, co-authorship and research) we can conclude that the authors selected in the ranking of best researchers

have pretty good network variables, verifying that collaboration networks have a considerable influence on the productivity of the most valuable researchers.

5. DISCUSSION

Our research allowed us to establish a methodology to determine each step necessary to obtain the results of the indicators and thus establish the standard for the most valuable researcher.

This investigation proved what Lotka said: that most of the researches were done by a small group of researchers, finding that many researchers only have one article published in the WoS database, this is how 57 percent of the authors of the Faculty of Engineering only have one article published while 58 percent of the Faculty of Business have one.

The analysis of results with descriptive statistics highlights that there are notorious differences between both faculties, starting with the number of researchers (70 percent corresponding to authors of the Faculty of Engineering and only 30 percent to the Faculty of Business). The same happens with the number of publications: between 2008 and 2018, 74,38 percent correspond to Engineering and 25,62 percent to Business. Therefore, based on Delgado & Cabezas (2012), working with both faculties separately was necessary because the research areas are not comparable.

Comparing our results with those of other studies shows that those researchers with high productivity indicators manage to position themselves as high-level producers. The same happens with the h index of the authors since, for the most part, having a high h index is evidence that the researcher has good production indicators.

The comparison between the citation indicators and an h index of Google Scholar and WoS shows similarities in terms of the trend of researchers. Those who have indicators above the rest in WoS have even better ones in Google Scholar, confirming what was said by Orduña-Malea *et al.* (2015) and Harzing & Alakangas (2016). This is because Google Scholar searches for all the articles by the authors, indexed or not, to generate the indicators shown for them, so there is no adequate quality filter for the publications. In this way, it became necessary to search the researchers according to the criteria of the Web of Science and then compare the results with Google Scholar.

From the regression analysis, it is possible to demonstrate that network indicators influence researchers' annual productivity. Compared with other research, such as the one carried out by García (2013), similar results are obtained regarding the correlations between collaborative network variables. For this case, we have that degree indicator (0,8), co-authorship (0,7), network size (0,642), and research area (0,422) have strong correlations with productivity. However, after obtaining the multiple regression analysis,

only three of the four variables are significant to explain the variability of productivity, leaving outside the size of the external network. This may be due to correlating with another variable, so it is discarded only for the variable productivity, which is why it is advisable to perform a more extensive analysis to validate the information obtained.

6. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Some precedents allow knowing the criteria necessary to achieve academic production efficiently. The main indicators that allow us to disclose the standard with which the most valuable researchers work are the productivity indicator, *h* index, and impact factor. Meanwhile, for collaborative networks, network size, research area, and co-authorship are the indicators that help explain the success of these researchers, or like it has been called, the most valuable researcher (MVR).

In the Faculty of Engineering case, the *h* index shows its best results in three academics, with an index of between five and eight; in turn, according to a productivity of at least 2,3 annual publications. Another factor in which the authors who have these indicators agree is to publish their research in journals that have a high impact factor; these are listed as *Q1* and *Q2* journals.

In the Faculty of Business case, two authors were selected as the most valuable, having an *h* index between two and four, while their productivity is only one annual publication. They publish in journals with the average impact factor cataloged as *Q2* and *Q3*.

The comparison made between the WoS and Google Scholar indicators results in an evident improvement of the indicators given by Google, however, the ranking of authors is not strongly affected, because the authors stayed in their ranking positions.

The analysis of collaborative networks shows that authors selected as the most valuable have a wide area of work, and the vast majority participate in at least six areas within their area of knowledge or related to it. This is reflected in the size of the network they manage since the authors of the Faculty of Engineering have relations with at least 34 researchers in at least nine countries. Authors of Businesses handle fewer interrelations varying between 3 and 19 researchers.

The analysis of correlations and linear regression verify the hypothesis obtained through the descriptive analysis of network indicators. Because the variable collaborative network has a direct relationship with the productivity of researchers, it is a fact that indicators of a network's degree, co-authorship and research area are variables that affect productivity. In contrast, the variable "external network size" was discarded by the regression test.

Another recommendation is to publish as the first option in journals whose impact factor is $Q1$ or $Q2$ since the most valuable researchers share the characteristic of making their publications in high-impact journals.

This study can be replicated in its entirety for any organization that needs to know its MVRs; however, we recommend extending the study to different databases because currently there are new platforms that gather research; Scopus is relevant for Business and Administration, for example. Over the years many researchers have migrated to this platform, so adding it would be an advance in the search for the best researchers and explaining how to get to be an MVR.

As proposals for future research on academic research, we propose the option of including study groups of the National Committees of Science and Technology, such as the National Commission for Scientific and Technological Research in Chile, determining whether it is influential or not.

Based on the preceding, it would be timely and beneficial for future research: (a) To analyze in a more exhaustive way the variables and their correlations, determining if there are correlations with variables not considered in the linear regression analysis; (b) Analyze how to include the effect of young researchers versus senior researchers, considering the productive life of researchers; (c) Analyze how the databases enumerate the authors or co-authors, according to their name, specialty areas, author of correspondence, and verify if there are differences with reality; (d) Identify the effect of “initiator” or “inciter”; regarding researchers with high citation rates, but with low productivity also establish how they influence the publication as author or co-author; and (e) Expand the study to compare public/private institutions throughout a region or country, by specialties.

This study of the most valuable researcher presents an efficient way to establish scientific productivity within an Academic Unit or a University and how to contribute to improving the quality of research through sponsorship and support of collaborative networks.

REFERENCES

- Bordons, M. (1999). Evaluación de la actividad científica a través de indicadores bibliométricos. *Revista Española de Cardiología*, 52, 790-800.
- Braun, T., Glänzel, W., & Schubert, A. (2005). A Hirsch-type index for journals. *The Scientist*, 19, 8.
- Cargill, M., & Burgess, S. (Eds.) (2017). *Publishing research in English as an additional language: Practices, pathways and potentials*. University of Adelaide Press.

- Chaparro, N., & Rojas-Galeano, S. (2021) Revealing the Research Landscape of Master's Degrees via Bibliometric Analyses. *Library Philosophy and Practice (e-journal)*, 5351. <https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/5351>
- Cole, F. J., & Eales, N. B. (1917). The history of comparative anatomy: Part I.—A statistical analysis of the literature. *Science Progress*, 11, 578-596.
- Delgado, E., & Cabezas-Clavijo, Á. (2012). Google Scholar Metrics: an Unreliable Tool for Assessing Scientific Journals. *El Profesional de la Información*, 21, 419-427.
- Franco-López, A. F., Sanz-Valero, J., & Fernández, J. M. C. (2016). Publicar en castellano, o en cualquier otro idioma que no sea inglés, negativo para el factor de impacto y citaciones. *Journal of Negative and No Positive Results*, 1, 65-70.
- García, A. (2013). Las redes de colaboración científica y su efecto en la productividad. Un análisis bibliométrico. *Investigación Bibliotecológica*, 27, 159-175.
- Gingras, Y. (1996). *Bibliometric analysis of funded research. A feasibility study*. Centre interuniversitaire de recherche sur la science et la technologie (CIRST), Canadá.
- Gross, P. L., & Gross, E. M. (1927). College libraries and chemical education. *Science*, 66, 385-389.
- Harzing, A. W., & Alakangas, S. (2016). Google Scholar, Scopus and the Web of Science: a Longitudinal and Cross-Disciplinary Comparison. *Scientometrics*, 106, 787-804. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1798-9>
- Hulme, E. W. (1923). *Statistical bibliography in relation to the growth of modern civilization*. Grafton.
- Jacsó, P. (2008). The Pros and Cons of Computing the h-Index Using Web of Science. *Online Information Review*, 32, 673-688.
- King, J. (1987). A Review of Bibliometric and Other Science Indicators and their Role in Research Evaluation. *Journal of Information Science*, 13, 261-276.
- Mitra, P. (2006). Hirsch-Type Indices for Ranking Institutions Scientific Research Output. *Current Science*, 91, 1439.
- Okubo, Y. (1997), *Indicateurs bibliométriques et analyse des systèmes de recherche*, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- Orduña-Malea, E., Ayllón, J. M., Martín Martín, A., & Delgado López-Cózar, E. (2015). Aplicaciones métricas de Google Scholar para la evaluación del impacto científico. En *IV Jornadas de Intercambio y Reflexión acerca de la Investigación en Bibliotecología*, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 1-12.

- Patra, S. K., Bhattacharya, P., & Verma, N. (2006). Bibliometric Study of Literature on Bibliometrics. *DESIDOC Journal of Library & Information Technology*, 26. <https://doi.org/10.14429/djlit.26.1.3672>
- Pritchard, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics. *Journal of Documentation*, 25, 348–349.
- Rinia, E. J., Van Leeuwen, T. N., Van Vuren, H. G., & Van Raan, A. F. (1998). Comparative Analysis of a Set of Bibliometric Indicators and Central Peer Review Criteria: Evaluation of Condensed Matter Physics in the Netherlands. *Research Policy*, 27, 95–107. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(98\)00026-2](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(98)00026-2)
- Roig-Tierno, N., Gonzalez-Cruz, T. F., & Llopis-Martinez, J. (2017). An Overview of Qualitative Comparative Analysis: A Bibliometric Analysis. *Journal of Innovation & Knowledge*, 2, 15–23.
- Roldan, C. S., Chaparro, N., & Rojas-Galeano, S. (2019). Análisis bibliométrico de la Revista Ingeniería (2010-2017). *Ingeniería*, 24(2), 96-115. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/14678>
- Schauss, M. A. (1998). *Disease indicator analysis system* U.S. Patent No. 5,746,204, U.S. Patent and Trademark Office.
- Schubert, A., & Glänzel, W. (2007). A Systematic Analysis of Hirsch-Type Indices for Journals. *Journal of Informetrics*, 1, 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2006.12.002>
- Sengupta, I. N. (1992). Bibliometrics, Informetrics, Scientometrics and Librametrics: an Overview. *Libri*, 42, 75–98.
- White, H. D., & McCain, K. W. (1998). Visualizing a Discipline: An Author Co Citation Analysis of Information Science, 1972–1995. *Journal of the American Society for Information Science*, 49, 327–355.
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18, 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>

**INGENIERÍA
DE NEGOCIOS**

Business Engineering

EVALUACIÓN DE LA CADENA DE VALOR DE LA PRODUCCIÓN DEL ACEITE DE PALTA PERUANA Y PROPUESTAS COMPETITIVAS*

ANA MARÍA QUIROZ**

<https://orcid.org/0000-0003-2239-5114>

Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú

Recibido: 16 de mayo del 2021 / Aprobado: 28 de junio del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5543>

RESUMEN: Actualmente, el Perú es el tercer exportador mundial de palta Hass (Trade Map, 2019), la cual es conocida en los mayores mercados del mundo. Por ello, se propone utilizar la cadena de valor para brindar información sobre la comercialización de su principal derivado, el aceite de palta. En ese sentido, se diseñó la cadena de valor del aceite de palta peruana proponiendo un modelo basado en las principales guías existentes y se la complementó con una estimación del esfuerzo requerido para implementar una planta modelo de extracción de dicho aceite. Con el objetivo final de dar a conocer la factibilidad de la producción de aceite de palta en el Perú, evaluar los puntos clave para implementar la cadena de producción y brindar propuestas competitivas.

PALABRAS CLAVE: cadena de valor / palta / aceite de palta / Perú

VALUE CHAIN ANALYSIS OF PERUVIAN AVOCADO OIL PRODUCTION

ABSTRACT: Currently, Peru is the third-largest global exporter of Hass avocado (Trademap, 2019), known in the main markets. For this reason, this article proposes to use the value chain tool to provide information on commercialization guidelines of the most representative derivative, avocado oil. In this sense, the Peruvian avocado oil value chain was designed to propose a model based on the main existing guides, complemented by estimating the effort required to implement a model plant to extract said oil, with the final objective of proving the feasibility of avocado oil production in Peru, evaluating the key points to implement the production chain and provide competitive proposals.

KEYWORDS: value chain / avocado / avocado oil / Peru

* Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación final de la versión publicada.

** Correo electrónico: ana.quirozo@pucp.pe

1. INTRODUCCIÓN

La palta, en los últimos años, ha ganado popularidad debido a sus propiedades nutricionales. La variedad más comercializada es la palta Hass, que representa casi el 95 % del comercio de dicho fruto (MINAGRI, 2015). Una de las mayores ventajas de esta variedad es su resistencia al transporte y su larga vida poscosecha (Sierra y Selva exportadora, 2016).

Asimismo, es beneficiosa para la salud, contiene potasio y es fuente de energía y de grasas saludables. Su contenido en magnesio favorece al funcionamiento del sistema nervioso y muscular, así como a regular los niveles de glucosa en la sangre (PromPerú, 2018b). También, el aguacate o palta es la más completa de las frutas y verduras, de gran valor alimenticio, contiene todas las vitaminas del reino vegetal (A,13, C, D, E, K), minerales y proteínas. Algunos utilizan el fruto, las hojas y la semilla en medicina natural para combatir problemas del aparato digestivo; y las hojas como expectorante (Gutiérrez, 2013).

A lo largo de los años, Perú se ha consolidado como uno de los principales países exportadores de palta y, al 2019, se estableció como tercer exportador mundial con un 11,8 % de participación en el mercado, después de México (43,8 %) y Países Bajos (16,2 %) (Trademap, 2019), lo cual quiere decir que la palta peruana es conocida en la mayoría de mercados. Por ello, con el objetivo de incrementar valor agregado a la comercialización de la palta peruana, se elaboró un diseño de la cadena de valor para uno de sus derivados principales, el aceite de palta.

Para ello, se utilizó la cadena de valor, la cual es un modelo teórico descrito y popularizado por Michael Porter. Esta herramienta consiste en ver hacia adentro de la empresa y encontrar ventajas en cada una de las actividades que se realiza (Porter, 2004). Dicho análisis permite preguntarse si se puede mejorar el método productivo y cuáles son los límites de lo que se puede hacer dentro de la empresa, además de permitir una comparación con los competidores y conocer las influencias de otras entidades, como el Estado o los interesados o *stakeholders*.

El concepto de cadena de valor tiene varias definiciones en la actualidad y es usado principalmente como una herramienta de análisis estratégico. Una de las definiciones más difundidas, según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), es que la cadena de valor describe el conjunto de actividades que se requiere para llevar un producto o servicio desde su concepción, pasando por las fases intermedias de transformación y la entrega hasta los consumidores finales (OIT, 2016). Es decir, es la cadena de actividades que añade valor para los consumidores.

Actualmente, existen numerosas guías para el desarrollo de la cadena de valor. Cada una tiene sus ventajas y desventajas por lo que, dependiendo de la empresa y del contexto, se puede escoger la más adecuada. Los modelos más conocidos son el

modelo de Porter, el modelo de Mckinsey y la guía para el desarrollo de la cadena de valor propuesta por la OIT, las cuales se presentarán a continuación.

2. METODOLOGÍA

Se tomará como referencia la metodología de la investigación mixta exploratoria (Hernández-Sampieri y Torres, 2018), debido a que la producción de aceite de palta en el Perú es un tema poco estudiado. Con ello, se recopilan datos cuantitativos sobre los insumos y el mercado (normas e involucrados) y se realiza un análisis cuantitativo para conocer el esfuerzo requerido para implementar una planta modelo de producción de aceite de palta.

A continuación, se presentan los tres modelos de cadena de valor como punto de inicio para elaborar una propuesta sobre los elementos más relevantes que deben ser estudiados para la producción del aceite de palta.

Cadena de valor de Porter

A continuación, se muestra el modelo genérico de la cadena de valor de Porter, el cual incluye las actividades primarias y actividades de apoyo; asimismo, se muestra que la cadena de valor de la empresa se encuentra dentro de la cadena de valor de la industria, la cual incluye a los proveedores y los clientes también, pues se considera importante estudiar las relaciones que se establecen con ellos.



Figura 1. Modelo de la cadena de valor de Porter

Fuente: Porter (2004)

Cadena de valor de McKinsey

El concepto se basa en un gráfico secuencial que muestra los elementos clave del sistema por el cual una empresa entrega sus productos o servicios (McKinsey, 2009). Por ejemplo, en una empresa de fabricación basada en tecnología, estos elementos clave pueden ser tecnología, diseño de productos, fabricación, etcétera, como se observa en la figura 2. Luego, los factores identificados como ventajas se listan en las columnas correspondientes, pues se consideran necesarios para satisfacer al cliente o para diferenciarse de la competencia.



Figura 2. Gráfico del modelo de la cadena de valor de McKinsey

Fuente: McKinsey (2009)

Guía del desarrollo de la cadena de valor de la OIT

Para su desarrollo, se plantea cinco pasos principales para su organización.



Figura 3. Gráfico de los pasos para la organización de una cadena de valor según la OIT

Fuente: OIT (2016)

El primer paso es la selección de sectores, es decir, el rubro en el que se desarrollará la cadena; en el segundo paso, el análisis del sistema de mercado, se recaba toda la información pertinente; en el tercer paso, análisis y diseño de las intervenciones, se enfoca en las oportunidades y limitaciones de la participación de los actores de la cadena; el cuarto paso es la implementación de los modelos de negocio; y el quinto paso, corresponde al monitoreo y medición de los resultados.

3. RESULTADOS

Respecto a lo explicado previamente, cada metodología de análisis de la cadena de valor tiene su propio enfoque, sin embargo, el objetivo final es el mismo: estudiar el mercado y sus agentes clave para generar ventajas competitivas.

En este caso, se utiliza para dar a conocer la factibilidad de la producción de aceite de palta en el Perú, estudiando y analizando los puntos clave para implementar una planta productora.

A continuación, se presenta la propuesta elaborada tomando los elementos de las tres cadenas de valor mencionadas previamente.



Figura 4. Gráfico de la propuesta de diseño de cadena de valor del aceite de palta

Elaboración propia

Se incluye a los proveedores de materia prima dentro de la propuesta debido a que la palta es el insumo principal para la obtención de aceite de palta. Además, incluye la investigación de factores influyentes en la producción de la palta que, a su vez, repercuten en la producción del aceite. Por ejemplo, el rendimiento y la estacionalidad de la palta.

La siguiente parte de la cadena, la tecnología, se ha rescatado de la cadena de valor de McKinsey, la cual abarcará los diferentes métodos de extracción del aceite de palta, pues es importante conocer sus ventajas y desventajas para elegir el método más efectivo.

Luego, en la producción, se desarrollará el estudio técnico para conocer con mayor detalle las ubicaciones recomendables de las plantas, el tamaño de las mismas en función de la demanda, así como los detalles del proceso productivo del aceite de palta.

La cuarta instancia es el análisis y diseño de la cadena y las interacciones, el cual se ha rescatado de la guía de la OIT. Se desarrollará el mapeo de la cadena de valor para identificar los principales actores y las reglas del mercado, los cuales permiten un análisis interno y externo de la empresa, en este caso del sector de producción de aceite de palta.

Finalmente, se tiene el estudio del comportamiento de los clientes, es decir, de las tendencias del mercado, que se rescata de la propuesta de cadena de valor de Porter. Esto se considera importante debido a que la retroalimentación del cliente es clave. Aquí se revisarán los principales clientes del aceite de palta, los precios y la factibilidad de implementar una planta modelo en el Perú, la cual se considera relevante para este estudio pues demuestra la rentabilidad al poner en marcha la producción de aceite de palta en el país.

3.1 Proveedores

La palta es un fruto que, en los últimos años, ha ganado popularidad debido a sus propiedades nutricionales. La variedad de palta más comercializada es la Hass, cuyas mayores ventajas son su resistencia al transporte y su larga vida poscosecha. (Sierra y Selva exportadora, 2016).

En el mundo

- *Producción:* La producción de palta en el mundo muestra una tendencia de crecimiento en los últimos diez años debido a la expansión del consumo mundial (Faostat, 2016).
- *Exportaciones:* Al 2019, México continuaba siendo el principal productor y exportador de palta, con un 43,8 % del valor exportado, seguido por los Países Bajos, con un 16,2 % y, en tercer lugar, por el Perú, con un 11,8 % de participación. (Trade Map, 2019).
- *Importaciones:* Con un rápido crecimiento, la importación mundial de palta del 2016 aumentó un 190 % con respecto al 2010. Al 2016, el principal importador de palta era Estados Unidos (41 %), seguido de Países Bajos (10 %) y Francia (8 %) (Trade Map, 2019).

Con respecto a China, cabe resaltar que las importaciones de palta, de acuerdo con las aduanas de China, empiezan a aumentar a un promedio anual de 181 % en términos de volumen, a partir del 2011. En ese sentido, el mercado interno chino de la palta todavía se está desarrollando. Al Perú se le presenta una gran oportunidad en este mercado, dada la escasa oferta y poca competencia que existe, además del poco conocimiento del consumidor chino sobre dicho fruto. Lo anterior ofrece posibilidades para realizar campañas enfocadas a disminuir la falta de información (MINAGRI, 2015).

En Perú

- *Principales regiones de producción de palta en el 2019*

En la tabla 1 se puede observar que las tres regiones con mayor producción son La Libertad, Lima e Ica, respectivamente, y que la región con mayor producción, La Libertad, acumula más de la tercera parte de la producción total, con un 38 % en el 2019.

Tabla 1
Perú: Principales regiones de producción de palta en el 2019

Región	Producción (t)	
	2015	Part % 2019
Nacional	535,910	100
La Libertad	202,184	38
Lima	80,190	15
Ica	71,591	13

Fuente: Análisis del mercado 2015-2019 por Sierra y Selva exportadora del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) (p. 38)

– Estacionalidad

Una ventaja del Perú es que se puede producir palta durante todo el año; sin embargo, el pico de la producción estacional de la palta Hass se concentra entre los meses de abril a julio de cada año. Estos picos se asemejan a las temporadas de mayor producción de los tres principales departamentos productores de palta: La Libertad, Lima e Ica.

Con respecto a México, se observa que su estacionalidad es contraria a la peruana debido a que se ubica en el hemisferio norte; ello se considera una ventaja competitiva para el Perú pues su producción es complementaria y no muchos países pueden suplir esa demanda insatisfecha.

3.2 Tecnología

Existen varios métodos de extracción de aceite de palta, cada uno con ventajas y desventajas. Sin embargo, el más industrializado es la extracción por prensado en frío, debido a que el aceite conserva sus propiedades y beneficios con este método. Asimismo, al ser conocido en la extracción de otros aceites, como el de oliva, la tecnología se encuentra disponible en el Perú.

El proceso inicia con la maceración y el batido de la pulpa hasta lograr una consistencia homogénea. Después se somete a la acción de prensas, generalmente hidráulicas, y se hace pasar a través de una serie de centrífugas. Algunos productores añaden durante la molienda o maceración de la pulpa una mezcla de enzimas conocidas comercialmente como oleazas para mejorar el rendimiento de la extracción del aceite (Acosta, 2011).

Después del prensado se puede continuar la extracción con solventes, sin embargo, los aceites extraídos con este segundo sistema ya no serán de la misma calidad.

Se considera que la calidad obtenida es el factor más importante debido a que la palta peruana es conocida por su alta calidad, por lo que se podría considerar como una ventaja competitiva presentar un aceite *premium*.

3.3 Producción

Proceso productivo

Las etapas del proceso de la extracción de aceite de palta por prensado en frío son las siguientes:

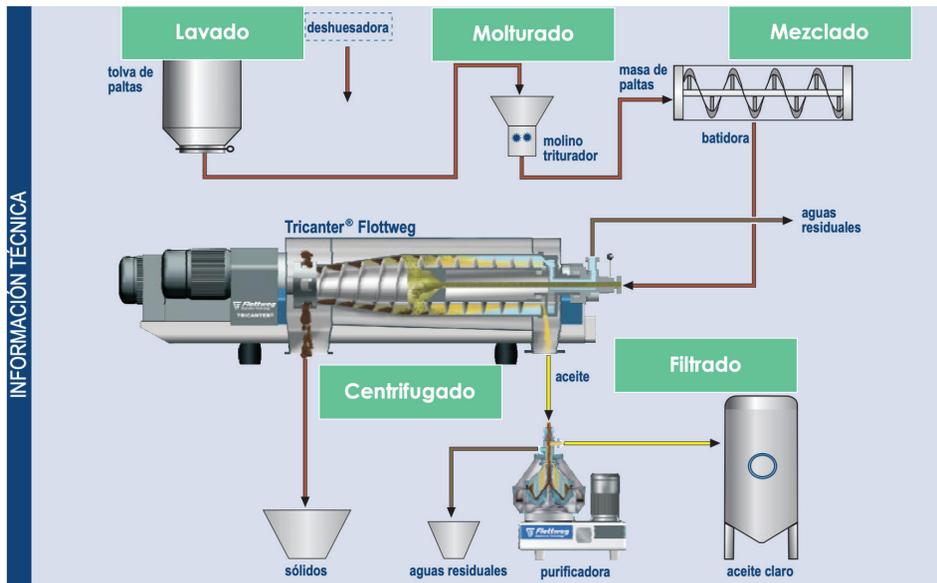


Figura 5. Gráfico de la tecnología Flottweg para el procesamiento de aceite de palta
Fuente: Flottweg (2016)

A continuación, se muestra el diagrama de operaciones del proceso productivo del aceite de palta extra virgen obtenido con el método de prensado en frío, tomando en cuenta las etapas del proceso descrito en la figura 5.

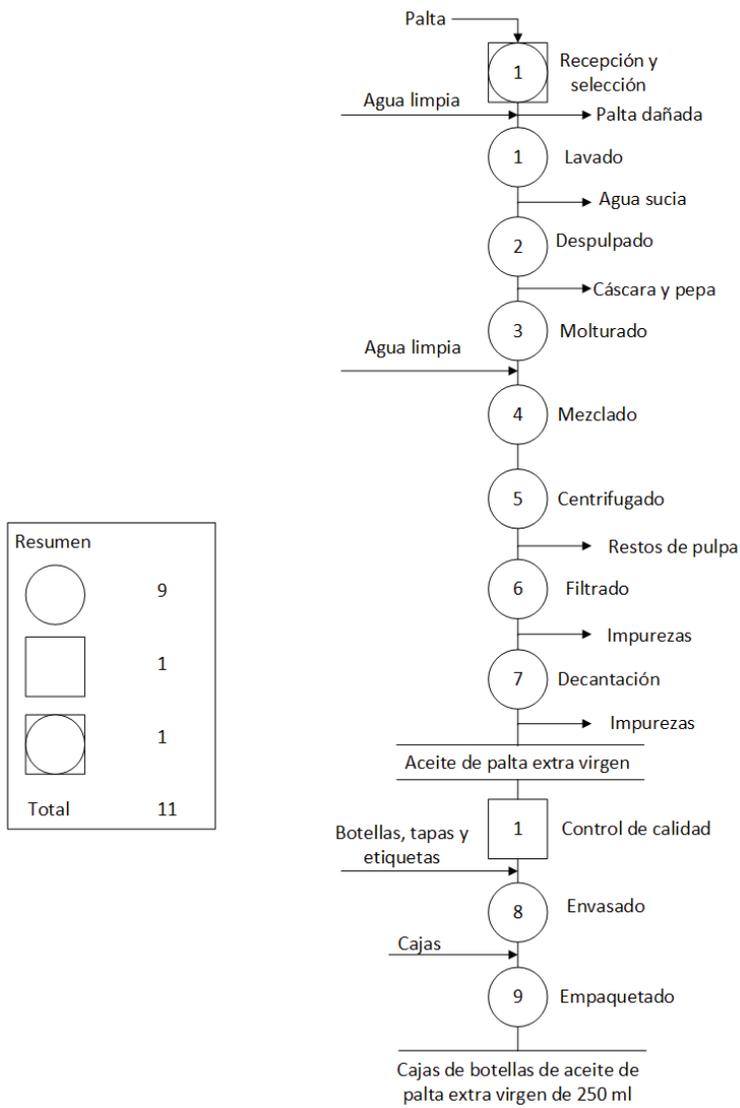


Figura 6. Gráfico del proceso de producción de aceite de palta extra virgen
Elaboración propia

3.4 Análisis y diseño de la cadena

A continuación, se muestra el resumen del mapeo de la cadena de valor el aceite de palta, tomando como referencia la distribución y orden de la información del modelo de cadena de valor de la OIT, el cual contempla el flujo de los procesos, funciones de apoyo, los actores principales y las reglas y normas de acuerdo con las que se debe trabajar para comercializar el producto.

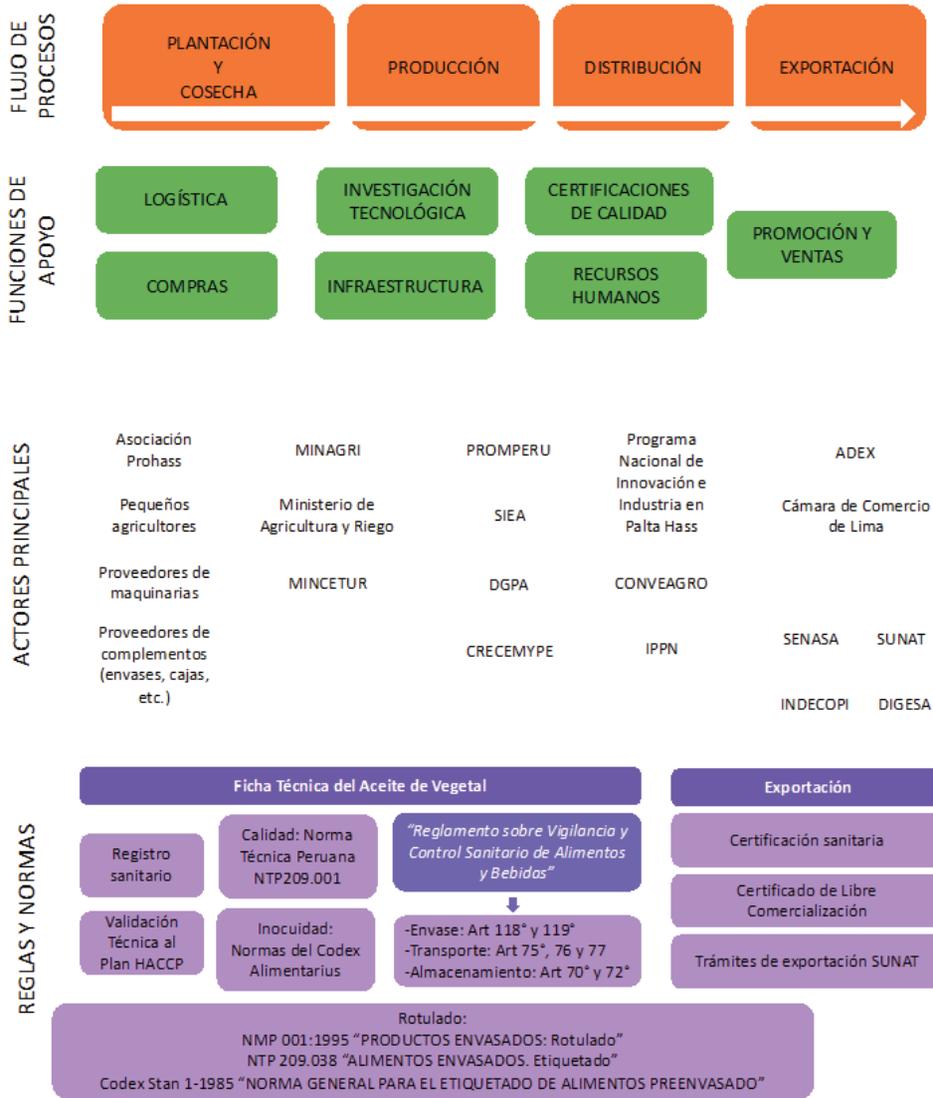


Figura 7. Gráfico del mapeo de la cadena de valor de la producción de aceite de palta Hass peruana
Elaboración propia

a. *Flujo de procesos*

Se consideran la plantación y la cosecha, la producción y la distribución pues son puntos clave de esta propuesta de cadena de valor del aceite de palta. Asimismo, se incluye exportación en caso las empresas se enfoquen en colocar el producto en el mercado internacional.

b. *Funciones de apoyo*

La investigación y el uso de tecnología es otro aspecto de importancia de la propuesta de cadena de valor, pues permite a las empresas productoras utilizar nuevos métodos de extracción o mejorar la eficiencia de los procesos. Adicionalmente, se consideran la logística, las compras, la infraestructura y los recursos humanos como soporte, pues son relevantes en toda empresa productora. Las certificaciones de calidad son importantes, pues son parte de la ventaja competitiva que tiene la palta peruana, como la certificación ISO 9001, para la gestión de la producción y el envasado, y la certificación ISO 22000 sobre la garantía de seguridad alimentaria que se debe aplicar sobre toda la cadena de suministro de los alimentos. Estas normas son aceptadas internacionalmente.

c. *Actores principales*

Proveedores

Se incluye a los proveedores de materia prima, en particular la palta, la más importante. ProHass Perú es la "Asociación de Productores de Palta Hass del Perú, dedicada a articular las oportunidades comerciales y brindar apoyo y capacitaciones a la industria peruana para la mejora de la producción y comercialización de palta Hass" (ProHass).

Esta asociación está conformada por agricultores pequeños, medianos y grandes y juntos representan aproximadamente el 80 % del área sembrada de palta en el Perú. Los pequeños agricultores también están siendo financiados por las organizaciones del Estado, así como capacitados e instruidos en temas fitosanitarios y de producción.

Con respecto a la capacidad de producción, se toma en cuenta la proyección de la producción y la exportación (2018-2022) de la palta así como el rendimiento necesario para llegar a dicha cosecha. Se tomó como referencia los datos de TradeMap del 2012 al 2016.

Con respecto a la producción peruana, se utilizó la regresión exponencial, de la cual se obtuvo un crecimiento del 15 % anual en el periodo 2017-2022.

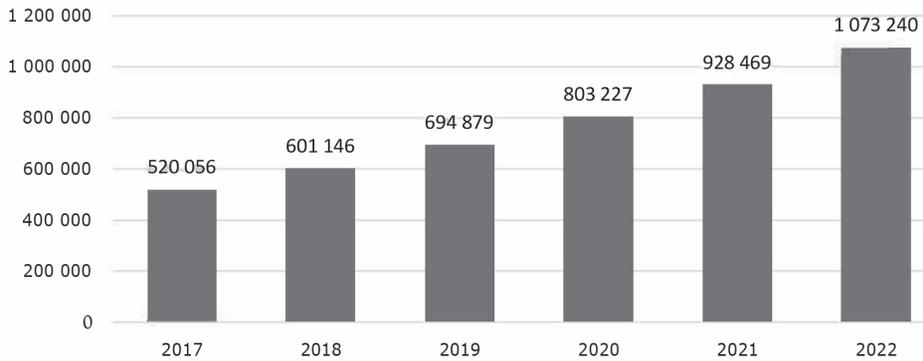


Figura 8. Gráfico del pronóstico de producción de palta en el Perú (toneladas)
Elaboración propia

Con estos pronósticos se estima que el Perú alcanzará el 12 % de la producción mundial para el 2022, lo cual significa un crecimiento de la participación del 4 % con respecto al 2016. Sin embargo, hay que tener en cuenta el rendimiento necesario para producir el estimado en el 2022. A continuación se muestra que, si se destina la misma área que en el 2016 para la producción de palta, se tendría que lograr un rendimiento del 28,34 t/Ha, lo cual representaría un aumento considerable de aproximadamente 15 % por año desde el 2016. Sin embargo, este valor es mucho menor que el rendimiento de República Dominicana al 2016 (44,9 t/Ha), por ello, es factible esperar que dicho rendimiento sea posible.

Tabla 2
Estimación del rendimiento de producción de palta

Año	Volumen (t)	Área (Ha)	Rendimiento
2015	367 110	33 590	10,93
2016	455 394	37 871	12,02
2017	520 056	37 871	13,73
2018	601 146	37 871	15,87
2019	694 879	37 871	18,35
2020	803 227	37 871	21,21
2021	928 469	37 871	24,52
2022	1 073 240	37 871	28,34

Elaboración propia

Por el lado de las exportaciones peruanas de palta, en el periodo 2012-2016, con regresión lineal se estima un crecimiento anual promedio del 9 %. Lo cual concuerda con la realidad pues en el 2019, se exportó alrededor de 310 000 toneladas (TradeMap, 2019).

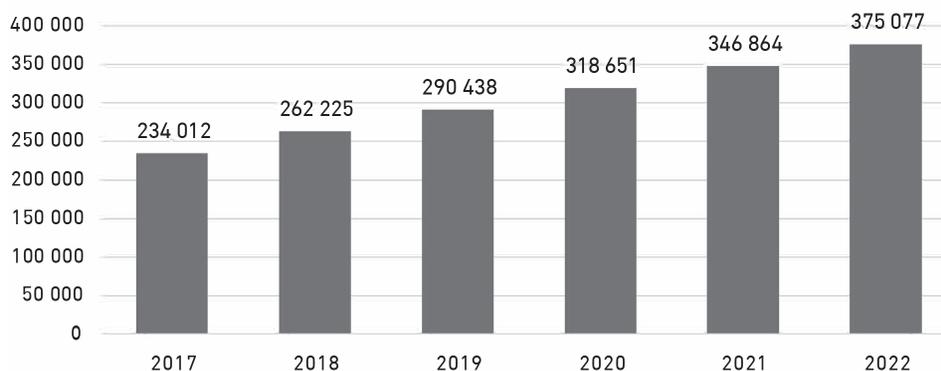


Figura 9. Gráfico del pronóstico de exportación de palta del Perú (toneladas)

Elaboración propia

En ese sentido, al comparar la producción y la exportación de palta proyectadas, se tiene un excedente que puede ser destinado para el consumo interno y/o exportación con procesos de transformación.

Tabla 3

Comparación entre la proyección de producción y exportación de la palta (t) 2018-2022

Año	Producción de palta (t)	Exportación de palta (t)	Excedente (t)
2018	601 146	262 225	338 921
2019	694 879	290 438	404 441
2020	803 227	318 651	484 576
2021	928 469	346 864	581 605
2022	1 073 240	375 077	698 163

Elaboración propia

Ministerios

Los ministerios vinculados con el sector como el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), Ministerio de la Producción (PRODUCE) y el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR) se encargan de brindar información y facilitar el comercio de

productos agrícolas y derivados. Por lo que están constantemente realizando ferias y proyectos para ayudar a los comerciantes a promover sus productos. Por ejemplo, el gobierno peruano creó un Fondo de Investigación y Desarrollo para la Competitividad (FIDECOM), liderado por el Ministerio de la Producción, el cual cofinancia hasta 75 % del monto total de los proyectos. Con respecto al comercio de aceite de palta, FIDECOM financió casi el 50 % de un proyecto sobre la explotación y comercialización del aceite de palta extra virgen (ADP) con presencia en mercados del exterior.

Investigación y promoción

En ese sentido, también ofrecen apoyo las instituciones y programas que se enfocan en investigación y promoción de estos productos.

- PROMPERÚ: “Realiza estrategias y planes de promoción de bienes y servicios exportables, promoviendo y difundiendo la imagen del Perú en materia turística y de exportaciones” (PROMPERÚ, 2018a). Está adscrito al MINCETUR.
- Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias contiene información acerca de productos agrícolas, como el desagregado de las regiones productoras de palta Hass del Perú. Está adscrito al MIDAGRI.
- Convención Nacional del Agro Peruano (Conveagro): Es un foro de diálogo y análisis en el que se comparten expectativas y metas comunes, gremios agrarios, instituciones de la sociedad civil y académicas, así como expertos e interesados en el tema agrario.
- Instituto Peruano de Productos Naturales (IPPN): Es una asociación privada sin fines de lucro que promueve los productos e ingredientes naturales. Tiene como objetivo lograr el uso y desarrollo sostenible de los recursos naturales de nuestra biodiversidad, principalmente, de aquellas plantas con propiedades nutricionales y benéficas para la salud.
- Dirección General de Promoción Agrícola (DGPA): Órgano de línea dependiente de la Alta Dirección del MIDAGRI, cumple un rol fundamental como promotor, articulador y facilitador en su labor sobre las cadenas productivas. En ese sentido, trabaja en la capacitación de pequeños agroindustriales y del personal de promoción agraria de todas las regiones del país, con énfasis en la sierra y la selva, con la finalidad de que se genere mayor valor agregado y se incrementen los ingresos.

Comercio

- Asociación de Exportadores (ADEX): Es el gremio empresarial líder del comercio exterior peruano; trabaja por el desarrollo del país y la promoción de las exportaciones peruanas.
- Cámara de Comercio de Lima (CCL): Gremio empresarial de distintos rubros que incluye empresas dedicadas al comercio exterior.

Regulación

- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA): Es la autoridad nacional y el organismo oficial del Perú en materia de sanidad agraria. Gestiona las certificaciones fito y zoonosanitarias.
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA): Es el órgano competente del Ministerio de Salud para expedir los certificados sanitarios oficiales de exportación.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI): Propicia la defensa de los consumidores, la prevención y fiscalización de prácticas restrictivas de la libre y leal competencia, la protección de la propiedad intelectual y la promoción y desarrollo de una infraestructura y cultura de la calidad en el Perú.
- Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT): Expide disposiciones en materia tributaria y aduanera, y establece las obligaciones de los contribuyentes, responsables y/o usuarios del servicio aduanero. También dispone medidas para conducir a la simplificación de los trámites correspondientes a los regímenes aduaneros.

d. Reglas y Normas

Existen ciertos requisitos sanitarios para la comercialización interna y la exportación de alimentos. Se debe tener en cuenta la inocuidad, el empaque, la información, entre otros.

En primera instancia, se debe cumplir con lo indicado en la ficha técnica del aceite vegetal. Como requisito para ello, se debe tener Registro Sanitario y Validación Técnica al Plan HACCP. Luego, se debe tener en cuenta la Norma Técnica Peruana NTP209.001 para asegurar la calidad del aceite. Para la inocuidad, las Normas del Codex Alimentarius con respecto al nivel de plaguicidas permitido. También se debe seguir el Reglamento sobre Vigilancia y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas para el envasado, transporte y almacenamiento. Finalmente, se menciona las normas que se debe seguir con respecto al rotulado.

Con respecto a la exportación, se debe tener documentación emitida por DIGESA: el Certificado Sanitario de Exportación, el Certificado de Libre Comercio y la Autorización Sanitaria para Aditivos, en este caso, no se necesita el último documento pues no se incluyen aditivos en el aceite de palta extra virgen.

3.5 Clientes

Aceite de palta

El aceite de palta Hass extra virgen es una de las variedades de aceite de mayor calidad. Posee un color verde perla natural y se caracteriza por presentar un sabor a palta fresca.

Posee propiedades que le permiten reducir el colesterol dañino (LDL) aumentando los niveles del colesterol bueno (HDL) (Rodríguez, 2014). Es rico en vitamina E, poderoso antioxidante que reduce los riesgos de problemas cardíacos y ayuda al rejuvenecimiento de la piel al regenerar los tejidos.

El principal sustituto del aceite de palta extra virgen es el aceite de oliva debido a sus propiedades, similares métodos de extracción, precio y calidad (Cabrera y Lombardi, 2017). Otros productos sustitutos que destacan son: el aceite de sachá inchi, el aceite extraído de las semillas de uva, el aceite de jojoba, el aceite de maíz y otros aceites orgánicos (Capcha, 2017).

Por otro lado, una característica del aceite de palta que lo hace superior al aceite de oliva es su punto de humo, el cual corresponde a la temperatura en la que el aceite empieza a degradarse. El aceite de palta presenta un valor de 250 °C contra los 180 °C del aceite de oliva, por lo tanto presenta una mejor aptitud para uso en la cocina (Santana, 2013). Ello le daría mayor versatilidad sobre el rango de platos que se puede cocinar con dicho producto. Adicionalmente, existen estudios acerca de las propiedades de los aceites donde se encontró el valor de índice de yodo en el aceite de palta mayor al de oliva (Restrepo, 2012). Lo cual confirma una mayor calidad nutritiva de dicho producto sobre el aceite de oliva virgen comercial debido a que el mayor índice indica una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados.

Mercado principal de aceite palta

Perú no es un productor importante de aceite de palta a escala mundial si se lo compara con productores ya consolidados como Alemania (20,7 %), Países Bajos (17,5 %), Malasia (8,2 %) y Estados Unidos (6,9 %) al 2020 según Tridge. Esto está relacionado con la falta de industrialización de la palta en el Perú. Sin embargo, sí existen exportaciones peruanas de dicho producto.

Asimismo, según Tridge (2020), los principales importadores de aceite de palta son: Alemania (13,5 %), Reino Unido (10,2 %), Estados Unidos (9,4 %), Dinamarca (7,5 %) y Japón (4,4 %).

Cabe resaltar que se reporta que todo el aceite de palta peruano se exporta a Estados Unidos, uno de los principales importadores de aceite de palta, con un total de 1,16 toneladas de aceite exportadas en el 2020 (Tridge, 2020).

Utilizando los ratios de conversión de la densidad promedio del aceite, que es de 0,910 g/cm³ (Jiménez *et al.*, 2001); y tomando en cuenta que siete kilos de palta generan un litro de aceite, tomando en cuenta el rendimiento del proceso de extracción de aproximadamente 15 % (Cabrera, 2017), se necesitó alrededor de 8,92 toneladas de palta para dicha exportación. Ello representa menos del 1 % del excedente proyectado de producción versus exportación de palta del 2020.

Precios del aceite de palta

Las exportaciones de aceites vegetales varios son consolidados por Agrodataperu. A continuación, se muestran las exportaciones en volumen y valor FOB de dichos aceites, entre los que el aceite de palta tiene la mayor proporción en ambos indicadores.

Tabla 4
Exportación de aceite de palta 2016-2018

Producto	2018			2017			2016		
	FOB USD	Kilos	Precio	FOB USD	Kilos	Precio	FOB USD	Kilos	Precio
Aceite de palta	634 600	76 000	8,35	1 550 840	182 438	8,5	1 329 554	159 420	8,34

Fuente: Agrodataperu (2018)

En la tabla 4 se observa que el precio FOB del aceite de palta peruano se encontraba en 8,35 dólares por kilogramo en el primer trimestre del 2018. Asimismo, el precio FOB del aceite de oliva promedio en el 2018 fue de 3,54 dólares por kilogramo por lo que se concluye que el mercado que consumirá el aceite de palta es de mayor poder adquisitivo.

A continuación, se completará la investigación con el estudio de la factibilidad de la implementación de una planta modelo de producción de aceite de palta en el Perú, mediante la revisión de los índices de rentabilidad.

Índice de Rentabilidad

Presupuestos

Se estimó los presupuestos esperados para una planta modelo de producción de aceite de palta.

Presupuesto de ingresos

Los ingresos serán el total de ventas de aceite de palta. Para ello, se utiliza el precio FOB promedio del aceite de palta de los últimos 3 años a 8,4 dólares, según los datos de Agrodataperu.

Asimismo, para estimar las ventas del aceite de palta, se tomó como referencia la demanda interna aparente de aceite de oliva existente en el mercado peruano. Desde un punto de vista conservador, se propuso atender, como un producto sustituto, el 0,5 % de esta demanda aparente proyectada. Finalmente, para calcular la demanda de aceite de palta equivalente en botellas de aceite de 250 ml, se utilizó la densidad promedio de 0,910 g/cm³ (Jiménez *et al.*, 2001).

La cantidad de botellas pronosticadas como demanda de los próximos años es consecuente con el pronóstico de la producción y exportación de palta. Además, también guarda concordancia con el rendimiento de los terrenos de cultivo por lo que estos no son factores limitantes.

Presupuesto de costos

Se consideró tres agrupaciones de costo: materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación.

- Presupuesto de materia prima

Se calculó el costo de los insumos más representativos: palta, botellas, tapas, cajas y etiquetas. Se tomó en cuenta el precio FOB de la palta a 2,35 dólares, el cual es el precio promedio del 2017 según Agrodataperu.

- Presupuesto de mano de obra directa

Considera los trabajadores relacionados directamente con el proceso productivo.

- Presupuesto de costos indirectos de fabricación

Para estimar el costo de la energía eléctrica de la planta modelo, se usa el tipo de energía media tensión MT3, pues es de uso común de las empresas industriales en el Perú. Asimismo, se estima que el precio medio de los clientes industriales (Osinermin, 2016) ronda los 45 ctm/Kwh promedio en el 2019.

Adicionalmente, el costo del agua potable para la categoría industrial desde el 2017 es 5,621 S/ por m³. Se estima que la cantidad de agua requerida para una planta de aceite de palta está entre los valores de 450 000 a 480 000 litros anuales.

Con respecto a la depreciación, según la ficha técnica de tratamiento de la depreciación para efectos tributarios de SUNAT, la tasa de depreciación para la maquinaria es de un 20 % anual.

A continuación, se muestra el resumen de los costos indirectos de producción.

Tabla 5
Costos indirectos de producción

CIF	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Energía eléctrica	40 401	40 401	40 401	40 401	40 401
Agua	2 588	2 588	2 588	2 588	2 588
Otros sueldos	600 000	600 000	600 000	600 000	600 000
Depreciación	119 947	119 947	119 947	119 947	119 947
Costo total anual	762 937	762 937	762 937	762 937	762 937

Elaboración propia

3.6 Inversión

Los principales montos de inversión para implementar una planta de producción de aceite de palta son el terreno y la maquinaria del proceso productivo.

Terreno y construcción

Lima sería la mejor opción de macrolocalización de una planta pues reúne la mayor cantidad de mercados mayoristas de palta y está entre las tres principales zonas productoras. Con respecto a la zona de Lima en donde implementar la planta se tiene algunas propuestas. “Durante los últimos cinco años, los distritos limeños de Lurín y Chilca se han posicionado como dos zonas de alto interés para almacenamiento y operaciones de algunas actividades industriales” (Redacción Gestión, 2018).

El costo promedio por metro cuadrado de estos distritos es de USD 350 y 229 respectivamente.

Se toma como referencia el costo de un terreno de 600 m² de Lurín debido a que es un tamaño regular para una planta industrial y se mantiene una perspectiva conservadora utilizando el costo mayor (Lurín).

Tabla 6
Costo total del terreno en soles

Área (m ²)	Costo por m ² (USD)	Total S/
600	350	693 000

Elaboración propia

Adicionalmente, un costo importante es el de la construcción de la planta. Se debe considerar la instalación de tuberías, sistema contra incendio mandatorio, también las certificaciones de la municipalidad. Por ello, se estima que el costo de la construcción de una planta de 600 m² ascienda a un millón de soles.

Maquinaria

Se considera la tecnología Flottweg más la llenadora para completar el proceso productivo lo cual asciende a 762 507 soles (Capcha, 2017).

3.7 Flujo de caja

Se consideró los principales montos de inversión, así como los ingresos por las ventas, el costo de producción y el escudo tributario que implica la depreciación de la maquinaria usando la tasa impositiva vigente de 29,5 % propuesta por la SUNAT. Faltaría la inclusión de costos como los de equipos de calidad, certificaciones de calidad, de infraestructura, costos de transporte y distribución, *marketing*, de servicios específicos, etc. Asimismo, no se toma en cuenta el costo del financiamiento y lo que conlleva pagar intereses. Por ello, el análisis financiero tendrá un resultado muy positivo.

Con respecto a la tasa de descuento para determinar el VAN, se toma como referencia el COK determinado por Capcha (2017) en su estudio de prefactibilidad, el cual es 20 %.

Tabla 7
Flujo de caja

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos						
Ventas		7 272 020	8 162 975	9 082 581	10 031 561	11 010 659
Total ingresos		7 272 020	8 162 975	9 082 581	10 031 561	11 010 659
Egresos						
Inversión inicial						

(continúa)

(continuación)

Terreno	- 693 000					
Maquinaria	- 762 507					
Otras inversiones	-1 000 000					
Costo de producción						
Materia prima	-4 615 123	-5 182 588	-5 768 707	-6 373 960	-6 998 845	
Mano de obra	- 165 900	- 165 900	- 177 100	- 177 100	- 177 100	
Costo indirecto de producción	- 642 989	- 642 989	- 642 989	- 642 989	- 642 989	
Total egresos						
Escudo tributario	35 384	35 384	35 384	35 384	35 384	
Flujo de caja	-2 455 507	1 883 393	2 206 882	2 529 169	2 872 897	3 227 109

Elaboración propia

Tabla 8
Cálculo del VAN

COK	20 %
VAN	S/ 4 792 549

Elaboración propia

Como se observa en la tabla 8, el VAN es positivo, lo que indica que el proyecto es económicamente viable. Esto demuestra que el incursionar en el sector de la producción de aceite de palta en el Perú es rentable.

4. CONCLUSIONES

- Existen varios métodos de diseño de cadena de valor, cada uno con un enfoque diferente, por lo que es necesario rescatar lo más importante de cada uno para diseñar una metodología que se adecue al producto y al mercado peruano.
- Existe la oportunidad de entrar a otros mercados fuera del Perú con productos derivados pues ya es conocida la calidad de la palta peruana, lo cual podría ser una ventaja competitiva para diferenciarse de otras naciones que ofrezcan este producto. Asimismo, se confirma que una de las tendencias del mercado es consumir productos saludables, lo cual está alineado con las características del producto.

- De los cinco métodos de extracción de aceite, el prensado en frío es el método que sobresale por la calidad del producto, por ello, se concluye que es el mejor método de extracción de aceite de palta extra virgen debido a la tendencia del mercado de consumo saludable.
- Existe fuerte apoyo de las entidades del Estado, gremios e instituciones de promoción de palta, lo cual es una ventaja para promocionar el aceite de palta peruano.
- El aceite de palta tiene mayor representación al interior del grupo de aceites vegetales varios y, con respecto a los países importadores de aceite de palta peruana, estos concuerdan con los principales países consumidores de palta, lo cual mejora la posibilidad de diferenciación por calidad pues la palta peruana ya es conocida en dichos países.
- Por el lado de la evaluación económica, se demuestra la factibilidad de una planta modelo de producción de aceite de palta con un VAN de S/ 4 792 549.
- Finalmente, la industrialización de la palta en Perú no está muy desarrollada, ya que los productores prefieren exportar la materia prima. También, este desarrollo debe trabajarse en temas de tecnología pues, como se ha visto, los métodos de extracción varían dependiendo de su eficiencia, costo y calidad, por lo que para un aceite gourmet, se debe invertir en máquinas extranjeras.

REFERENCIAS

- Acosta Moreno, M. C. (2011) *Evaluación y escalamiento del proceso de obtención de aceite de aguacate utilizando tratamiento enzimático*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7633>
- Buelvas Salgado, G. A., y Patiño Gómez, J. H., y Cano-Salazar, J. A. (2012).
- Evaluación del proceso de extracción de aceite de aguacate hass (Persea americana Mill) utilizando tratamiento enzimático. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2),138-150. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=695/69525875017>
- Cabrera, D., y Lombardi, J. (2017). *Estudio prefactibilidad para la instalación de una planta de procesamiento de aceite de palta extra virgen para consumo Nacional* [Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad de Lima]. http://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/5249/Cabrera_Gonzales_David_Alejandro.pdf?sequence=1
- Capcha, F. (2017). *Estudio prefactibilidad para la Instalación de una planta productora de aceite de palta* [Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad de

- Lima]. http://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/5334/Capcha_Sanchez_Fiorella.pdf?sequence=1
- Castañeda, L., y Fiocco, A. (2017). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de aceite de oliva (olea europaea) extra virgen en spray* [Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad de Lima]. http://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/5251/Casta%C3%B1eda_Rieckhof_Lucia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gutiérrez, B. J. A. (2013). Exportación y perspectiva del comercio de la palta Hass Peruana. *Ciencia & Desarrollo*, (15), 88-101.
- Faostat, F. (2016). *Producción de aguacate en toneladas 2006-2016*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Flottweg. (2014). *Tecnología flottweg para la producción de aceite de aguacate (palta)*. Flottweg. https://www.flottweg.com/fileadmin/user_upload/data/pdf-downloads/Avocado-Oel-ES.pdf
- Hernández-Sampieri, R., y Torres, C. P. M. (2018). Metodología de la investigación (Vol. 4). *McGraw-Hill Interamericana*, 15, 8080.
- Jiménez, M.E., Aguilar, M.R., Zambrano, M.L., y Kolar, E. (2001). Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. *Revista de la Sociedad Química de México*, 25(2), 89-92.
- Koo, W. (10 de diciembre del 2018). *Oliva Aceite Perú Exportación 2018 noviembre*. Agrodaperu. <https://www.agrodaperu.com/2018/12/oliva-aceite-peru-exportacion-2018-noviembre.html>
- Koo, W. (22 de enero del 2019). *Paltas Aguacate Perú Exportación 2019 diciembre*. Agrodaperu. <https://www.agrodaperu.com/2020/01/paltas-aguacate-peru-exportacion-2019-diciembre.html>
- McKinsey & Company. (1 de junio del 2009). *Enduring Ideas: The Business System*. *McKinsey Quarterly* <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/enduring-ideas-the-business-system>
- MINAGRI. (2015). *La palta producto estrella de exportación*. <http://minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2015?download=6825:la-palta-producto-estrella-de-exportacion-enero-2015>.
- MINAGRI. (2015). *Resumen de palta Hass*. <https://www.sierraexportadora.gob.pe/portfolio/palta-hass/>
- MINAGRI.. (2019). *Anuario estadístico de Producción Agrícola*. <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuario-de-produccion-agricola>

- MINSA. (2005). R.M N.º 482-2005. "Norma sanitaria sobre el procedimiento para la aplicación del sistema HACCP en la fabricación de alimentos y bebidas" http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/proy_haccp.htm
- OIT. (2016). *Guía general para el desarrollo de cadenas de valor, Cómo crear empleo y mejores condiciones de trabajo en sectores objetivos*. Oficina Internacional del Trabajo. Ginebra: OIT. http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/--emp_ent/---ifp_seed/documents/instructionalmaterial/wcms_541432.pdf
- OSINERMIN. (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf
- Luz del Sur. (2019). *Tarifas de Luz del Sur*. <https://www.luzdelsur.com.pe/media/pdf/tarifas/TARIFAS.pdf>
- Porter, M. (2004). *Cadena de valor*. Editorial CECSA
- ProHass. (2020). <https://www.prohass.com.pe/>
- PROMPERU. (2018a). *Promperu*. <https://www.promperu.gob.pe/>
- PROMPERU. (2018b). *Promperu*. <https://peru.info/es-pe/superfoods/detalle/super-palta>
- Quiroz, A. (2019). *Diseño de la cadena de valor de la producción del aceite de palta peruana*. [Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica del Perú] <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13/browse?type=author&value=Quiroz+Ostos%2C+Ana+Mar%C3%ADa>
- Redacción Gestión (29 de octubre de 2018) ¿Cómo realizar un análisis FODA para una empresa? (2018). *Gestión*. <https://gestion.pe/economia/empresas/foda-realizar-analisis-fortalezas-debilidades-oportunidades-amenazas-empresa-matriz-dafo-nnda-244598-noticia/>
- Restrepo Duque, A. M., Londoño-Londoño, J., Dubán González, Á., Benavides Paz, Y., y Cardona Salazar, B. L. (2012). Comparison of the Oil from Hass Variety Avocado Cultivated in Colombia, Obtained by Supercritical Fluids and by Conventional Methods: A Perspective Under Quality Terms. *Revista Lasallista de Investigación* 9(2), 151-161.
- Rodríguez, C. (2014). *Estudio de pre-factibilidad para la producción y Exportación de aceite de palta* [Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica del Perú] http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5397/RODRIGUEZ_CESAR_ESTUDIO_PRE_FACTIBILIDAD_PRODUCION_EXPORTACION_ACEITE_PALTA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Santana Salto, L. E. (2013). *Obtención de aceite de aguacate (Persea Americana Mill) con tres variedades:(PA Mill Hass)(PA Mill Santana) Y (PA Mill Choquete), utilizando tres métodos de extracción* [Tesis de bachillerato, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador].
- SEDAPAL. (2017). *Servicio de agua potable y alcantarillado en Lima – SEDAPAL S.A. Estructura tarifaria*. <http://www.sedapal.com.pe/documents/10154/c754c1a6-681e-4c44-b5c9-37f3d8006cb3>
- Sierra y Selva exportadora. (2016). Perú incrementó producción de frambuesa en 120 % en un año.
- SUNAT. (2013). *Tratamiento de la depreciación para efectos tributarios*. https://aempresarial.com/web/revitem/1_15254_11584.pdf
- SUNAT. (2018). Tasas para la determinación del Impuesto a la Renta Anual. <http://orientacion.sunat.gob.pe/index.php/empresas-menu/impuesto-a-la-renta-empresas/regimen-general-del-impuesto-a-la-renta-empresas/calculo-anual-del-impuesto-a-la-renta-empresas/2900-03-tasas-para-la-determinacion-del-impuesto-a-la-renta-anual>
- Trade Map. (2019). *Lista de los países exportadores de aguacate*. https://www.trademap.org/Country_SelProduct_Graph.aspx?nypm=3%7c%7c%7c%7c%7c080440%7c%7c%7c6%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c2
- Tridge. (2020). *Global Export of Avocado Oil*. <https://www.tridge.com/products/avocado-oil/export>
- Vidal, I. (2011). El principio de valor compartido de Porter y Kramer. *Foment del Treball Nacional (Fomento del trabajo)*, 2134, 30-33.

DETERMINACIÓN Y DISEÑO DE INDICADORES DE GESTIÓN PARA LA INDUSTRIA DEL CALZADO COMO HERRAMIENTAS PARA EVALUAR LA RENTABILIDAD*

INÉS VILLAFANA**

<https://orcid.org/0000-0003-2236-8247>

Universidad de Lima, Perú

Recibido: 16 de mayo del 2021 / Aprobado: 5 de julio del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5544>

RESUMEN: La industria del calzado se encuentra poco desarrollada en el Perú. En Lima existen empresas con diferentes niveles de ventas y con un desarrollo y control de sus procesos distintos (algunos de manera empírica). Con financiamiento del Instituto de Investigación Científica (IDIC) se ha desarrollado esta investigación cualitativa (exploratoria) aplicando entrevistas a expertos (2013) y se ha concluido que el 83,33 % de estas empresas no cuentan con indicadores. Por ello aquí se proponen algunos para las áreas comerciales y de producción.

PALABRAS CLAVES: indicadores de gestión / KPI / industria de calzado / zapatos

IDENTIFICATION AND DESIGN OF PERFORMANCE INDICATORS IN THE SHOE INDUSTRY AS TOOLS TO EVALUATE PROFITABILITY

ABSTRACT: The shoe industry is underdeveloped in Peru. Within Lima, companies of various levels of profitability manage their businesses in their own way (some empirically). Sponsored by the Scientific Research Institute (IDIC), this qualitative (exploratory) research has been developed by conducting interviews with experts (2013), concluding that 83,33 % of these companies do not have key performance indicators, thus proposing them for both commercial and production areas.

KEYWORDS: performance indicators / KPI's / shoe's industry / shoes

* Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación Final de la versión publicada.

** Correo electrónico: 19900796@aloe.ulima.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

La industria del calzado se desarrolla en el Perú, principalmente, a través de pequeñas y medianas empresas (pymes). Estas empresas de calzado se encuentran concentradas, en una mayor proporción, en Lima y Trujillo (Ministerio de la Producción s. f.). En Lima, las empresas se encuentran ubicadas geográficamente en distintas zonas, como Caquetá, Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores y Lima Centro. Estas empresas también se clasifican por su tamaño; de acuerdo con sus ventas e independientemente del tamaño o ubicación geográfica, todas ellas necesitan llevar controles de sus procesos para poder crecer dentro del sector. Las pymes en el Perú representan aproximadamente el 99,7 % del total de empresas. La industria del calzado (objeto de estudio) está dominada por las pymes. Según la Sociedad Nacional de Industrias, hacia el año 2011, el 96,7 % de las empresas productoras de calzado en el Perú eran microempresas, 3,2 % pequeñas empresas y 0,1 % medianas y grandes empresas. En Lima está concentrado el mayor número de establecimientos de los fabricantes de calzado, con el 42,2 % del total (Andina, 2009). Al analizar a estas empresas se puede observar que enfrentan varias dificultades para poder crecer, entre ellas, la informalidad del sector, la reducción del mercado debido a la competencia extranjera, la persistencia de elevadas tasas de interés de los créditos bancarios que limitan la capacidad de inversión, la poca demanda de productos locales por parte del cliente, entre otras (información obtenida de las entrevistas realizadas). Esto hace incluso más difícil la competitividad de esta industria en el Perú.

Una manera de estimular la economía de un país es a través de las exportaciones de sus productos, lo que permite obtener un incremento en la balanza comercial. Esto se puede fomentar a través de la utilización de los tratados de libre comercio. Estos tratados pueden ser aprovechados por las distintas empresas del sector calzado para propiciar la exportación de sus productos con regulaciones beneficiosas entre los países firmantes. Actualmente existen muchos tratados de libre comercio suscritos entre el Perú y otros países, los cuales sirven para fortalecer los lazos de amistad y cooperación y promover la integración económica regional, propiciar la creación de un mercado más amplio y promover el desarrollo económico regional, entre otros (Acomext, 2013).

A continuación se mencionan algunos de los tratados vigentes con Perú que pueden ser aprovechados para promover la exportación del calzado (Acomext, 2013):

- TLC Estados Unidos (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, Acuerdo de promoción comercial Perú-Estados Unidos).
- TLC Canadá (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, Tratado de Libre Comercio Perú-Canadá).

- TLC Chile (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, Acuerdo de Libre Comercio entre Perú y Chile).
- TLC con la Unión Europea (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, Acuerdo comercial entre Perú y la Unión Europea).

Por otro lado, los expertos indican que, en el 2013, el número de pymes exportadoras crecería en aproximadamente 50 %, es decir, más de 1200 nuevos emprendedores se sumarían a la cadena exportadora.

Lima es la ciudad que tiene mayor concentración de empresas de calzado, seguida de Trujillo. La exportación de calzado de Perú hacia los principales países de destino: Chile, Ecuador y Estados Unidos representan un 26,2 % para el 2018 (Cosavalente, 2019).

Al analizar esta industria, se ha podido identificar algunos problemas que se presentan actualmente en Latinoamérica y en el Perú. Entre ellos tenemos a la globalización del sector, la competitividad internacional (Cosavalente, 2019; Villegas Álvarez y Zapata Gonzáles, 2007), el aumento de la participación del calzado asiático (Cosavalente, 2019), la informalidad y baja inversión tecnológica, el uso de mano de obra poco calificada (Cosavalente, 2019), la aplicación de procesos productivos artesanales (desarrollados por las micro y pequeñas empresas) y la falta de un mayor desarrollo en el diseño del calzado (Díaz y Rodríguez, 2008). Adicionalmente se tiene la dificultad de acceso a tecnología de punta en el Perú porque requiere de una inversión inicial elevada (Soto Brito, 2007), lo que se convierte en una barrera por la falta de capital y/o el difícil acceso al crédito. Asimismo, la nula o poca relación que existe actualmente entre la estandarización de los procesos productivos y su eficiencia en la gestión financiera (Fernández Ávila, 2009), y el acceso a cuero de calidad (dependiendo del poder de negociación de la empresa, esta accede a cuero de primera, segunda o tercera). Debido al bajo costo que tiene en el mercado local, el cuero crudo es altamente demandado en el exterior, lo que hace insuficiente la oferta de dicho insumo (Soto Brito, 2007). Todo esto se ha podido validar con la aplicación de las entrevistas (realizadas en el 2013) a empresas del sector calzado ubicadas en Lima.

Actualmente, el gobierno peruano trata de desarrollar la industria del calzado sobre la base de la promoción de las pymes y el apoyo del Centro de Innovación Tecnológica del Cuero y Calzado e Industrias Conexas (CITECCAL) (Soto Brito, 2007). Se considera importante la creación de CITECCAL y la preocupación del Estado peruano por el desarrollo de este sector; esto debe ser aprovechado por los pequeños productores de calzado; del mismo modo, se debe tener en cuenta la necesidad de formalización de estas empresas.

Asimismo, la inexistencia o poca existencia de indicadores dentro de la industria del calzado impide llevar un adecuado control dentro de las empresas para poder aplicar una mejora continua y crecer en el tiempo; por lo que se incentiva en menor grado la formalización (información obtenida de las entrevistas realizadas).

Por último, existen estudios anteriores realizados sobre el sector calzado e indicadores varios, a partir de los cuales algunos proponen indicadores macroeconómicos y otros proponen indicadores específicos, como productividad, eficiencia y eficacia, pero de manera general. Se ha podido observar que algunos de estos estudios son un poco antiguos y es necesario actualizar esta información (Flores Konja, 2004; GS1 Chile, 2004).

Por lo tanto, un adecuado diseño de indicadores de gestión podrá favorecer la formalización y el crecimiento de las empresas del sector, posibilitando una mayor productividad e incremento de la rentabilidad del negocio. Para poder lograrlo, se realiza esta investigación.

2. METODOLOGÍA

La investigación realizada en el 2013 es una investigación cualitativa (exploratoria). La metodología usada fue, en primer lugar, el estudio de gabinete con la revisión de literatura. Posteriormente, para fines de contraste y validación, se realizó un trabajo de campo mediante un estudio cualitativo exhaustivo a través de la aplicación de entrevistas a algunos dueños y/o gerentes de empresas de calzado de Lima (objeto del estudio), complementado con entrevistas a expertos y académicos de las áreas de producción, calidad y comercio con experiencia en diversos sectores. Las entrevistas se enfocaron principalmente en las áreas comercial y de producción de las empresas del sector calzado (aspectos generales, apertura de la entrevista, procesos de producción, proveedores, área comercial y de ventas, trabajadores, cierre de la entrevista). A partir de un universo de estudio del sector calzado de Lima, conformado por 89 empresas formales, se seleccionó al azar una muestra de seis de ellas de distinto tamaño y ubicación geográfica. Al interior de cada empresa se entrevistó a una o dos personas (el gerente general o propietario del negocio y el gerente de producción y/o gerente comercial) para levantar la información de estas áreas, la cual se complementó con la obtenida por la entrevista aplicada a expertos y académicos de otros sectores de las áreas de producción, calidad y comercio (diez expertos en total), que fueron seleccionadas a criterio de las investigadoras.

Finalmente, con la información obtenida, se procedió a realizar un análisis de contenido y se propusieron indicadores de gestión relacionados con las operaciones críticas de las áreas de producción y comercial del sector calzado que puedan favorecer al incremento de la rentabilidad. Los resultados obtenidos en esta investigación fueron compartidos con las empresas participantes y pueden favorecer a futuros investigadores que se interesen en el sector, así como en el desarrollo de nuevas líneas de investigación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Área de producción y área comercial

Se deben determinar áreas claves dentro de una empresa del sector calzado para analizar cómo se encuentra actualmente y en qué áreas se deben proponer y aplicar indicadores que controlen y permitan mejorar el desempeño de éstas (en nuestro caso, dentro del área comercial y el área de producción). Esto está sustentado por investigaciones previas desarrolladas por otros investigadores relacionadas de alguna manera con la investigación actual¹.

Área comercial

Con respecto al área comercial, ésta se puede desagregar en las siguientes actividades: investigación de mercado, desarrollo de producto, *marketing*, ventas, distribución y/o postventa. Sin embargo, la mayoría de empresas entrevistadas desarrolla el área comercial como un todo y no la tiene desagregada en subáreas o actividades. Igualmente, se están proponiendo indicadores aplicados a algunas de estas áreas.

Área de producción

Con respecto al área de producción, se procederá a explicar brevemente el proceso de fabricación del calzado (Núcleo Ejecutor Calzado).

La fabricación de calzado consta principalmente de cuatro etapas: corte y desbastado, aparado o costura, montaje o armado y emplantillado, acabado, limpieza y encajado.

a. Área de corte y desbastado

Se reciben los insumos (cuero), se seleccionan y se procede a trazar y cortar las piezas. Posteriormente, se desbastan los bordes (reducción del grosor de las orillas), para un mejor proceso de costura y mejorar la apariencia del corte terminado.

b. Área de aparado o costura

Las partes cortadas se unen mediante costuras y posteriormente, se realiza el montaje sobre la horma.

c. Área de montaje o armado

Se ajusta el cuero cosido sobre la horma y, posteriormente, después de varios procesos toma la forma de un preformado. Al final, se pega la suela y se procede al desmoldado.

1 Fuentes de información (todas las referencias bibliográficas revisadas)

d) Área de emplantillado, acabado, limpieza y encajado

Se procede a colocar la plantilla y pegar el taco. Posteriormente, se limpia el calzado, se le coloca el pasador (si corresponde), se vaporiza para suavizar las fibras de la piel y evitar agrietamientos o rupturas de la misma; y se realiza un control de calidad. Por último, se procede a colocar el calzado en su respectiva caja.

3.2 Análisis de resultados

Las entrevistas aplicadas en las empresas fueron principalmente a dueños o gerentes de producción del sector calzado (la mayoría son dueños de sus negocios). Todas las personas entrevistadas manifestaron contar con experiencia previa en el sector calzado, antes de dedicarse por completo a esta industria. Por otra parte, los entrevistados indicaron que incursionaron en este sector por oportunidad de negocio (consolidación de empresa por inyección de liquidez, existencia de mercado para la venta de los productos y/o oportunidad de crecimiento dentro de la zona).

De acuerdo con la Ley 30056², la categoría de las empresas tomando como base su nivel de ventas se ha establecido de la siguiente manera:

- Microempresa: ventas anuales hasta el monto máximo de 150 UIT.
- Pequeña empresa: ventas anuales superiores a 150 UIT y hasta por el monto máximo de 1700 UIT.
- Mediana empresa: ventas anuales superiores a 1700 UIT y hasta el monto máximo de 2300 UIT.

Sobre la base de este nivel de ventas se realizaron las entrevistas en las distintas empresas.

Con respecto a la ubicación geográfica, no existe un lugar definido para las empresas de calzado; están ubicadas en diferentes zonas de Lima. Las empresas en las que se realizaron las entrevistas se encuentran en los distritos de Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores, y en las zonas de la Carretera Central y Lima Centro.

No existe relación entre la cantidad de años que tienen las empresas (desde su constitución) y su tamaño. Una de las empresas con veinticinco años de constitución sigue siendo pequeña; sin embargo, otra empresa con casi la misma cantidad de años actualmente es grande.

2 Ley No. 30056, publicada el 2 de julio del 2013 (Ministerio de Economía y Finanzas y Ministerio de la Producción)

El 83,33 % de los entrevistados coincide en que la principal dificultad que tuvieron al inicio fue no contar con suficiente capital de trabajo, ya que el acceso al crédito es muy costoso. Asimismo, uno indicó que su principal dificultad fue también el conseguir capital humano con la experiencia necesaria para realizar el trabajo. Por último, otro indicó que tuvieron que lidiar con la devaluación de la época (1980-1990).

Actualmente, la principal limitante para las empresas pequeñas y medianas es el capital de trabajo, ya que las entidades financieras exigen una tasa de interés muy alta por sus préstamos. Algunas empresas cuentan actualmente con los recursos económicos suficientes, pero igual, indican que seguirán invirtiendo en máquinas y tecnología para continuar creciendo.

La manera en que las empresas lograron impulsar su negocio fue a través de apoyo obtenido de diversas entidades como Prompyme, Senati o alguna ONG, utilizando estrategias de nicho de mercado o agrupando el negocio con cadenas de tiendas y, además, consiguiendo más capital.

Las empresas de los entrevistados producen diferentes tipos de calzado (de vestir, *sport* / casual, niño, escolar, deportivo, de seguridad, etc.); entre ellos, el *sport* / casual es el más sencillo de fabricar y necesita maquinaria mínima para el proceso.

Cada entrevistado tiene una opinión diferente sobre la etapa del proceso que considera más importante. El 67 % de los entrevistados menciona una etapa y el 33 % coincide en que todas las etapas son igualmente importantes.

Las empresas pequeñas no realizan control de calidad del producto durante el proceso, sino al final del mismo; mayormente realizan el control por observación y de manera empírica. Las empresas medianas y grandes cuentan con controles de calidad establecidos para cada etapa, controlando incluso, con metodología apropiada, los insumos que se utilizan en el proceso productivo.

Solo el 17 % de los entrevistados confirmó que su empresa trabaja actualmente con algunos indicadores de desempeño (KPI); especialmente de producción. Por otro lado, ninguna empresa cuenta actualmente con un sistema de *balanced scorecard*.

El 83,33 % de los entrevistados coincide en que su cuello de botella es la costura/aparado o armado/montaje. La costura o aparado demora porque son varias piezas que se tienen que unir, y el armado o montaje demora porque se realiza manualmente.

El 66,67 % de entrevistados coincidieron en que subcontratan o tercerizan el proceso de costura o aparado, principalmente por falta de capacidad de planta y/o porque de esta manera son más eficientes (actualmente hay poca mano de obra calificada y es más conveniente que un tercero especializado les provea el servicio).

Con respecto a los proveedores, las empresas compran a los mayoristas nacionales; las más grandes inclusive también compran a proveedores del exterior. Todos los entrevistados están satisfechos con sus proveedores, a los que eligen por su seriedad en el cumplimiento, experiencia, referencia, calidad y precio.

Mayormente, las empresas realizan sus ventas dentro del mercado nacional. Algunas han podido inclusive internacionalizarse a través de la exportación.

La gran preocupación de los entrevistados es el crecimiento de las importaciones de calzado chino, que compite a precio bajo. A pesar de esto, para la mayoría de empresas, las ventas han sido más altas con respecto al año 2012.

Finalmente, el 33,33 % de los entrevistados son miembros de alguna asociación empresarial y también están suscritos a alguna revista del sector calzado.

3.3 Indicadores de gestión

Teniendo en cuenta las áreas de producción y comercial, y complementando esta información con lo indicado por las empresas y expertos varios entrevistados, se propone la aplicación de los indicadores siguientes:

Área comercial

a. Cobertura por tipo de producto

Con este indicador se quiere medir la cobertura del mercado atendida por tipo de producto. Así se puede determinar la eficacia de la empresa en la colocación de sus productos en el mercado (resultado logrado / resultado esperado).

$$\text{Cobertura} = \frac{\text{Ventas reales (unidades modelo A)}}{\text{(Demanda pronosticada (unidades modelo A))}}$$

Por ejemplo, la demanda pronosticada para enero es de 1000 pares de calzado modelo A. Sin embargo, las ventas logradas en ese mes son de 900 pares de calzado modelo A.

Por lo tanto,

$$\text{Cobertura} = \frac{900 \text{ pares A}}{1000 \text{ pares A}} = 0,9 = 90 \% \text{ de cobertura de mercado}$$

b. *On time performance*³ (por pedido)

Con este indicador se quiere medir el nivel de cumplimiento a tiempo del pedido (si el pedido se entregó a tiempo al cliente o si se entregó antes o después de la fecha solicitada, expresado en porcentaje).

Si el valor del OTP es:

- Menor al 100 % → El pedido se entregó después de la fecha solicitada.
- Igual al 100 % → El pedido se entregó en la fecha solicitada.
- Mayor al 100 % → El pedido se entregó antes de la fecha solicitada.

c. Días de rezago

Con este indicador se quiere medir el nivel de cumplimiento a tiempo del pedido (si el pedido se entregó en la fecha solicitada o en cuanto tiempo antes o después de la fecha solicitada fue entregado, expresado en unidades de tiempo). En el caso de ser menor a cero, indica que se ha cumplido con la fecha de la entrega del pedido al cliente.

$$\text{Días de rezago} = [\text{Tiempo real} - \text{tiempo programado}] (\text{pedido } N) (\text{días})$$

d. *Fill rate comercial*⁴ (por cliente)

Con este indicador se quiere medir el nivel de cumplimiento de entrega de pedidos completos con respecto al total solicitado por el cliente.

$$\text{Fill rate comercial} = \frac{\text{Número de pedidos entregados completos}}{\text{Número de pedidos totales}}$$

e. *On time delivery*⁵ (por cliente)

Con este indicador se quiere medir el nivel de cumplimiento de pedidos entregados a tiempo al cliente con respecto al total de pedidos solicitados por el mismo.

$$\text{One time delivery (por cliente)} = \frac{\text{Número de pedidos entregados a tiempo}}{\text{Número de pedidos totales solicitados}}$$

3 Este indicador se ha considerado a partir de la información revisada: GS1 Chile (2004). *Medición indicadores de gestión logísticos (KPI). Guía del usuario.*

4 Este indicador se ha considerado de la información revisada: GS1 Chile (2004). *Medición indicadores de gestión logísticos (KPI). Guía del usuario.*

5 Este indicador se ha considerado de la información revisada: GS1 Chile (2004). *Medición indicadores de gestión logísticos (KPI). Guía del usuario.*

f. Eficiencia comercial (por vendedor)

Con este indicador se quiere medir el porcentaje de cotizaciones que se convierten en pedido por cada vendedor. Se debe tener en cuenta que el número de cotizaciones está dado por una o varias visitas a un mismo cliente. También se puede medir a través del número de pedidos concretados con respecto al total de visitas a los clientes.

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia comercial} \\ &= \frac{\text{Número de pedidos concretados (en un período de tiempo)}}{\text{Número de cotizaciones (en un período de tiempo)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia comercial} \\ &= \frac{\text{Número de pedidos concretados (en un período de tiempo)}}{\text{Total de visitas a clientes (en un período de tiempo)}} \end{aligned}$$

Este indicador también se puede medir con respecto a las visitas a los clientes que fueron concretadas en ventas.

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia comercial} \\ &= \frac{\text{Número de visitas concretadas en ventas (en un período de tiempo)}}{\text{Total de visitas a clientes (en un período de tiempo)}} \end{aligned}$$

g. Nivel de quejas y reclamos (por cliente)

Con este indicador se quiere medir el número de reclamos hechos por el cliente con respecto al total de pedidos del mismo.

$$\text{Nivel de quejas y reclamos (por cliente)} = \frac{\text{Número de reclamos (por cliente)}}{\text{Número de pedidos (por cliente)}}$$

h. Nivel de quejas y reclamos (total)

Con este indicador se quiere medir en qué grado se está dando el número de quejas y reclamos con respecto al total de pedidos (ponderado por clientes). Para esto, se ha clasificado a cada cliente respecto a su grado de importancia (puede ser por las ventas que se facturan con cada uno de ellos). Este indicador debe tender a cero, lo que indicaría que no se tienen quejas ni reclamos.

$$\begin{aligned} \text{Nivel de quejas y reclamos (total)} \\ &= \sum \left[\frac{\text{Número de reclamos (por cliente)}}{\text{Número de pedidos (por cliente)}} * \text{Calificación de cliente} \right] \end{aligned}$$

Tabla 1

Ejemplo de aplicación: nivel de quejas y reclamos (total)

Cliente	Calificación	Número de reclamos	Número de pedidos totales	Nivel de quejas (porcentajes)
Cliente 6	0,7	4	100	4,00
Cliente 7	0,30	1	6	16,67
Total ponderado:		3,10	71,8	4,31

Elaboración propia

i. Logro por licitación

Con este indicador se quiere medir qué tan eficaz se está siendo al participar en las licitaciones.

$$\text{Logro por licitación} = \frac{\text{Número de licitaciones ganadas}}{\text{Total de licitaciones presentadas}}$$

j. Participación de ventas por modelo-color

Con este indicador se quiere medir el porcentaje de participación de cada modelo de calzado que fabrica la empresa con respecto al total de modelos de calzado que fabrica en un periodo. Se da en los casos en que la empresa fabrica varios modelos en un mismo periodo de tiempo. Así se puede determinar qué modelos de calzado son los que se venden en mayor cantidad.

Este indicador también se puede haber medido con respecto al ingreso por ventas que se obtiene por cada modelo de calzado, pero en este estudio no se han considerado indicadores financieros.

$$\text{Participación en ventas (modelo - color)} = \frac{\text{Total unidades de modelos A}}{\text{Total unidades de todos los modelos}}$$

*Área de producción*a. *On time delivery*⁶ (pedidos)

Con este indicador se quiere medir el nivel de cumplimiento de pedidos de materia prima recibidos a tiempo por parte de los proveedores con respecto al total de pedidos solicitados por la empresa. También se puede medir en el caso de tercerización del servicio.

⁶ Este indicador se ha considerado de la información revisada (2004): GS1 Chile. *Medición indicadores de gestión logísticos (KPI). Guía del usuario.*

Este indicador no aplica para las compras contra entrega, que se da en los casos de la compra de materia prima por parte de la mayoría de las pymes, ya que ellos les compran directamente a los proveedores ubicados en Caquetá.

On time delivery (pedidos)

$$= \frac{\text{Número de pedidos recibidos a tiempo}}{\text{Número de pedidos totales solicitados al proveedor o a un tercero}}$$

Tabla 2

Ejemplo de aplicación: *On time delivery* (pedidos)

Proveedor	Número de pedidos a tiempo	Número de pedidos totales	<i>On time delivery</i> (porcentajes)
Proveedor 1	0	1	0,00
Proveedor 2	1	2	50,00

Elaboración propia

b. *On time delivery*⁷ (unidades)

Con este indicador se quiere medir el nivel de cumplimiento de entrega de unidades por parte de los proveedores de tercerización (en nuestro caso, unidades cosidas o aparadas) con respecto al total de unidades solicitadas por la empresa. También se puede medir teniendo en cuenta si se solicitó la tercerización del servicio por parte de la empresa.

$$\text{On time delivery (unidades)} = \frac{\text{Número de unidades aparadas recibidas a tiempo}}{\text{Número de unidades totales entregadas a tercerización}}$$

c. No conformidad (tercerización o proveedor) y no conformes (unidades o porcentaje)

Con este indicador se quiere medir el número de productos no conformes recibidos del proveedor (nacional o extranjero) o del servicio de tercerización, con respecto al total de productos recibidos.

$$\text{No conformidad (tercerización)} = \frac{\text{Número de unidades no conformes}}{\text{Número de unidades totales recibidas}}$$

$$\text{No conformidad (proveedores)} = \frac{\text{Número de mantas de cuero (o avíos) no conformes}}{\text{Número de mantas totales (o avíos) recibidos}}$$

⁷ Este indicador se ha considerado de la información revisada: GS1 Chile (2004). *Medición indicadores de gestión logísticos (KPI). Guía del usuario.*

También se puede medir el grado de no conformidad al comparar las unidades no conformes (dentro de cada etapa del proceso) con las unidades totales que deberían salir en cada etapa. Se entiende como no conforme a la unidad que no cumple con el grado de tolerancia establecido dentro de las especificaciones. Este indicador se puede medir tanto en porcentaje como en unidades.

$$\text{No conformes (porcentaje)} = \frac{\text{Número de no conformes (unidades)}}{\text{Total de unidades ingresadas}}$$

d. Productividad⁸

Con este indicador se quiere medir la obtención de unidades producidas con respecto a los recursos utilizados.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{unidades productivas}}{\text{recursos utilizados}}$$

Los recursos utilizados pueden ser:

- Horas-hombre utilizadas para obtener un lote de producción.
- Materia prima utilizada para obtener un lote de producción (en sus respectivas unidades de medida: pies², kilos, etcétera).
- Horas-máquina utilizadas para obtener un lote de producción.

Se recomienda calcular la productividad total y la productividad parcial por cada una de las operaciones del proceso de producción de calzado.

La productividad se mide también en función de los costos. Hay que tener en cuenta que para este trabajo no se ha analizado el área financiera de las empresas.

d. Eficiencia en el uso de materia prima

Con este indicador se quiere medir el nivel de eficiencia en la utilización de la materia prima (manta de cuero u otras) para obtener el producto final (en este caso, todas las piezas de cuero necesarias cortadas para la elaboración del zapato). Se puede considerar para cualquier tipo de materia prima (con sus respectivas unidades).

8 Este indicador se ha considerado de investigaciones previas revisadas: Mena Jaramillo, E.; Paz Martínez, A. (2012). *Diagnóstico de la cadena de aprovisionamiento de materias primas e insumos para cuatro eslabones de la industria del cuero y calzado*. Universidad de San Buenaventura, Fondo Editorial y Flores Konja, A. (2004). *Metodología de gestión para las micro, pequeñas y medianas empresas en Lima metropolitana. Capítulo VIII: Tema de soporte: Indicadores*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Fondo Editorial.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{pies}^2 \text{ necesarios por lote}}{\text{pies}^2 \text{ utilizados por lote}}$$

Tabla 2

Ejemplo de aplicación: eficiencia en el uso de materia prima

Corte	Materia prima necesaria (pie ²)	Materia prima utilizada (pie ²)	Eficiencia materia prima
Lote 1	110	130	84,62 %

Elaboración propia

Si al 100 % le restamos la eficiencia en el uso de la materia prima, se estaría obteniendo el porcentaje de merma en la operación de corte.

e) Eficacia en las operaciones cuello de botella⁹

Con este indicador se quiere medir:

- El tiempo real utilizado en la operación de costura o aparado del total de piezas del lote, con respecto al tiempo efectivo o estándar que debería tomar esta operación.
- El tiempo real utilizado en la operación de armado o montaje del total de piezas del lote, con respecto al tiempo efectivo o estándar que debería tomar esta operación.

El tiempo estándar se calcula a través de muestreos con la toma de tiempos y movimientos de la operación cronometrada (incluyendo el tiempo de los suplementos como: tiempo de necesidades personales, básico por fatiga, por postura anormal, entre otros).

$$\text{Eficacia costura o aparado} = \frac{\text{tiempo de producción efectivo por lote}}{\text{tiempo real de costura por lote}}$$

$$\text{Eficacia armado o montaje} = \frac{\text{tiempo de producción efectivo por lote}}{\text{tiempo real de armado por lote}}$$

⁹ Está respaldado por la información revisada: Flores Konja, A. A. *Metodología de gestión para las micro, pequeñas y medianas empresas en Lima metropolitana. Capítulo VIII: Tema de soporte: Indicadores* y Apaza Meza (2010), M. Balanced scorecard, gerencia estratégica y del valor.

f) Cumplimiento del programa maestro de la producción

Con este indicador se quiere medir el grado de cumplimiento de los pedidos con respecto al programa de producción. Se debe tener en cuenta que los pedidos se programan de acuerdo con las órdenes confirmadas de los clientes o a lo pronosticado considerando la data histórica¹⁰.

$$\text{Cumplimiento PMP (pedidos)} = \frac{\text{Número de pedidos producidos completos}}{\text{Total de pedidos programados}}$$

Generalmente, el programa de producción se establece para periodos cortos (semanales).

Asimismo, este indicador se puede medir con respecto al cumplimiento de las unidades programadas (para verificar el cumplimiento con respecto a cada lote de producción).

$$\text{Cumplimiento PMP (unidades)} = \frac{\text{Número de unidades fabricadas}}{\text{Total de unidades programadas}}$$

4. CONCLUSIONES

- En Lima no hay una zona determinada para las empresas del sector calzado ya que éstas se encuentran establecidas indistintamente en los diferentes distritos. Las zonas más conocidas para el sector calzado son Caquetá y Villa El Salvador.
- Todas coinciden en que la principal dificultad que se les presenta mientras son pequeñas empresas es contar con capital de trabajo suficiente para poder crecer (principalmente inversión en maquinaria), ya que el acceso al crédito es muy costoso. Actualmente muy pocas empresas cuentan con la maquinaria requerida, pero igualmente siguen invirtiendo en tecnología.
- El 83,33 % de los entrevistados coincide en que el cuello de botella es la costura o aparado y el armado o montaje. El 66,67 % de las empresas de los entrevistados terceriza el servicio de costura o aparado, ya que así son más eficientes.
- El 83,33 % de las empresas de los entrevistados no cuenta con indicadores establecidos para controlar sus diferentes áreas y poder determinar si son rentables. Sin embargo, llevan este control de manera empírica.

¹⁰ Esta información se sustenta con conceptos teóricos del libro Heizer, J.; Render, B. (2009). *Principios de administración de operaciones*. Pearson Education.

- Hay una gran preocupación por la competencia de China, ya que en los últimos años las importaciones de calzado chino se han ido incrementando, restándoles participación de mercado dentro de Lima.

Por lo tanto, con la investigación se han propuesto indicadores de gestión dentro de las áreas de producción y comercial, con lo que, si en un estudio posterior se aplican en una empresa de calzado y se lleva un monitoreo de las mismas, se podrá validar si estos indicadores favorecen la rentabilidad del negocio.

REFERENCIAS

- Acomext. (26 de abril del 2013). Tratado de Libre Comercio para Calzado.
- Álvarez, D. C. V., González, H. D. Z., Álvarez, H. F. R., y Carvajal, M. C. V. (2007). Competitividad sectorial internacional: Caso: sector del cuero y del calzado. *Entramado*, 3(1), 24-49.
- Andina - Agencia Peruana de Noticias. (9 de Octubre del 2009). *Andina - Agencia Peruana de Noticias*. <http://www.andina.com.pe/Espanol/noticia-el-967-productores-calzado-peru-son-microempresas-381243.aspx#UxZFMPI50Sp>
- Anthara, I. M. A., y Damayanti W. (2018). Performance Analysis of Supply Chain on Saroo Model Shoes Products Using SCOR Model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 407(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/407/1/012079>
- Barcelos da Costa, A. (2010). La industria del calzado del Vale dos Sinos (Brasil): ajuste competitivo de un sector intensivo en mano de obra. *Revista CEPAL*, 101, 163-79. Naciones Unidas.
- Barrenechea, M. (2006) *Limitaciones institucionales para el desarrollo de la pequeña y mediana empresa (PYME): el caso de la industria manufacturera de calzado del distrito de Villa el Salvador*. Universidad de Lima, Instituto de Investigación Científica.
- Barreto, M., Massey, X., y Gutiérrez, M. C. (s. f.). *Institucionalidad de las empresas del Boulevard del Cuero en Villa el Salvador*. Facultad de Ciencias Sociales, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Benítez Montenegro, A. L., Morales Candell, V. A., y Renderos Portillo, M. C. (2012). *Plan de comercialización para los micro y pequeños productores de calzado que forman parte de la base de proveedores del programa paquetes escolares, del departamento de San Salvador*. Universidad de El Salvador.
- Daaboul J., Da Cunha C., Bernard A., y Laroche F. (2011). Design for Mass Customization: Product Variety vs. Process Variety. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60(1), 169-174. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.03.093>

- Chen, S.-L. y Liang, H.-A. (2014). Cause Mapping of Simple and Complex Marketing Strategies. *Journal of Business Research*, 67(1), 2867-2876. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.06.009>
- Cheng, C.-P. (2014). Embedded Trust and Beyond: The Organizational Network Transformation of Taishang's Shoe Industry in China. En Hwang Wang, J. (Ed.) *Border Crossing in Greater China: Production, Community and Identity*, pp. 40-60. <https://doi.org/10.4324/9781315798325>
- Cosavalente F. I. (2019). *Perú: Situación actual del sector cuero y calzado*. BCRP - Sucursal Trujillo.
- Cruz Álvarez, L. (2009). *Estudio prospectivo en una fábrica mediana de calzado deportivo Horizonte 2005-2013*. [Tesis, Universidad de Lima].
- Cruz Huamán, J. y Zuñiga Ochoa, C. (2010). *Mejora integral de la empresa Industrias Addax E. I. R. L.* Universidad de Lima, Seminario de Investigación.
- Daaboul J., Bernard A., y Laroche F. (2016). Knowledge Management, Value Chain Modelling and Simulation as Primary Tools for Mass Customization. *2009 IEEE International Technology Management Conference, ICE 2009* <https://doi.org/10.1109/ITMC.2009.7461385>
- Daaboul J., Laroche F., y Bernard A. (2016). Determining the CODP Position by Value Network Modeling and Simulation. *2010 IEEE International Technology Management Conference, ICE 2010*. <https://doi.org/10.1109/ICE.2010.7476995>
- Díaz D., L. P., y Rodríguez Tarazona, Y. N. (2008). *La cadena productiva del cuero, calzado y marroquinería en el marco internacional*. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Humanas, Escuela de Economía y Administración.
- Donaghu M.T., y Barff R. (1990). Nike Just Did It: International Subcontracting and Flexibility in Athletic Footwear Production1. *Regional Studies*, 24(6), 537-552. <https://doi.org/10.1080/00343409012331346204>
- El Comercio, (13 de Febrero del 2014). BBVA descartó que el dólar alcance los S/3,0 durante el año. *El Comercio*. <http://elcomercio.pe/economia/peru/bbva-descartoque-dolar-alcance-s30-durante-ano-noticia-1709404>.
- El Comercio. (14 de Febrero del 2014). La economía peruana creció 5.02% durante el 2013. *El Comercio*. <http://elcomercio.pe/economia/peru/economia-peruana-crecio-502-durante-2013-noticia-1709637>.
- Fauzi A.R., Ridwan A.Y., y Juliani W. (2019). Supply Chain Performance Measurement System Development for Shoes SME using Subcontract Production Strategy Based on Integrated SCOR-BSC Model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 598 (1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/598/1/012126>

- Fernández Avila, M. L., (2009) *Estandarización de los procesos de la producción y su incidencia en la eficiencia de la gestión en la industria del calzado en el Perú*. Universidad San Martín de Porres, Fondo Editorial.
- Flores Konja, A. A. (2004). *Metodología de gestión para la micro, pequeñas y medianas empresas en Lima Metropolitana. Capítulo VIII: Tema de Soporte: Indicadores*. [Tesis para optar el grado académico de doctor en Ciencia Contables y Empresariales. Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Foncodes, Ministerio de la Producción, Ministerio de Educación y Sociedad Nacional de Industrial (Núcleo Ejecutor Calzado). (2009). *Manual de fabricación de calzado escolar*.
- Freeman, R. B., y Kleiner M. M. (2005). The Last American Shoe Manufacturers: Decreasing Productivity and Increasing Profits in the Shift from Piece Rates to Continuous Flow Production. *Industrial Relations*, 44 (2), 307-330. <https://doi.org/10.1111/j.0019-8676.2005.00385.x>
- Gamarra Cuba, R. (2009). *Estudio preliminar para la instalación de una fábrica de producción de calzado de cuero de vestir*. Universidad de Lima, Seminario de Investigación.
- GS1 Chile. (2004). *Medición indicadores de gestión logísticos KPI (Key Performance Indicators). Guía del usuario*.
- Instituto de Investigación Científica (IDIC). <https://www.ulima.edu.pe/investigacion>
- Jaruga, I. (2018). Footwear Industry in Europe and Worldwide [Przemysł obuwniczy w Europie i na świecie]. *Przegląd Włokienniczy*, 72(12), 25-27. <https://doi.org/10.15199/60.2018.12.2>
- Kumar, A., Moktadir M. A., Khan S. A. R., Garza-Reyes J. A., Tyagi M., y Kazançoğlu, Y. (2020). Behavioral Factors on the Adoption of Sustainable Supply Chain Practices. *Resources, Conservation and Recycling*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104818>
- Laoha, C., y Sukto S. (2015). Lean Assessment for Manufacturing of Small and Medium Enterprises: A Case Study of 2 Industrial Groups in Northeast of Thailand. *International Business Management*, 9(4), 590-595. <https://doi.org/10.3923/ibm.2015.590.595>
- Marcelo, M.T., Avila G. V., Cruz, M. A., Prado, B. M. y Navarro, M. M. (2016). Process Improvement and Utilization of Machines in the Production Area of a Shoe Manufacturing Company. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 701-705. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7797966>

- Mena Jaramillo, E. F., y Paz Martínez, A. C. (2012). Diagnóstico de la cadena de aprovisionamiento de materias primas e insumos para cuatro eslabones de la industria del cuero y calzado. Universidad de San Buenaventura, Fondo Editorial.
- Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). (s/f). <https://www.gob.pe/mef>
- Ministerio de la Producción. (s. f.). <https://www.gob.pe/produce>
- Nafizah, U. Y. y Tiara, A. R. (2018). Value Stream Mapping in Indonesia's Shoe Industry: An Alternative Tool to Map Innovation Ecosystem. *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 10(2), 113-130. <https://doi.org/10.1504/IJTLID.2018.093159>
- Núcleo ejecutor calzado. (s. f.). *Manual de fabricación escolar*.
- Parker, P. M. (2011). The 2009 Import and Export Market for Sports Footwear in Peru. *Country Trade Report*. 16. Business Source Elite de EBSCO.
- Tello, M. D. (2012). Productividad total factorial en el sector manufacturero del Perú: 2002-2007. *Economía*, 70, 103-141. ProQuest.
- Tito Huaman, P. L. (2012). *Gestión por competencias y productividad laboral en empresas del sector confección de calzado de Lima metropolitana*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Fondo Editorial.
- Sociedad Nacional de Industrias. (2013). <https://sni.org.pe>
- Soto Brito, H. (2007). *La competitividad de la industria del calzado en el Perú y sus proyecciones en el mediano plazo (caso pyme Tobbex Internacional y el papel de Citeccal)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Fondo Editorial.
- Sri Rejeki, Y., Rahman As'ad, N., y Achiraeniwati, E. (2014). Improvement of Work System with Ergonomic Approach of Domestic Shoe Industry in Cibaduyut Bandung. *Applied Mechanics and Materials*, 606, 247-251. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.606.247>
- Velasco Rivera, S. (s. f.). *Como se puede incursionar en una pequeña empresa de calzado al comercio exterior enfrentándose a la competitividad*. Universidad Vasco de Quiroga, Fondo Editorial.
- Villegas Álvarez, D. C., y Zapata González, H. D.; Auxiliares de investigación: Rodríguez Álvarez, Héctor Fabio, Vega Carvajal, María Cristina (enero-junio 2007). *Competitividad sectorial internacional. Caso: sector del cuero y del calzado*.

PROYECTOS
EMPRESARIALES INDUSTRIALES
Industrial Business Projects

VIABILIDAD TECNOLÓGICA DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE UNA BEBIDA A PARTIR DE ALGARROBO (*PROSOPIS PALLIDA*), TARWI (*LUPINUS MUTABILIS*) Y QUINUA (*CHENOPODIUM QUINOA*) EN EL PERÚ*

MAGGIE LALESCA MANRIQUE PASIÓN**
<https://orcid.org/0000-0001-9826-1695>

ROCÍO DEL PILAR VALVERDE MORENO**
<https://orcid.org/0000-0003-0679-2988>

RAFAEL VILLANUEVA FLORES**
<https://orcid.org/0000-0003-1056-251X>
Universidad de Lima, Perú

Recibido: 13 abril del 2021 / Aprobado: 19 de mayo del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5545>

RESUMEN: El presente artículo tiene como objetivo exponer la viabilidad tecnológica de la instalación de una planta productora de una bebida a base de algarrobo, tarwi y quinua a través de la definición del producto, del proceso de producción y de la capacidad de la planta. Esta bebida es una alternativa a la gran cantidad de jugos y gaseosas que tienen un alto contenido de azúcar. Además, dado a que está hecha a base de una mezcla de dos legumbres y un pseudocereal, aporta aminoácidos esenciales al organismo.

PALABRAS CLAVE: tarwi / quinua / algarrobo / bebida / viabilidad tecnológica / capacidad de planta

THE TECHNOLOGICAL FEASIBILITY OF THE INSTALLATION OF A PRODUCTION PLANT FOR A DRINK FROM CAROB (*PROSOPIS PALLIDA*), TARWI (*LUPINUS MUTABILIS*), AND QUINOA (*CHENOPODIUM QUINOA*)

ABSTRACT: This article aims to expose the technological viability of a plant that produces a carob, tarwi, and quinoa drink through the definition of the product, the production process, and the plant capacity. This drink is an alternative to a large number of juices and sodas that have high sugar content. In addition, since it is made from a mixture of two legumes and a pseudo-cereal, it provides essential amino acids to the human body.

KEYWORDS: tarwi / quinoa / carob / drink / technological feasibility / plant capacity

* Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación final de la versión publicada.

** Correo electrónico: maggie.manriquep@gmail.com; rociovalverdem18@gmail.com; Rvillan@ulima.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, según un estudio realizado por Euromonitor (2019) sobre las tendencias de consumo de bebidas no alcohólicas, los peruanos son más conscientes de su salud y de las repercusiones de ingerir bebidas carbonatadas o con un alto contenido de azúcar. Además, este estudio menciona que el consumo de bebidas hechas a partir de plantas presentó un crecimiento de un 20 % entre el 2014 y el 2019.

Según una encuesta realizada por la consultora Nielsen, un 35 % de los peruanos practica una dieta que no es considerada alta en azúcar (Nielsen, 2016). Asimismo, la encuestadora Ipsos menciona que los sectores socioeconómicos A y B son las que más consumen este tipo de productos, en un 50 % y 40 % respectivamente (Ipsos Apoyo, 2009). Es por ello que en el presente artículo se presenta la alternativa de una bebida asociada con esta tendencia.

Una segunda tendencia del consumidor peruano es el incremento del consumo per cápita de granos andinos cuyo valor en el 2019 fue de 2,3 kilogramos y se espera que para el 2021 su consumo aumente hasta los 3,5 kilogramos por persona, según informó el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2019). Ello se debe al reconocimiento de las propiedades nutricionales que los caracterizan. De acuerdo con el estudio realizado por Cerezal *et al.* (2012), la formulación de mezclas de cereales y leguminosas permite obtener un mejoramiento del balance aminoacídico, lo que se traduce en un valor superior en la calidad de la proteína comparado con la de cada uno por separado.

Aprovechando dichas situaciones, se plantea ofrecer a los consumidores la alternativa de una bebida a base de quinua, tarwi y algarrobo con pulpa de fresa que no posee un alto contenido de azúcar. Por esto, el proyecto busca encontrar la tecnología apropiada para su manufactura, la cual debe adaptarse a los requerimientos de la demanda. De acuerdo con la segmentación de mercado del proyecto, se determinó que la cantidad demandada de botellas al año es de 799 640.

Para exponer la viabilidad tecnológica del proyecto, se utilizaron diferentes estudios relacionados. Uno de ellos es *Estudio para la instalación de una planta productora de bebida energética gasificada a base de maca negra, hoja de coca y arándano* (Agramonte y Ronceros, 2016) que utiliza el método de filtro prensa para separar los sólidos de los líquidos. Otro de los artículos utilizados es *Implementación de una planta de elaboración de bebida de papaya (Carica papaya) con linaza (Linum usitatissimum)* (Urquizo-Baldarrago, 2015) que detalla el proceso de cocción en una marmita para obtener el gel de linaza. Del mismo modo, se utilizó el artículo *La industrialización de una bebida natural a partir del tumbo andino (Passiflora mollissima) con linaza (Linum usitatissimum)* (Córdova-Lavado, 2016) como guía para los procesos de envasado y tapado semiautomático. Como referencia de un método de desinfección para los insumos de la bebida, se utilizó la

desinfección con hipoclorito de sodio al igual que en el artículo *Diseño y elaboración de bebida de aguaymanto (Physalis peruviana) enriquecida con kiwicha* (Hernández et al., 2019)

2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación de la viabilidad tecnológica de la implementación de una planta de producción de una bebida a base de lupino, algarrobo y quinua en el Perú se realizará de acuerdo con los siguientes aspectos:

- **Definición del producto**

Se calculó las proporciones de insumos en la bebida a través de la experimentación. El porcentaje de proteína diario cubierto por la bebida, por rango de edad, y la cantidad de aminoácidos esenciales presentes en la bebida se obtuvieron a través de datos recolectados de fuentes secundarias. Asimismo, se establecieron las características de la bebida a través del cuadro de especificaciones técnicas, a partir del cual se definieron los atributos del producto y su tipo, el nivel de criticidad, los medio de control, la frecuencia de control, la técnica de inspección y el nivel de calidad aceptable (NCA) de cada uno de ellos.

- **Definición del proceso de producción**

En el presente artículo, se presenta el diagrama de operaciones del proceso en el cual se muestran gráficamente los puntos en los cuales los materiales son introducidos en el proceso y la secuencia de inspecciones y de todas las operaciones.

- **Balance de materia y definición de la capacidad de la planta**

Se utilizó el método matemático de balance de materia con el fin de calcular la cantidad de insumos ingresantes y salientes en cada actividad del lote de producción. Para ello, se utilizó el tamaño de lote como la cantidad de producto terminado en el diagrama.

Para definir la capacidad de planta fue necesario hallar la operación cuello de botella. Se utilizaron los datos de cantidad entrante según balance de materia, la capacidad de procesamiento por hora, el número de máquinas en cada proceso, el factor de utilización y el factor de eficiencia.

Una vez definida la capacidad de planta, se elaboró un diagrama de actividades múltiples con el fin de determinar la cantidad de lotes de producción anuales que cubran la demanda del proyecto. Finalmente, validando que se cuenta con la tecnología requerida, se determina la viabilidad tecnológica del proyecto.

3. RESULTADOS

El producto de la presente investigación es una bebida a base de dos leguminosas y un pseudocereal, que tiene la característica principal de aportar algunos aminoácidos esenciales que el organismo requiere.

Esta bebida es presentada en botellas de vidrio de 250 mililitros, con una tapa tipo *twist-off* y con una etiqueta que cumple lo establecido en la Norma Técnica de Etiquetado de Alimentos Envasados. Como ejemplo de ello, se encuentra la fecha de vencimiento, contenido neto, lista de ingredientes y registro sanitario (Indecopi, 2010). Además, cada botella de esta bebida aporta 3,4 gramos de proteína.

En la figura 1, se muestra el prototipo de la bebida a entregar al consumidor final.



Figura 1. Prototipo de la bebida
Elaboración propia

La composición de la bebida a base de algarrobo, tarwi y quinua con pulpa de fresa se presenta en la tabla 1.

Tabla 1
Proporción de insumos de la bebida a base de lupino, algarrobo y quinua

Componente	Porcentaje
Agua de tarwi	40
Agua de quinua	21
Agua de algarrobo	15
Pulpa de fresa	20
Azúcar	3,93
Ácido cítrico	0,07
Total	100

Elaboración propia

El agua de tarwi se obtiene de una relación agua:grano de 6:1, el agua de quinua de 6:1 y el agua de algarrobo de 5:1 en el proceso de cocción (Cerezal *et al.*, 2012), con la restricción de que la mezcla de estas aguas de cocción aporte del 75 % al 80 % de la formulación y que cumpla con la aprobación de la evaluación sensorial realizada.

Por otro lado, el mismo estudio establece que la bebida preparada tiene un contenido de proteínas de 1,36 %. Según esta información, se puede calcular que el total final de proteínas en la bebida es de 3,4 gramos como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2
Gramos de proteína en la bebida

Porcentaje de proteínas en la bebida	Peso de la bebida (g)	gramo de proteínas en la bebida
1,36	250	3,4

Fuente: Cerezal *et al.* (2012)

Elaboración propia

De ese dato, se puede calcular el porcentaje de aporte diario que otorga la bebida según la edad del consumidor. En la tabla 3, se muestra un ejemplo aproximado del porcentaje diario de proteína cubierto por la bebida.

Tabla 3
Porcentaje de proteína diario cubierto por la bebida por rango de edad

Edad	Peso de ejemplo (kg)	gramo de proteína/kg de peso recomendados por día (FAO)	gramo de proteína recomendados por día	Porcentaje de proteína diario cubierto por la bebida
3 - 5	16	1,5	24,0	14
5 - 16	35	1,3	45,5	7
16 a +	60	1,0	60,0	6

Fuente: FAO (s. f.)

Elaboración propia

Asimismo, una de las características más relevantes de la bebida es su contenido de aminoácidos. Por ello, se presenta la cantidad de aminoácidos en gramos por cada 100 gramos de proteína contenidos en la bebida en la tabla 4.

Tabla 4
Aminoácidos esenciales en la bebida

Aminoácidos esenciales	g/100g de proteína
Isoleucina	0,0272
Leucina	0,0492
Lisina	0,0300
Metionina + cistina	0,0178
Fenilalanina + tirosina	0,0529
Treonina	0,0308
Triptófano	0,0044
Valina	0,0283
Histidina	0,0115

Fuente: Cerezal *et al.* (2012)

Igualmente, se presenta el cuadro de especificaciones organolépticas y físico-químicas de la bebida.

Tabla 5
Especificaciones técnicas de la bebida

Característica del producto	Tipo	Nivel de Criticidad	V.N. ±Tol	Medio de control	Frecuencia	Técnica de Inspección	NCA
Sólidos solubles	Variable	Crítica	°Brix >0,75	Refractómetro	Por lote	Muestreo	1,5
pH	Variable	Crítica	pH<4,5	pH-metro	Por lote	Muestreo	1
Color	Atributo	Mayor	Rosado	Visual	Por lote	Muestreo	1,5
Olor	Atributo	Mayor	Libre de olores indeseables	Olfato	Por lote	Muestreo	1,5
Sabor	Atributo	Mayor	Característico	Gusto	Por lote	Muestreo	1,5
Estado del envase	Atributo	Mayor	Sin daños	Visual	Por lote	Muestreo	1,5

Elaboración propia

A continuación, se detalla el proceso de producción de la bebida de la presente investigación.

- **Recepción de materias primas:** El proceso inicia con la recepción de materias primas que son los sacos de los granos de quinua, tarwi y las vainas de algarrobo. También, se reciben las bolsas de pulpa concentrada de fresa y el ácido cítrico en diferentes presentaciones.

- **Desvainado de algarrobo:** Se desvaina manualmente el algarrobo para separar las semillas, las cuales posteriormente serán lavadas y seleccionadas.
- **Lavado y selección de materias primas:** Seguidamente, los granos de tarwi y quinua y el algarrobo son lavados con agua con hipoclorito en lavaderos industriales usando coladores.
- **Pesado:** Se pesa las tres materias primas en balanzas de mesa según la cantidad a entrar por lote.
- **Cocción:** Las cocciones del tarwi, quinua y algarrobo se realizan en marmitas en proporciones de agua de 1 a 6, siendo la mayor proporción la del agua. Los tiempos de cocción son de 100, 23 y 38 minutos para el tarwi, quinua y algarrobo, respectivamente.
- **Licudo:** A continuación, se realiza el licuado de las aguas de cocción y las materias primas por un tiempo aproximado de 15 minutos.
- **Filtrado:** Después del licuado, con el uso de un filtro prensa que cuenta con un agujero de membrana de filtrado de 100 micras, se separan, casi en su totalidad, los sólidos de la mezcla, cuyo peso es de un 16 % aproximadamente.
- **Preparado de la fórmula (pulpa):** A su vez, se prepara la formulación de pulpa de fresa adicionando el azúcar y el ácido cítrico. Esta mezcla se calienta a 80 °C por un tiempo de 20 minutos.
- **Mezclado:** Posteriormente, se mezcla la cantidad filtrada con la pulpa preparada en un tanque con agitador por 10 minutos.
- **Pasteurizado:** Se realiza el pasteurizado de la mezcla a fin de producir un choque térmico que inhibe el crecimiento de microorganismos.
- **Lavado de botellas:** Para lavar las botellas, se coloca 12 botellas a la vez en la máquina enjuagadora y las botellas son trasladadas a la mesa de envasado.
- **Envasado:** Se envasa en botellas de 250 ml con una envasadora de pistón de llenado que se ajusta al volumen requerido por botella.
- **Tapado y etiquetado:** Se tapa las botellas manualmente y se realiza el sellado con una tapadora *twist-off* y, luego, se etiqueta cada botella manualmente.
- **Control de calidad:** Se realiza un control de calidad del etiquetado en cuanto a la orientación de la etiqueta, validando que los bordes de esta no estén despegados. También se verifica que la superficie superior de la tapa no esté levantada por ser un tapado *twist-off* y, visualmente, que el volumen de la bebida por botella sea el adecuado.
- **Retractilado:** Como último paso, un operario corta un metro de polietileno termoencogible con una cuchilla, coloca 12 botellas juntas encima de este, las

envuelve y, con una pistola de calor, sopla la superficie del polietileno con el fin de realizar el retractilado.

A continuación, se muestra el diagrama de operaciones del proceso y el balance de materia prima respectivamente (figuras 2 y 3).

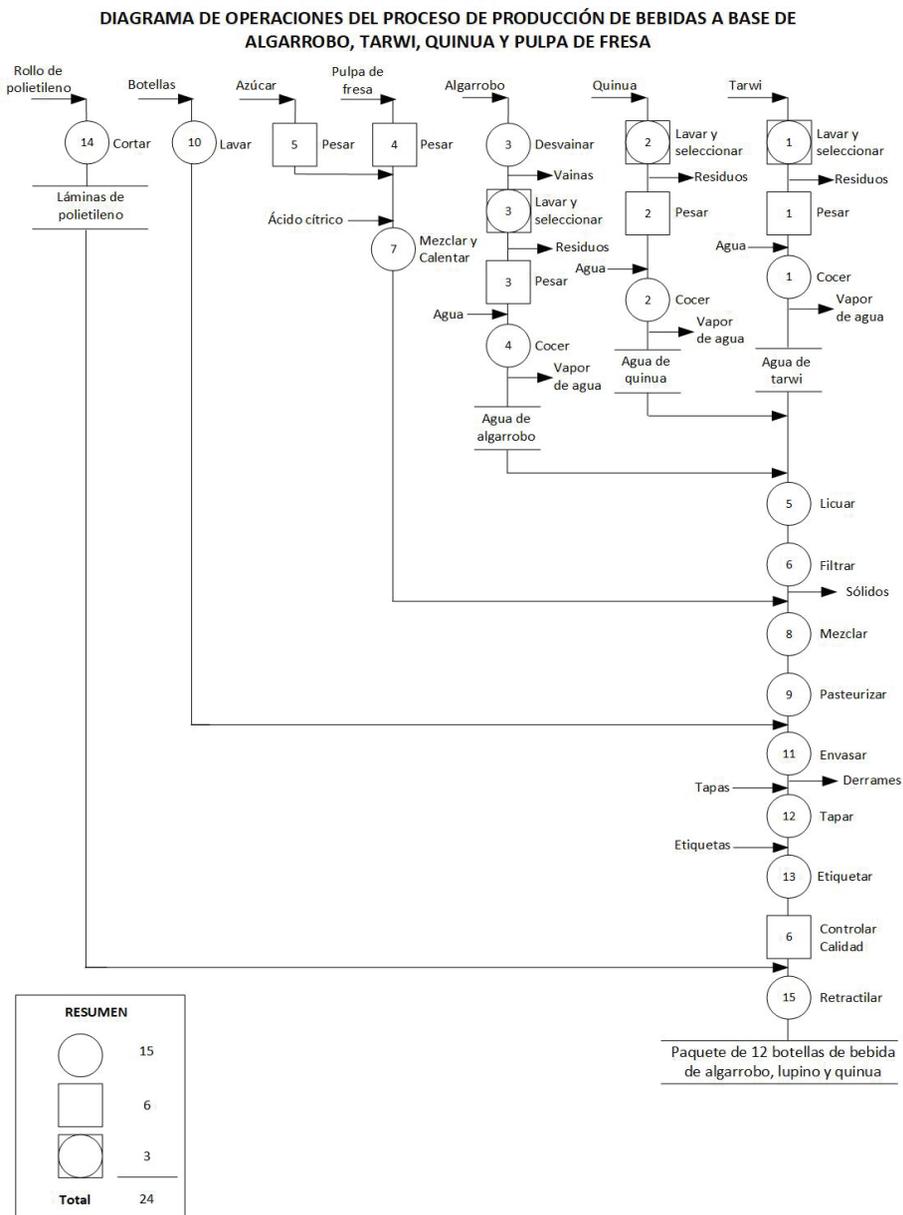
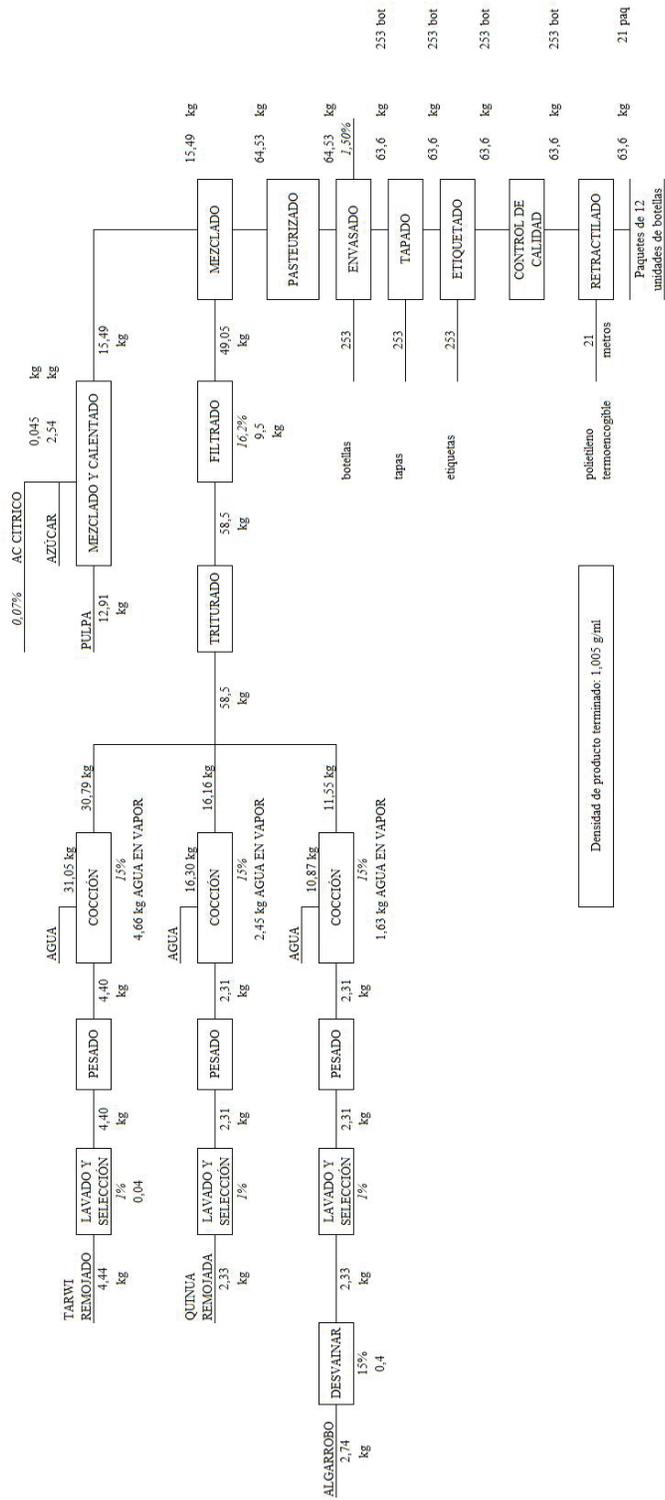


Figura 2. Proceso de producción de la bebida de algarrobo, tarwi y quinua
Elaboración propia

Viabilidad tecnológica de la instalación de una planta productora de una bebida



En la tabla 6, se detalla la sustentación de la tecnología elegida para cada operación.

Tabla 6
Tecnología seleccionada

Operación	Tecnología elegida	Sustentación
Desvainar	Manual	Debido a la cantidad de materia prima por lote, se opta por realizar un desvainado manual.
Pesado	Balanza de mesa	De acuerdo con las cantidades de materia prima por lote a pesar, se opta por una balanza con un rango de pesaje de 0 a 30 kg.
Lavado	Lavado por inmersión	Considerando el tamaño de cada materia prima y que no es necesario contar con una máquina especializada, el lavado será manual utilizando coladores en estaciones de lavado.
Cocción	Marmitas	Como se busca conservar el mayor peso del líquido en la cocción, se opta por cocinar en marmitas. Los tiempos de cocción son de 100, 22, 38 minutos para el tarwi, la quinua y el algarrobo, respectivamente.
Triturado	Licuada industrial	Para triturar y mezclar la materia prima con su respectiva cantidad de agua de cocción, no es necesaria una máquina especializada. Por ello, se utilizará una licuadora industrial con una capacidad de 80 litros, tomando en cuenta la cantidad a licuar por lote.
Filtrado	Filtro prensa	Debido a que se busca separar los sólidos suspendidos, se opta por usar un filtro prensa por el cual pasará el fluido y se retendrá aproximadamente un 16 % en peso del total de la mezcla.
Mezclado	Tanque con agitador	Debido a que no es necesario contar con una máquina especializada para esta operación, se opta con un tanque con agitador, el cual cumple la función de mezclar el fluido filtrado y la pulpa calentada previamente.
Pasteurizado	Pasteurizado VAT	Debido a que no es necesaria una pasteurización a una temperatura sumamente alta con el fin de que el tiempo sea de segundos, se opta por una tecnología de pasteurizado de velocidad lenta.
Lavado de botellas	Enjuagado	Se escoge la tecnología del enjuagado debido a la cantidad de botellas a lavar por lote.
Envasado	Envasado con pistón de llenado	Se opta por el envasado con pistón de llenado ajustándolo a 250 ml por botella.
Tapado	Tapado al vacío	Con el fin de eliminar el aire dentro del frasco, se opta por un tapado al vacío <i>twist-off</i> .
Etiquetado	Manual	Debido a la cantidad por etiquetar, el etiquetado será realizado manualmente con un tiempo de 9 segundos por botella.
Retractilado	Retractilado con pistola de calor	Debido a que no es necesaria una máquina con una alta capacidad de producción por hora, se opta por un retractilado manual con pistola de calor.
Mezclado y calentado de la pulpa	Olla con agitador	No es necesaria alta tecnología para este proceso. Por ello, se utilizará una olla de cobre con agitador eléctrico.

Elaboración propia

Para determinar la capacidad instalada, se toma en cuenta que la producción de la elaboración de la bebida desarrollada en el proyecto es por lotes. Cada tiempo de ciclo es aproximadamente de 6 horas y media, obteniendo así un tamaño de lote de 253 botellas. También se toman en cuenta las capacidades de cada máquina seleccionada para la búsqueda de las opciones disponibles en el mercado.

Para el caso de las actividades manuales, se toma un factor de utilización de 100 % y un factor de eficiencia de 83 %; este último porcentaje se calcula de acuerdo con los tiempos observados y estándares. En el caso de las operaciones que implican el uso de una máquina, se calculó un factor de eficiencia promedio de 88,8 % de acuerdo con los tiempos de carga, descarga y de operación de cada máquina, así como el factor de utilización de 91 %. En la tabla 7, se muestra el cálculo de número de máquinas.

Tabla 7
Cálculo de número de máquinas

Máquina	Producción de máquina/ año (kg)	Capacidad de la máquina (kg/hr)	Hrs/año	U	E	N máquinas teóricas	N máquinas reales
Cocción del tarwi	139 162,74	26	6 805	0,91	0,89	0,986	1,00
Cocción de quinua	73 060,44	80	1 472	0,91	0,89	0,769	1,00
Cocción de algarrobo	51 728,93	33,6	2 454	0,91	0,89	0,778	1,00
Triturado	229 669,32	375	1 047	0,91	0,89	0,726	1,00
Filtrado	201 741,58	50	5 366	0,91	0,89	0,933	1,00
Mezclador de bebida y pulpa	253 361,52	429	916	0,91	0,89	0,800	1,00
Pasteurizado	253 361,52	50	7 198	0,91	0,89	0,873	1,00
Mezclado y calentado de pulpa	60 806,76	75	1 309	0,91	0,89	0,768	1,00
Lavado de botellas	799 640	8640	3926	0,91	0,84	0,031	1,00

Elaboración propia

En la tabla 8, se muestra el cálculo de los operarios requeridos para todas las operaciones considerando que un operario puede realizar más de una operación y tomando en cuenta el tiempo de ciclo. Además, se debe considerar que las operaciones no se crucen al realizar varios lotes.

Tabla 8
Cálculo de número de operarios

N	Operación	Cantidad entrante	Unidad	N.º de operarios	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)
1	Desvainar (algarrobo)	2,74	Kg	1	16	16
	Lavado y selección algarrobo	2,33	Kg		4	20
	Pesado de algarrobo	2,31	Kg		2	22
	Cocción de algarrobo	13,18	Kg		38	60
	Lavado y selección quinua	2,33	Kg		4	64
	Pesado de quinua	2,31	Kg		2	66
	Cocción de quinua	18,61	kg		22	88
	Retractilado	253	bot		15	103
2	Cocción del tarwi	35,45	Kg	1	105	105
3	Filtrado	58,50	kg	1	82	82
	Tapado	253	bot		28	110
4	Mezclado y calentado de pulpa	15,49	kg	1	50	50
	Envasado	253	bot		50	100
5	Pasteurizado	64,53	kg	1	96	96
6	Lavado y selección tarwi	4,44	Kg	1	6	6
	Pesado de tarwi	4,40	Kg		2	8
	Triturado	58,5	kg		16	24
	Lavado de botellas	253	bot		24	48
	Mezclador de bebida y pulpa	64,53	kg		14	62
	Etiquetado	253	bot		34	96

Elaboración propia

Luego de calcular el número de máquinas, se procedió a calcular la capacidad instalada considerando la siguiente fórmula:

$$Capacidad\ instalada = \frac{kg}{hora} \times \frac{horas}{turno} \times \frac{turno}{días} \times \frac{días}{año} \times factores \times número\ de\ máquinas$$

En la tabla 9, se muestra los cálculos para hallar la capacidad instalada que es delimitada por la operación cuello de botella, en este caso, la cocción del tarwi.

Tabla 9
Cálculo de la capacidad instalada

Operación	QE		M	H/A	U	E	CO	F/Q	COXF/Q
	Cantidad entrante	Und. Medida							
Desvainar (algarrobo)	6 730,30	Kg	109,09	1 439,53	1,00	0,83	130 402,73	118,81	15 493 400,91
Lavado y selección tarhui	13 076,01	Kg	75,00	392,6	1,00	0,83	24 450,51	61,15	1 495 227,11
Lavado y selección quinua	6 864,91	Kg	75,00	392,6	1,00	0,83	24 450,51	116,48	2 848 051,64
Lavado y selección algarrobo	5 720,76	Kg	75,00	392,6	1,00	0,83	24 450,51	139,78	3 417 661,97
Cocción del tarhui	139 162,74	Kg	25,47	6 805,07	0,91	0,89	141 085,36	5,75	810 687,53
Cocción de quinua	73 060,44	Kg	80,00	1 472,25	0,91	0,89	94 961,3	10,94	1 039 342,98
Cocción de algarrobo	51 728,93	Kg	33,6	2 453,75	0,91	0,89	66 472,91	15,46	1 027 556,52
Triturado	229 669,32	lt	375,00	1 046,93	0,91	0,89	316 537,68	3,48	1 102 089,69
Filtrado	172 171,84	lt	50,00	5 365,53	0,91	0,89	216 300,75	4,64	1 004 593,58
Mezclador de bebida y pulpa	253 361,52	lt	428,57	916,07	0,91	0,89	316 537,68	3,16	999 031,69
Pasteurizado	253 361,52	lt	50,00	7 197,67	0,91	0,89	290 159,54	3,16	915 779,05
Envasado	799 640,00	lt	350,00	3 926,00	0,91	0,83	1 038 331,71	1,00	1 038 331,71
Tapado	799 640,00	bot	720,00	3 926,00	1,00	0,83	2 347 249,09	1,00	2 347 249,09
Etiquetado	799 640,00	bot	720,00	3 926,00	1,00	0,83	2 347 249,09	1,00	2 347 249,09
Retractilado	799 640,00	bot	1 440,00	3 926,00	1,00	0,83	4 694 498,17	1,00	4 694 498,17
Mezclado y calentado de pulpa	60 806,76	kg	75,00	1 308,67	0,91	0,89	79 134,42	13,15	1 040 658,01
Lavado de botellas	799 640,00	bot	8 640,00	3 926,00	0,91	0,83	25 928 937,22	1,00	25 928 937,22

Elaboración propia

Se presenta, a continuación, el diagrama de actividades múltiples que se utilizó para obtener el tamaño de lote y el tiempo de ciclo del proceso. Con estos datos, se pudo calcular la capacidad instalada.

El tamaño de lote considerado es de 63,6 kg equivalente a 253 botellas y el tiempo de ciclo es de 6,4 horas. Gracias al diagrama y a los datos obtenidos, se pudo deducir que al día se elabora 13 lotes de producción y que cada 109 minutos se termina un lote.

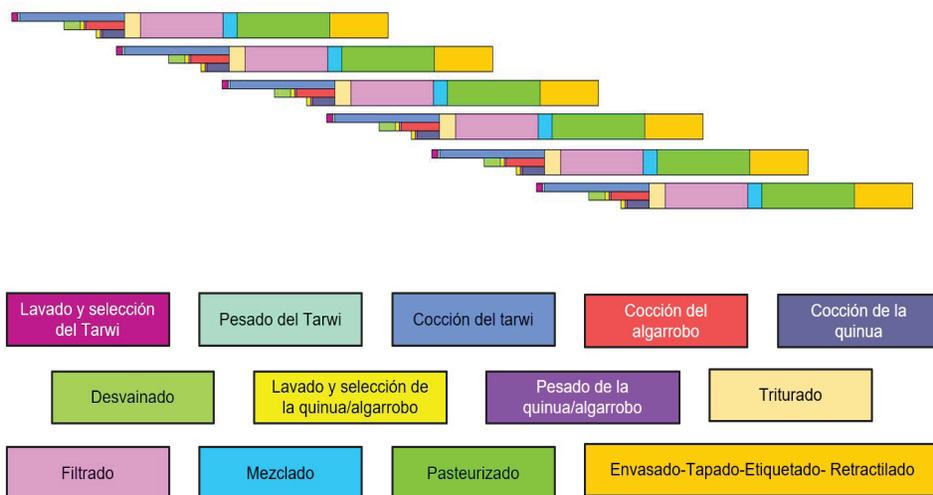


Figura 4. Diagrama de actividades múltiples

Elaboración propia

Luego de calcular el tamaño de lote, se determina la cantidad de materia prima que ingresará a cada actividad del proceso.

Finalmente, con los resultados obtenidos, se determina que la capacidad de la planta es de 810 687 botellas al año, cubriendo así las 799 640 botellas demandadas. En consecuencia, se demuestra la viabilidad de la tecnología seleccionada.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según lo analizado en el presente trabajo de investigación, se puede concluir y recomendar lo siguiente:

- Los factores clave para el cálculo de la capacidad de planta fueron la segmentación del mercado y la determinación de la demanda anual.

- Para la selección de tecnología, se definió que algunos procesos sean manuales o semiautomáticos, considerando que existe tecnología que supera la capacidad de procesamiento necesaria para estas actividades.
- La identificación de la operación cuello de botella permitió determinar la cantidad de lotes de producción diaria.
- Es necesario controlar todos los parámetros (cantidad de insumos, tiempo y temperatura) para obtener los niveles de proteínas y aminoácidos propuestos, ya que todos estos influyen directamente en el producto.
- De acuerdo con lo expuesto, se valida que la instalación de una planta productora de bebida de algarrobo, tarwi y quinua es tecnológicamente viable.
- Se recomienda realizar un estudio para evaluar si la torta procedente del proceso de filtrado puede reprocesarse para crear un nuevo producto terminado, siempre y cuando se asegure el cumplimiento de los estándares de calidad del cuadro de especificaciones técnicas.

REFERENCIAS

- Agramonte Mendiola, D., y Ronceros Mac Kay, L. (2016). Estudio para la instalación de una planta productora de bebida energética gasificada a base de maca negra, hoja de coca y arándano. *Ingeniería Industrial* (34), 177-194. https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/1345
- Cerezal, P., Acosta, E., Rojas, G., Romero, N., y Arcos, R. (2012). Desarrollo de una bebida de alto contenido proteico a partir de algarrobo, lupino y quinoa para la dieta de preescolares. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 232-243.
- Córdova-Lavado, I. C. (2016). La industrialización de una bebida natural a partir del tumbo andino (*Passiflora mollissima*) con linaza (*Linum usitatissimum*). *Ingeniería Industrial* (34), 195-219. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2016.n034.1344>
- Euromonitor, (2019). Jugos en Perú. <http://www.portal.euromonitor.com.ezproxy.ulima.edu.pe/portal/analysis/tab>
- FAO (s. f.). Necesidades nutricionales. <http://www.fao.org/docrep/014/am401s/am401s03.pdf>
- Hernández, E., Vergara, J., Carlos, N., Inostroza, L., García, M., Villafuerte, U., Córdova, J., Birne, R., Alencastre, A., Peña, M., y Tupiño, O. (2019). Diseño y elaboración de bebida de Aguaymanto (*Physalis peruviana*) enriquecida con kiwicha. *Ciencia e Investigación*, 22(1):35-39
- IPSOS Apoyo. (2009). Tendencias en salud y alimentación 2008.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2019). Consumo de granos andinos llega a 2,3 kilogramos per cápita anual. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/45213-consumo-de-granos-andinos-llega-a-2-3-kilogramos-per-capita-anual>

Nielsen. (5 de octubre del 2016). El 49 % de los peruanos sigue dietas bajas en grasa, ubicándose en el segundo lugar de latinoamérica. <https://www.nielsen.com/pe/es/insights/news/2016/El-49-por-ciento-de-los-peruanos-sigue-dietas-bajas-en-grasa.html>

NTP 209.038:2009, Alimentos Envasado. Etiquetado. (20 de febrero del 2010). Indecopi.

Urquiza-Baldarrago, K. N. (2015). Implementación de una planta de elaboración de bebida de papaya (*Carica papaya*) con linaza (*Linum usitatissimum*). *Ingeniería Industrial*, (33), 181-203. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2015.n033.541>

**CIENCIA
Y TECNOLOGÍA**

Science and Technology

SIMULATION OF AN ADVANCED GEOTHERMAL ENERGY CONVERSION PLANT IN PERÚ*

SOFÍA CHAUCA PAREDES**

<https://orcid.org/0000-0003-1220-6842>

GRACIELA ROJAS GARCÍA*

<https://orcid.org/0000-0001-6833-4267>

GEORGE POWER PORTO*

<https://orcid.org/0000-0001-6444-6085>

Universidad de Lima, Perú

Recibido: 9 de marzo del 2021 / Aprobado: 21 de junio del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5546>

ABSTRACT: This investigation aims to simulate an efficient plant that generates energy through a solar-geothermal hybrid energy conversion system with supercritical steam, Therminol VP1, geothermal fluid and R134a refrigerant. The goal is to exemplify a hybrid solution that optimizes and takes advantage of the existing properties of the solar and geothermal power cycles. The geothermal part of the process, the primary cycle, is augmented by the solar thermal cycle to obtain a high-efficiency result.

In addition, it allows the reader to understand the ideal process of this type of plant and a thermodynamic analysis represented by creating a detailed model block flow diagram, which is then turned into a dynamic one used to examine the selected parameters such as temperature, flow rate, and pressure variations. The dynamic model approximated the thermal values of the heat exchangers and the working fluids in the exchangers, solar collectors, piping and in the storage tanks.

KEYWORDS: geothermal energy / simulation / flash plant / renewable energy / conversion plant

*Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación Final de la versión publicada.

** Correo electrónicos: 20152836@aloe.ulima.edu.pe; 20142223@aloe.ulima.edu.pe; Gpower@ulima.edu.pe

SIMULACIÓN DE UNA PLANTA AVANZADA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EN PERÚ

RESUMEN: Esta investigación tiene como objetivo simular una planta eficiente que genere energía a través de un sistema híbrido geotérmico solar con vapor supercrítico, Terminol VP1, agua, fluido geotérmico y refrigerante R134a. Tiene como objetivo que, a través de la solución híbrida, se optimice y aproveche las propiedades existentes de los ciclos de energía solar y geotérmica. De esta manera, la parte geotérmica del proceso se convierte en el ciclo principal, complementado por el ciclo solar térmico, con la finalidad de obtener como resultado una eficiencia elevada.

Asimismo, permite al lector entender el proceso ideal de este tipo de planta, así como un análisis termodinámico. Este se representa a través de un modelo detallado en un diagrama de flujo de bloques, que luego se convierte en uno dinámico, utilizado para examinar los parámetros seleccionados como las variaciones de temperatura, caudal y presión. El modelo dinámico aproximó los valores térmicos de los intercambiadores de calor y los fluidos de trabajo en los intercambiadores, los colectores solares, las tuberías y en los depósitos de almacenamiento.

PALABRAS CLAVE: energía geotérmica / simulación / planta flash / energía renovable / planta de conversión

1. INTRODUCTION

According to the International Energy Agency, 72,6 % of the countries members of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) generated electricity from non-renewable energy sources in 2018 (The International Energy Agency [IEA], 2018). Among the main sources employed are coal, oil, and natural gas, responsible for most greenhouse gas emissions. In Peru, the main sources of electricity production are hydropower and natural gas, representing 94,3 % of the total energy produced as of October 2020 (Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional, 2020).

Multiple studies, like *Assessing the impact of renewable energy deployment on local sustainability: Towards a theoretical framework* (Burguillo & Del Río, 2008), *Renewable energy and sustainable development: a crucial review* (Dincer, 2000), and *Renewable energy sources and social movements in Latin America* (Mendoza & Pérez, 2010) demonstrate that the adoption of renewable energy sources would have a positive impact on the environment. According to Akella *et al.* (2009), these impacts would include a reduction in the emission of polluting gases, a slowdown in climate change, a reduction in acid rain, protection of the ozone layer, and an improvement in the population's health.

Due to the reasons presented above, the country has a regulatory and institutional framework that promotes renewable energy resources, composed of the following legal framework: Legislative Decree N.º 1002 - Promotion of investment for the generation of electricity with the use of renewable energy; Supreme Decree N.º 012-2011-EM - Regulations for the generation of electricity with renewable energy; Supreme Decree N.º 020-2013-EM - Regulations for the promotion of electricity investment in areas not connected to the grid (off-grid); and Ministerial Resolution N.º 203-2013-MEM/DM - Plan for universal access to energy.

In 2008, the development of non-conventional renewable energy generation projects began through public auctions organized by the Ministry of Energy and Mines (MINEM) at least every two years; in which the Supervisory Agency for Investment in Energy and Mining (OSINERGMIN) is responsible for setting the maximum prices and supervising that the contracts are fulfilled. These auctions offer contracts that guarantee the energy purchase for periods between 10 and 30 years, long-term stable tariffs, subsidies if the marginal cost is lower than the tariff, and monetary funds for research and development (Vasquez *et al.*, 2017).

Among the different types of renewable energy resources, solar, wind, biomass, mini-hydro, marine and geothermal energy are considered. The latter is the energy obtained by taking advantage of the earth's interior heat through groundwater, which can reach boiling temperatures that will drive steam turbines (Osinermin, 2013). This type of energy is contained in the rock and fluids beneath the earth's crust that generates

surface phenomena as lava flows, geysers, fumaroles, hot springs, and mud pots (Lund, 2018). This energy is also present even below the coldest parts of the earth's crust. In most places, the earth's heat is trapped at depths of more than 20 miles. This type of energy can be used in three ways: direct-use applications, geothermal heat pumps (GHPs), and electric power generation.

The direct use is the most common. It is for warming a single building and whole districts with numerous buildings with a central supply source. Also, it can be used for swimming pools, spas, greenhouses, among others. The geothermal heat pumps can heat buildings during the cold months and cool them in the warmer ones by circulating underground water. It is a system made up of a heat exchanger and a pump. It is very efficient, using less electricity than conventional heating and cooling systems, and producing less greenhouse gas emissions. Finally, it also can be used to generate electricity, a form of renewable energy. It collects rising steam from the ground and then feeds it into a turbine that drives an electrical generator (Lund, 2018.). Some advantages of using this type of energy are:

- It does not depend on weather conditions and has very high-capacity factors.
- It can be extracted without burning a fossil fuel such as coal, gas, or oil.
- Geothermal fields produce much less carbon dioxide than a clean natural gas-fueled power plant does.
- It saves as much as 80 percent of investment/operating costs as it is relatively inexpensive compared to fossil fuels (National Geographic, n.d.).

Geothermal energy also has some disadvantages, including environmental problems. It releases hydrogen sulfide, disposes some geothermal fluids with low levels of toxic materials, and, finally, the geothermal source in some locations may cool down, or the well production may decrease (Lund, 2018). On the other hand, geothermal energy generates almost no CO₂ emissions since it does not produce any combustion compared to a coal plant; furthermore, it requires little water and significantly less space than a coal or wind farm (Vásquez *et al.*, 2017).

The implementation costs vary according to the technology used: dry steam plants, flash plants, or binary cycle plants. For 50 MW capacity, a binary plant costs about 4141 USD/kW, while a dual flash plant amounts to 6163 USD/kW (U.S. Energy Information Administration, 2010).

One type of geothermal energy system is the solar-geothermal hybrid plant. This system increases the steam flow during the present geothermal cycle, adding a solar field of parabolic trough concentrators. This procedure can help increase the capacity factor by generating additional steam during the peak demand hours (Lentz & Almanza,

2006). There are several types of designs for this cycle, like geothermal-augmented solar thermal plants, solar-augmented binary plants, or solar-augmented flash plants. Each one has different procedures for adding solar energy to geothermal plants (DiPippo, 2016). In the case of Peru, geothermal energy is considered to have a high potential as well as wind, solar and hydro. Figure 1 shows the different sources of electricity generation in Peru. Figures 2 and 3, respectively, show the daily solar irradiance and geothermal potential in different regions of the country.

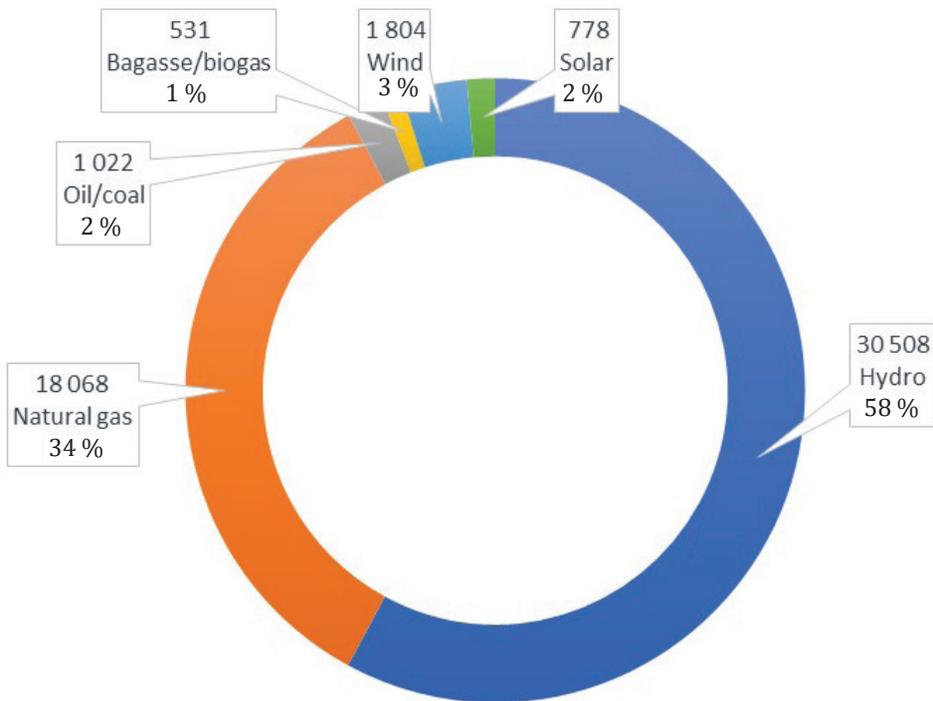


Figure 1. Energy generation by type in 2020, GWh and % of total
Source: MINEM (2020)

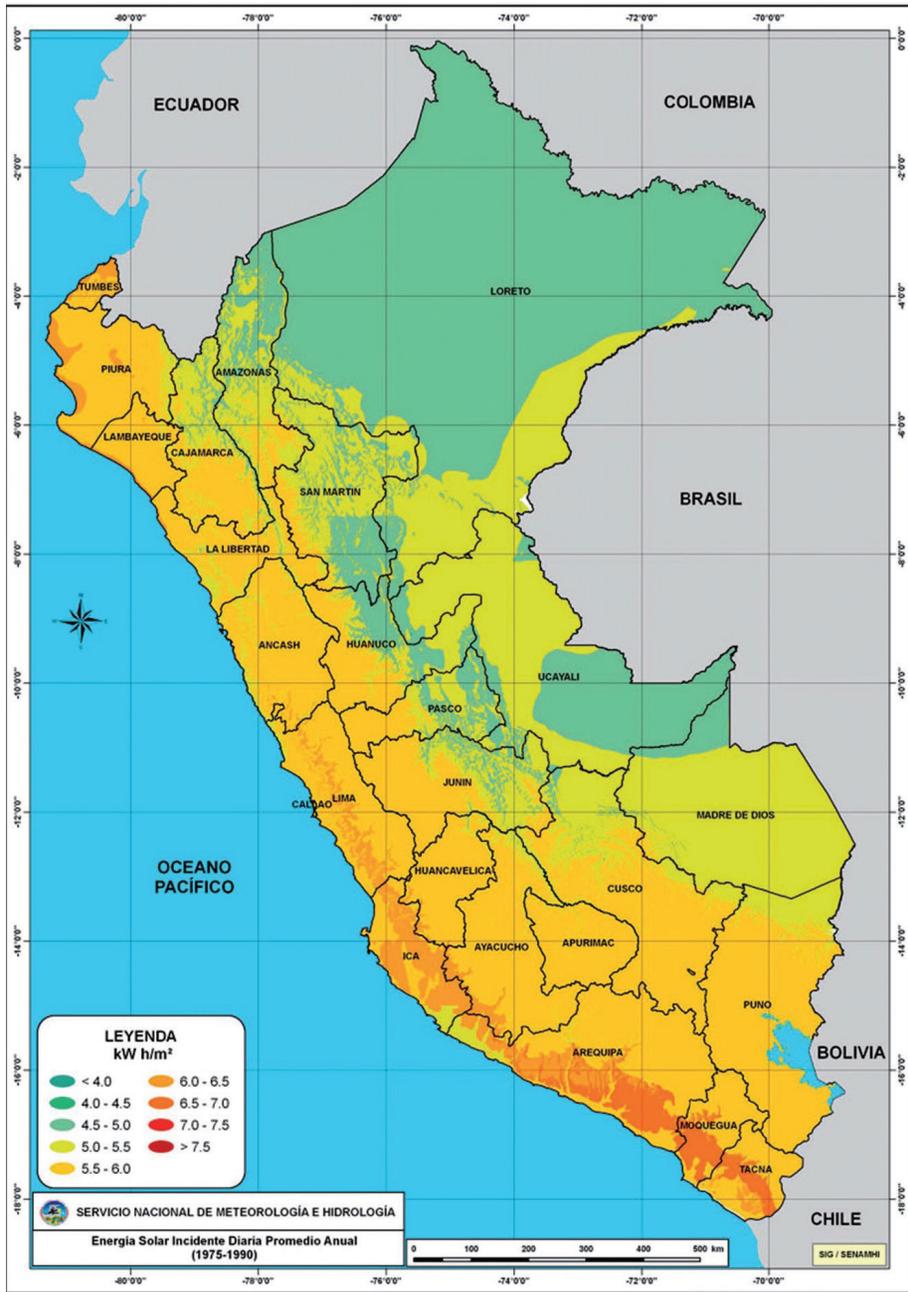


Figure 2. Daily solar irradiance in Peru (yearly average 1975-1990)

Source: Osinergmin (2012)

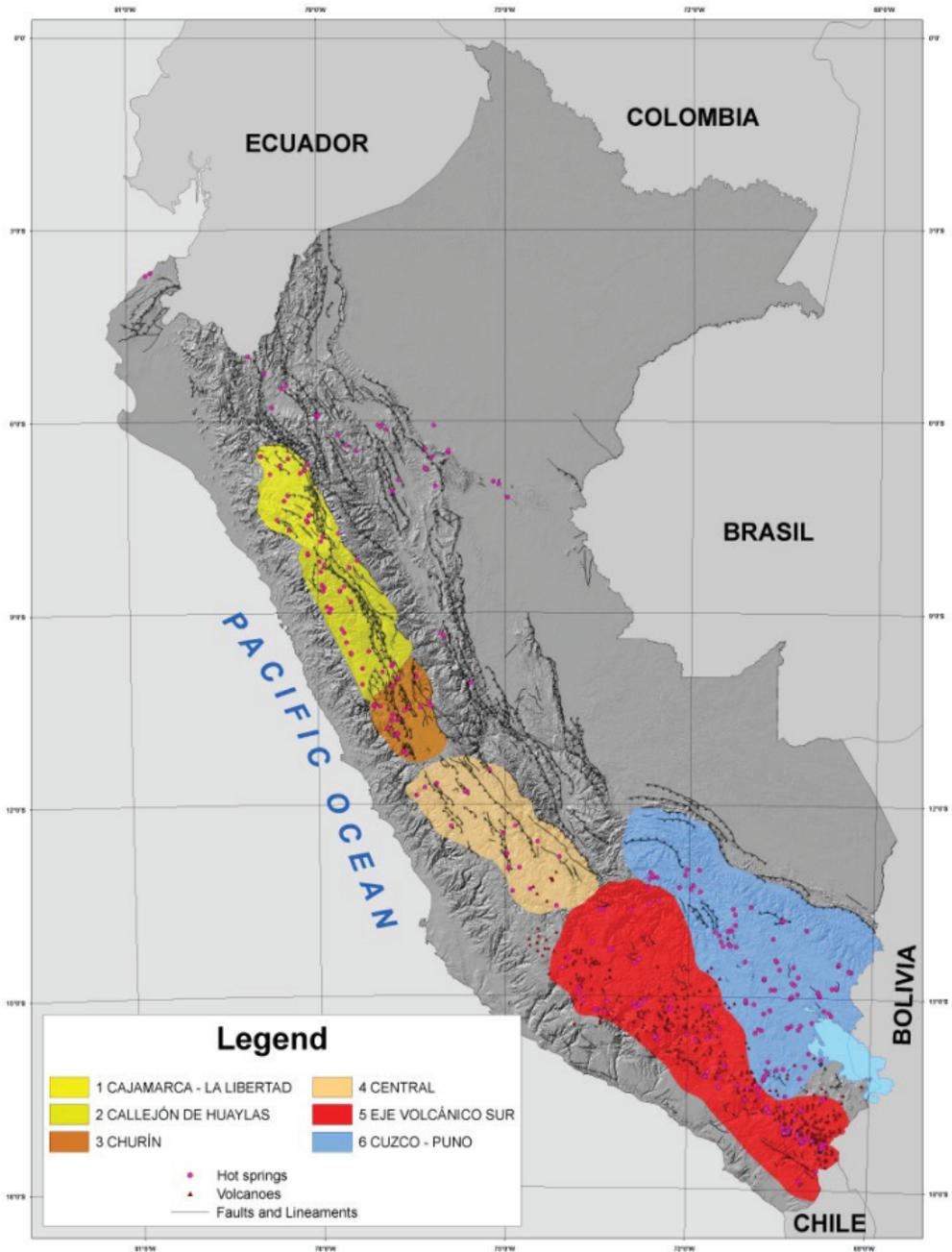


Figure 3. Geothermal energy potential in Peru
Source: West Japan Engineering Consultants (2012)

The main objective of this research is to verify the high efficiency of a solar-geothermal energy generation system, consisting of parabolic trough solar collectors, steam and refrigerant vapor turbines, and heat exchangers, using parameters of the southern region of Peru, and process simulation software CHEMCAD 7.1.5 (Chemstations, Inc). Unlike other simulations, the Geothermal Energy Conversion plant positively impacts the environment, which makes it stand out from other solutions.

This research is beneficial by providing a technological alternative that has potential in the country given that it has the necessary resources and has not been properly developed in the local market. On the other hand, installing a plant such as this one will generate multiple jobs, will provide clean energy to numerous households and will boost the development of the province in which the plant is installed.

Background (reference framework)

A scientific article on the hybrid solar-geothermal cycle for solar and geothermal energy, and a thesis from the University of Lima on a pre-feasibility study to install an electricity generation plant with parabolic trough solar concentrators in Peru, were taken as the main references.

- Solar-Geothermal Hybrid Cycle Analysis for Low Enthalpy Solar and Geothermal Resources (Greenhut *et al.*, 2010)

This scientific article presents the study of a solar-geothermal system with base parameters and the development of two designs: the hybrid overheating and the hybrid flash. In addition, it explains the thermodynamic equations used, temperature and entropy graphs, and a simulation of the process with the Aspen Plus software (Aspen Technology Inc.).

- Pre-feasibility study for the installation of a 120 MW electricity generation plant using parabolic trough solar concentrators (Gómez de la Torre, 2019)

This research work is similar to the scientific article that will be developed when using parabolic cylinders for electric power generation. In addition, it shows information on the regulatory framework in the country, potential demand and supply, environmental impact analysis, and economic aspects.

Likewise, various documents from the Ministry of Energy and Mines were consulted, such as the *Anuario ejecutivo de electricidad 2019 (Executive Yearbook of Electricity 2019)*, to analyze the electricity sector by region and its indicators; the report *Peru Renewables Readiness Assessment* of the International Renewable Energy Agency (2014), for the evaluation of electricity production in the country by technology, the growth of energy capacity and demand, and the renewable energy auction process. In the same way, OSINERGMIN presents two

important reports: *Renewable Energies, Experience, and Perspectives in Peru's Route to Energy Transition*, and *The Renewable Energy Industry in Peru, 10 Years of Contributions to Climate Change Mitigation*. These reports present the process of geothermal electricity generation, the costs according to the technology and its environmental impact. In addition, comparisons can be made with other types of renewable energy and which of them have a potential for development in the country.

2. METHODOLOGY

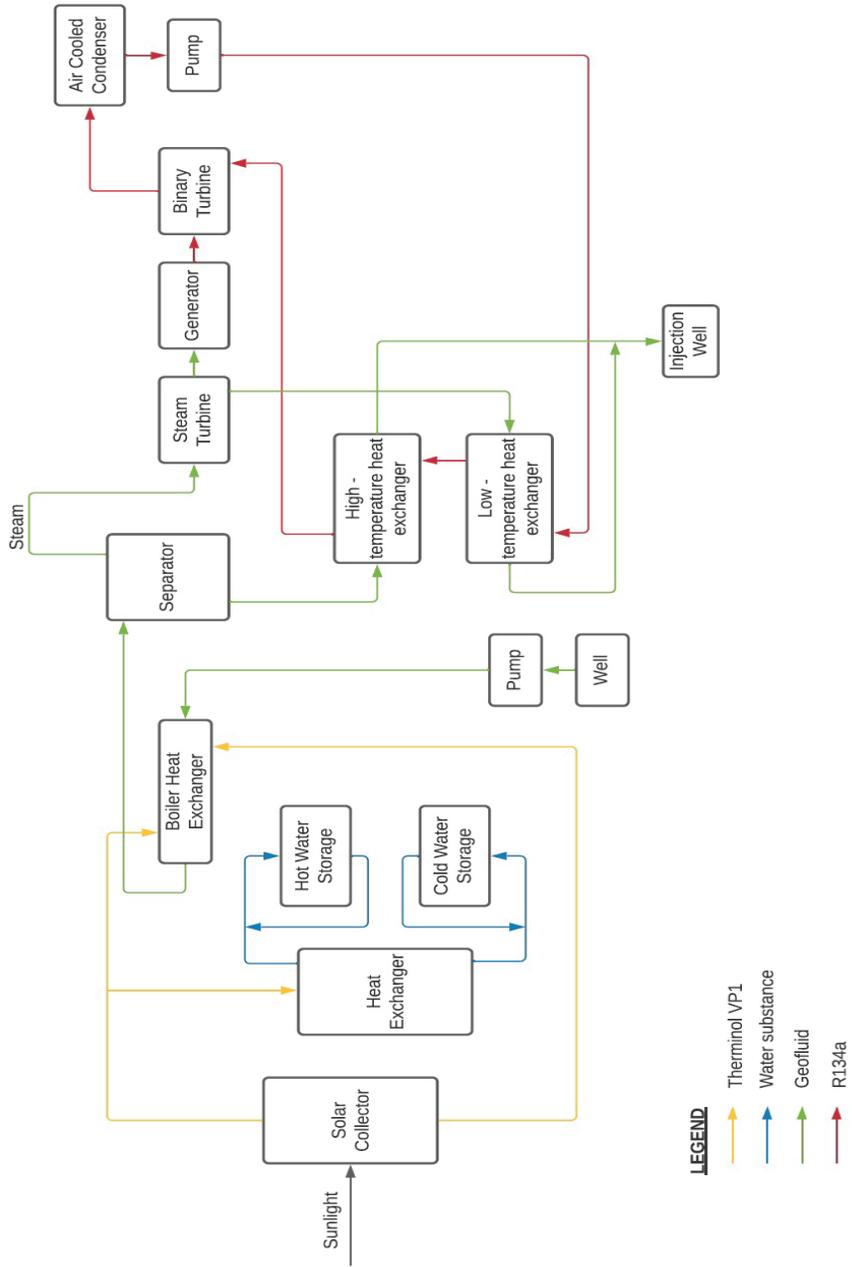
The process described below is of a flash hybrid plant. This type of plant (known by its full name as the solar-geothermal steam-flash/supercritical binary hybrid system) works on a more complex steam cycle concept that offers more possibilities than superheat hybrid-type plants (McKibbin *et al.*, 2010). The flash hybrid plant is intended for low-to-moderate geothermal resources with pumped wells and starts with the solar part of the process, which uses parabolic thermal solar collectors in a closed-loop configuration.

Inside the tubes going through the collector, there is an antifreeze liquid flowing constantly. This liquid usually is Therminol VP1 (a mixture of diphenyl oxide and biphenyl). Once heated, this fluid is then sent to a heat exchanger to increase the temperature of the geothermal fluid extracted from the well (Greenhut *et.al.*, 2010). Water deep underground, heated by the earth's natural heat, is brought to the surface and delivered to the power plant through pipes. Solar energy raises the temperature of the pressurized geofluid (hot well water) to a sufficiently high value (roughly saturation) to allow flashing at an appropriate pressure.

This generates steam and hot brine for use in a steam turbine and preheating the working fluid in the binary loop. The separator allows the steam to drive one of the two turbines connected to a common generator. Pressure from the vapor spins the turbines, which in turn spin the electric generator. For a flow rate of 100 kg/s of geothermal fluid, each unit can generate about 280 kW, and by combining more units and scaling up the flowrate, about 11 MW net power can be generated in this first phase of the plant.

After leaving the turbine, the vapor moves downward into the low-temperature heat exchangers. Here, the R-134a fluid enters the heat exchanger and circulates through it, changing to vapor and cooling and condensing the steam, allowing it to condense back into a fluid collected at the bottom of the tank and pumped back to the injection well. The working fluid (R134a) vapor is expanded in the binary turbine (BT), generating more power, and is converted back to liquid by exchanging heat with atmospheric air.

Figure 4. Block flow diagram of advanced flash hybrid power plant



Own elaboration

In order to carry out the simulation, it is necessary to define which area of Peru would be a potential site for the development of a geothermal plant. For this purpose, quantitative research was carried out in the north, south, east, and west of the country using GDP, installed power, and total energy consumption as indicators. These were chosen because they allow us to determine the economic growth, evaluate the amount of installed energy and the total energy consumption for the possible demand of the area, respectively.

According to Franklin Acevedo, CEO of Energy Development Corporation Peru, the country's southern region presents a high potential for the development of geothermal energy due to its location over the so-called Ring of Fire, which presents multiple volcanic manifestations and constant seismic activity. In 2017, the south region had a GDP of 110 962 million PEN, an installed power of 3,924 MW with an average annual growth of 11,9 %, and a total consumption of 15 140 GWh; these indicators show greater annual growth compared to the north, center and east regions (Ministerio de Energía y Minas, 2019). Both indicators, the location close to the Ring of Fire and the growth of the indicators mentioned above compared to other geographic areas, make the southern region an ideal area for installing a geothermal plant.

The software used for the simulation, CHEMCAD 7.1.5 (Chemstations, Inc.) is an integrated suite of intuitive chemical process simulation software that fits into the chemical engineering workflow and supercharges the efficiency of any chemical process applicable. All modules work within a single graphical user interface and is highly customizable, flexible, and affordable. With its help, mass flow, temperature, and pressure parameters were easily calculated throughout the entire process, considering all physical, thermodynamical, and chemical constraints.

This software contains libraries of chemical components, thermodynamic types, and facilities to manage steady-state simulation using larger and larger scale interconnected processes, allowing to adjust its characteristics to those required by the user to simulate the desired chemical process and obtain the results of how it would work in reality.

Based on the article mentioned before, *Solar-Geothermal Hybrid Cycle Analysis for Low Enthalpy Solar and Geothermal* (Greenhut et al., 2010), we were able to determine the necessary equipment according to their efficiency and rating as follows:

- Pumps
- Solar collectors
- Heat exchanger
- Flash tank
- Steam/binary turbine
- Generator
- Condensator

The following substances were used for the simulation:

- Therminol VP1, as heat transfer fluid
- Water, as geothermal fluid
- R134a refrigerant, as the binary fluid
- Air, as cooling fluid

Although setting up and running a CHEMCAD simulation requires some training and knowledge of basic thermodynamics, the process may be summarized in the following steps:

- Choose the appropriate engineering units (SI in our case).
- Create the flowsheet with the appropriate streams and unit operations (i.e., process steps).
- Select the substances (chemical components) involved with corresponding ranges of pressure and temperature. According to these parameters, the thermodynamics wizard will choose the appropriate thermodynamic model.
- Define the feed streams used in the process.
- Enter specifications for the unit operations.
- Run the simulation and review the results.

Since this process is quite complex, involving several streams of different fluids, the simulation cannot be performed at once, so it must be constructed and tested gradually. In this case, we started with the geothermal fluid, then added the heat transfer fluid for superheating the geofluid, the flashing stage, the steam turbine, the binary fluid, and so on. Needless to say, that some simulations will not easily converge in the first attempt. So, the flow rates must be adjusted, performing some precalculations separately. Once the simulation for the whole process converges, slight adjustments in flow rates, temperature, and pressure are made to optimize the results.

For this research, the base information for the process simulation derives from a study performed in Bali, Indonesia, titled *Solar-Geothermal Hybrid Cycle Analysis for Low Enthalpy Solar and Geothermal Resources presented in the Proceedings World Geothermal Congress in 2010* (Greenhut *et al.*, 2010). This study illustrates the difference between two types of solar geothermal energy conversion systems, with the goal being to find hybrid solutions that could take some advantage of the potential synergies of the solar thermal and geothermal power cycles. In conclusion, the Greenhut study demonstrated the efficiency level of both types of plants, giving as a result that the one with better percentage was the hybrid flash design exemplified in the paper mentioned above. The data used from this source for the simulation will be listed below:

- Geothermal fluid mass flow: 100 kg/s

- Geothermal fluid temperature: 150 °C
- Turbine efficiency: 85 %
- Pump efficiency: 80 %

The model for the process that allowed us to make the simulation was built starting with supercritical steam and R-134a refrigerant as the binary fluid. A flash tank, steam cycle, and solar cycle were added as well. Regarding the parameters used, the design was based on a supercritical binary cycle of R134a, due to its cooling performance and lower input energy required than other binary fluids and supercritical cycles (Meyer, 2001). The cycle was restricted to the following parameters:

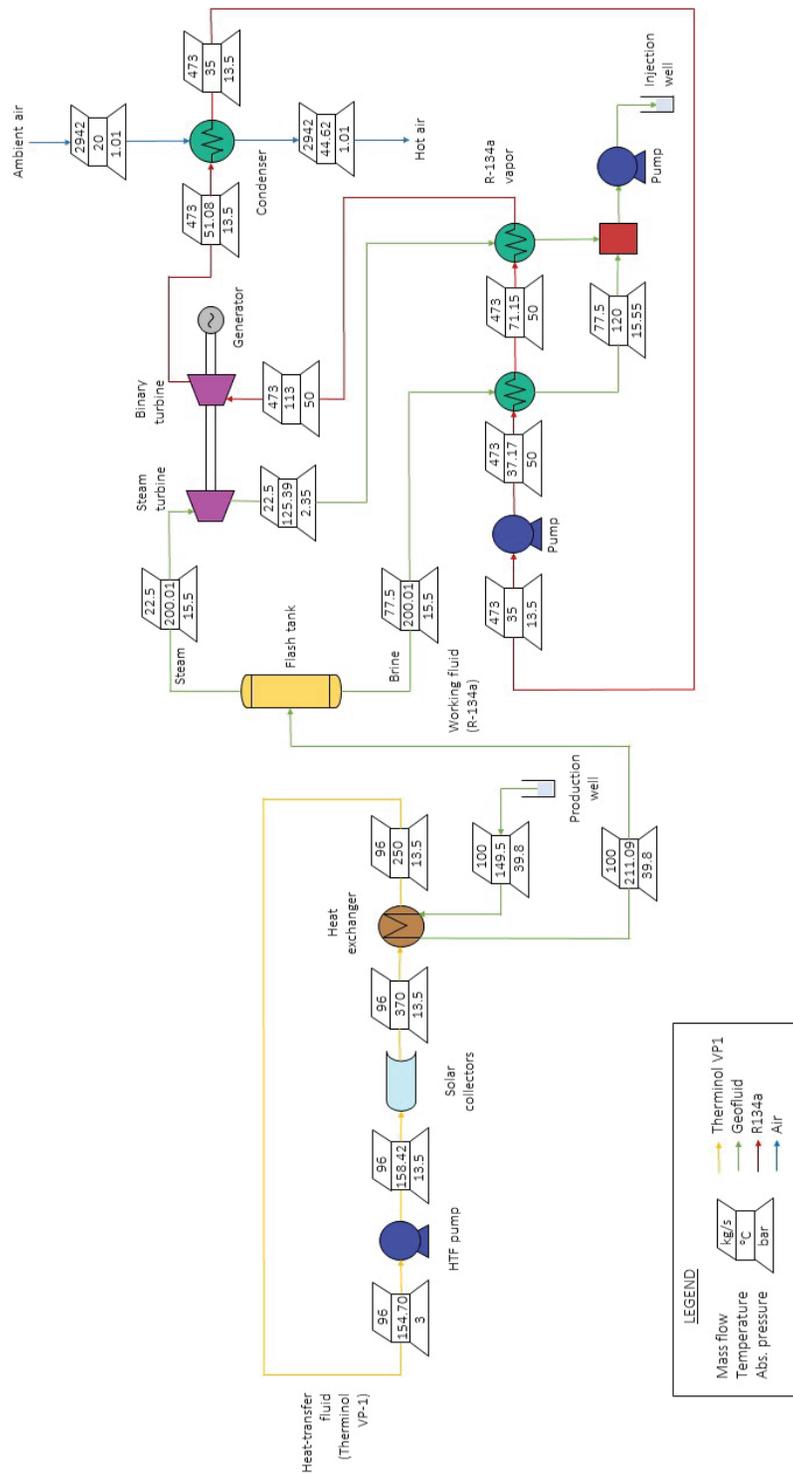
- Geothermal fluid mass flow: 473 kg/s
- Geothermal fluid initial temperature: 37,2 °C
- Geothermal fluid final temperature: 71,2 °C
- Final condenser output temperature: 20 °C
- Final condenser output pressure: 1 atm
- Air result mass flow: 2942 kg/s

3. RESULTS

The first results were obtained in a flash tank, which separates the steam from the hot brine. The steam comes out from the top of the flash tank with a flowrate of 22,5 kg/s, a temperature of 200 °C, and a pressure of 15,5 bar. On the other hand, the stream of hot brine comes out from the bottom of the flash tank with a mass flow of 77,5 kg/s at the same temperature and pressure as the steam (200 °C, 15.5 bar). As both fluids continue the process, the steam enters the steam turbine, coming out at 125,4 °C, and 2,35 bar, generating 4,89 MW of power. Meanwhile, the brine goes into the first condenser and acts as the heating fluid against the working fluid (R-134a). This allows the latter to increase its temperature from 37,2 °C to 71,2 °C, keeping a mass flowrate of 473 kg/s. The second condenser works with the steam coming from the steam turbine as the heating fluid against the working fluid, allowing it to increase its temperature once again, this time from 71,2 °C to 113 °C and keeping its mass flow and pressure at 473 kg/s and 50 bar, respectively.

The last part of the process consists of the binary turbine, which works with the R-134a fluid, cools it down to 51,1 °C and reduces the pressure to 13,5 bar, generating 7,08 MW of power (about 45 % higher than the steam turbine). In that state, it enters the last condenser (like in an air conditioning machine), and exchanges heat with the ambient air, which enters the condenser at flow rate of 2942 kg/s, 20 °C and 1.01 bar (1 atm). The hot air exits at 44,6 °C, an ambient pressure. The results are presented in the process flow diagram (figure 5).

Figure 5. Process flow diagram with simulation results of advanced flash hybrid plant



Own elaboration

4. DISCUSSION

- The simulation results indicate that this type of advanced flash hybrid plant is feasible, reaching a combined energy production of about 120 kJ/kg geofluid. This value may seem low compared to a coal or gas-fired power plant, but considering that no fossil fuels are burned and no emissions generated, the potential of geothermal energy is very promising.
- In order to take this research to a prefeasibility study or an investment project level, more technical details must be considered, for instance, all the losses in equipment, pipes, and connections, which were considered as ideal in this simulation. Also, a detailed exergy (maximum useful work) analysis must be performed, in order to know the real limits of this plant.
- In Peru, there is a great geothermal potential in the southern region of the country due to multiple volcanic manifestations and, on the other hand, due to having a higher GDP, installed power, and higher per capita consumption than in the northern, center and eastern regions.
- For the simulation, we used CHEMCAD 7.1.5 software. This allowed us to see how all these chemical processes would work properly with the right conditions through all the simulations mentioned in chapter 3, producing satisfactory results. These conditions are aligned and are proportional to our base article: *Solar-Geothermal Hybrid Cycle Analysis for Low Enthalpy Solar and Geothermal* (Greenhut et al., 2010). Although a more thorough analysis is required for this type of project, the authors consider that this scientific paper is a good starting point, and it will encourage further research in this area, and hopefully, and possibly the realization of more investment projects in sustainable energy.
- According to the Ministry of Energy and Mines, Peru ranks first in South America for its level of exploration due to the availability of geothermal resources. The country could generate up to 2860 MW in 61 geothermal fields based on the distribution of hot springs and other hydrothermal manifestations located mainly in Arequipa, Moquegua, Tacna, and Puno. (Ministerio de Energía y Minas, 2011).
- This type of plant generates renewable energy that does not depend on weather conditions; safe energy, since it does not require combustion, gases or fuel deposits; energy whose heat source is natural, inexhaustible and therefore does not experience price increases; clean energy, with low carbon emissions. In short, a complete and highly beneficial plant for everyone, compared to other types of power plants (Energy Development Corporation, 2020).
- For geothermal energy, we can say that the best hybrid configuration, low energy, and low-cost heat source, should be used to the maximum extent possible within

its temperature limits. Unlike solar energy, it should be used only to extend the temperature above the temperature of the low-cost heat source.

REFERENCES

- Akella, A., Saini, R., & Sharma, M. (2009). Social, Economical and Environmental Impacts of Renewable Energy Systems. *Renewable Energy*, 34(2), 390-396. doi:10.1016/j.renene.2008.05.002
- Burguillo, M., & Del Río, P. (June 2008). Assessing the Impact of Renewable Energy Deployment on Local Sustainability: Towards a Theoretical Framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), 1325-1344. doi:10.1016/j.rser.2007.03.004
- Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional. (2020). *Indicadores BI – Producción acumulada*. <http://www.coes.org.pe/portal/>
- Currie, S. (May 2016). Renewable Energy in Latin America: Peru. *Mondaq*. <https://www.mondaq.com/peru/renewables/495452/renewable-energy-in-latin-america--peru>
- Dincer, I. (June 2000). Renewable Energy and Sustainable Development: A Crucial Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2), 157-175. doi:10.1016/S1364-0321(99)00011-8
- DiPippo, R. (2016). *Geothermal Power Plants. Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*. 4th ed. Butterwoth-Heinemann.
- Energy Development Corporation. (2020). *EDC en Perú*. <https://edc.com.pe/edc-en-peru>
- Gómez de la Torre, A. (2019). *Pre-Feasibility Study for the Installation of a 120 MW Electricity Generation plant Using Parabolic Trough Solar Concentrators*. [Tesis de titulación, Universidad de Lima]. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/11240>
- Greenhut, A., Tester J., DiPippo R., Field R., Love C., Nichols K., Augustine C., Batini F., Price B., Gigliucci G., & Fastelli I. (2010). Solar-Geothermal Hybrid Cycle Analysis for Low Enthalpy Solar and Geothermal Resources. *Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia*. <https://www.geothermalenergy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/2615.pdf>
- InfoSinermin. (2012) *Edición especial sobre generación con RER*. Osinermin. http://www2.osinermin.gob.pe/Publicaciones/pdf/InfoSinermin/Infosinermin_edicion-especial2_empresas_2012.pdf

- Lentz, Á., & Almanza, R. (2006). Solar–Geothermal Hybrid System. *Applied Thermal Engineering*, 26(14-15), 1537-1544.
- Lund, J. W. (April 2018). *Geothermal energy*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britanica.com/science/geothermal-energy>. Accessed September 11th 2021.
- Mendoza, E., y Pérez, V. (January 2010). *Renewable Energy Sources and Social Movements in Latin America*. Instituto de Estudios Internacionales - Universidad de Chile. <https://www.jstor.org/stable/41392132?seq=1>
- Meyer, J. P. (2001). The Performance of the Refrigerants R-134a, R-290, R-404A, R-407c and R410A in Air Conditioners and Refrigerators. *Journal of Mechanical Engineering*, 47(8), 366-373. https://www.sv-jme.eu/?ns_articles_pdf=/ns_articles/files/ojs3/1373/submission/1373-1-2423-1-2-20171107.pdf&id=4754
- Ministerio de Energía y Minas. (January 2020). *Principales indicadores del sector eléctrico a nivel nacional*. MINEM. [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/1%20Cifras%20preliminares%20del%20Sector%20Electrico%20-%20Diciembre%202020%20-%20Ver%200\(1\).pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/1%20Cifras%20preliminares%20del%20Sector%20Electrico%20-%20Diciembre%202020%20-%20Ver%200(1).pdf)
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). Anuario Ejecutivo de Electricidad. MINEM. [minem.gob.pe/minem/archivos/AnuarioEjecutivoFinal-Rev-Final2.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/AnuarioEjecutivoFinal-Rev-Final2.pdf)
- Ministerio de Energía y Minas. (February 2012). *Plan Maestro para el desarrollo de la energía geotérmica en el Perú*. MINEM. <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12048567.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2011). *El Perú tiene una gran disponibilidad de recursos geotérmicos*. MINEM. <http://www.minem.gob.pe/descripcion.php?idSector=6&idTitular=3860>
- McKibbin, R., Fowkes, N., Florio, B., & Horowitz, F. (January 2010). *Geothermal Data Analysis and Optimization*. Proceedings of the 2010 Mathematics and Statistics in Industry Study Group, MISG-2010. 52. 10.21914/anziamj.v52i0.3600.
- National Geographic. (n. d.). *Geothermal Energy*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/geothermal-energy>
- Osinergmin. (December 2012). Energías renovables en el plan estratégico de energías sostenibles y bioenergía. *Infosinergmin*, Edición Especial, 14(10) EE 02-2012. http://www2.osinerg.gob.pe/Publicaciones/pdf/InfoOsinerg/Infosinergmin_edicion ESPECIALp2_empresas_2012.pdf
- Osinergmin.(2013). *Introducción a las energías renovables*. Osinergmin. <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>
- Osinergmin. (2020). *Energía geotérmica*. Osinergmin. <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/energia-geotermica>

- Potencial geotérmico peruano equivale al 50 % de la electricidad que producimos. (February 2020). *Rumbo Minero*. <http://www.rumbominero.com/noticias/energia/potencial-geotermico-peruano-equivale-al-50-de-la-electricidad-que-producimos/>
- The International Energy Agency [IEA]. (2018). *Renewable and non-renewable electricity generation in OECD countries, 2008-2018*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-and-non-renewable-electricity-generation-in-oecd-countries-2008-2018>
- Schmerler, D., Velarde, J., Rodríguez, A., & Solís, B. (Eds.). (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Osinergmin.
- Sistema de Información de Energías Renovables. (2020). Osinergmin. <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/subastas>
- U.S. Energy Information Administration. (2010). *Updated Capital Cost Estimates for Electricity Generation Plant*, pp. 128-141. <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph241/long1/docs/updatedplantcosts.pdf>
- Vásquez, A., Tamayo, J., & Julio S. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Osinergmin. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf
- West Japan Engineering Consultants. (2012). *Plan Maestro para el Desarrollo de la Energía Geotérmica en el Perú*. MINEM. <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12048567.pdf>

REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LA SEMILLA DE MANGO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE Y SUS POTENCIALES APLICACIONES EN DIVERSAS INDUSTRIAS*

ANTONIO MARTIN CÓRDOVA CÓRDOVA**
<https://orcid.org/0000-0001-9258-6632>

CARLOS HÉCTOR MENDOZA MENDOZA*
<https://orcid.org/0000-0001-6751-9454>
Universidad de Lima, Perú

Recibido: 30 de marzo del 2021 / Aprobado: 29 de abril del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n41.5547>

RESUMEN: La presente investigación tiene como objetivo demostrar, a través de una revisión de literatura, la existencia de aplicaciones industriales para el aceite de semilla de mango (ASM), puesto que cuenta con propiedades físico-químicas comparables e incluso mejores que otros aceites de semillas oleaginosas. Los artículos revisados indican que el ASM es comestible, de alta calidad, rico en materia insaponificable y constituido principalmente por los ácidos grasos esteárico y oleico. Asimismo, se revela el gran potencial del ASM como, por ejemplo, sustituto de la manteca de cacao, antioxidante natural, cosmético, compuesto antimicrobiano e, incluso, biocombustible. Estas aplicaciones permitirán a las industrias generar un mayor beneficio económico y contribuirán con el cuidado del medio ambiente.

PALABRAS CLAVE: aceite de semilla de mango / aprovechamiento semillas oleaginosas / revisión de literatura

* Todos autores han contribuido con la misma intensidad en el diseño, obtención de datos, análisis, revisión crítica de su contenido y aprobación final de la versión publicada.

** Correos electrónicos: 20140349@aloe.ulima.edu.pe; cmendoza@ulima.edu.pe

REVIEW OF LITERATURE ON THE USE OF MANGO SEED FOR OIL EXTRACTION AND ITS POTENTIAL APPLICATIONS IN VARIOUS INDUSTRIES

ABSTRACT: This research aims to demonstrate through a review of literature the existence of industrial applications for mango seed oil (MSO) since it has comparable and even better physico-chemical properties than other oilseed oils. The revised articles indicate that the MSO is edible, of high quality, rich in unsaponifiable matter, and consisting mainly of stearic and oleic fatty acids. It also reveals the great potential of MSO as cocoa butter substitute, natural antioxidant, cosmetic, antimicrobial compound, and even biofuel. These applications will enable industries to generate more significant economic benefits and will contribute to the care of the environment.

KEYWORDS: mango seed oil / oilseed use / literature review

1. INTRODUCCIÓN

El mango es una fruta tropical consumida en todo el mundo, ya sea directamente o como producto procesado (Torres-León *et al.*, 2016). Su cáscara y hueso son descartados, lo que ocasiona contaminación ambiental debido a una incorrecta eliminación de desechos (Da Silva y Jorge, 2014). En el caso particular de las semillas, se estima que más de un millón de toneladas de estas son descartadas anualmente (Karunanithi *et al.*, 2015).

El propósito de la presente investigación es responder la siguiente pregunta: ¿Existe el sustento necesario que demuestre que las propiedades del aceite de semilla de mango permiten su utilización en diferentes tipos de industria? Se consideró que la metodología de revisión de literatura permitirá responder a esta interrogante, pues esta se define como un escrito que agrupa un compendio de conocimientos relacionados a un tema específico y que tiene como propósito proveer un marco de referencia para justificar la importancia de un estudio (Creswell y Creswell, 2018).

Información sobre el mango, la semilla y el aceite de semilla de mango

El mango es una fruta oriunda de la India y del sudeste asiático (Fowomola, 2010), perteneciente al género *Mangifera* de la familia *Anacardiaceae*. Tal como indican Nzikou *et al.* (2010), la mayoría de los árboles frutales que se conocen comúnmente como mangos pertenecen a la especie *Mangifera indica*. Esta fruta cuenta con un sabor dulce, un aroma resinoso afrutado y puede encontrarse en tonalidades amarilla, naranja, verde y/o rojo (Sikdar *et al.*, 2017). En la actualidad, el mango es una de las frutas más importantes entre las frutas tropicales, pues en el 2018 alcanzó el 52 % de la producción mundial total de esta categoría de frutas que incluye a la piña, al aguacate y a la papaya (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2020).

El mango puede ser consumido como tal o procesado en productos congelados, enlatados, deshidratados o en bebidas listas para servir (Torres-León *et al.*, 2016). Después del consumo o procesamiento industrial de la pulpa del mango, aproximadamente diez millones de toneladas de los demás componentes de esta fruta son descartados como residuo en todo el mundo (Sikdar *et al.*, 2017). La utilización de subproductos de mango, especialmente de la semilla, puede ser una forma económica de reducir el problema de la eliminación de desechos generada por la industria procesadora de esta fruta (Kittiphoom, 2012).

Tabla 1
Constitución del mango (según peso)

Componente	%
Pulpa	45 - 65
Cáscara	12 - 15
Hueso o pepa	10 - 25

Fuente: Karunanithi *et al.*, (2015)

La constitución del mango y el porcentaje en peso de cada componente son indicados en la tabla 1. Se puede observar que el hueso constituye entre un 10 a 25 % del peso total de la fruta en estudio, lo cual se corrobora con las investigaciones de Torres-León *et al.* (2016) y Yadav *et al.* (2017). Ahora bien, en el interior de la pepa se encuentra la semilla del mango. Algunas de sus características físicas más representativas son su color amarillo y sus medidas de 4 a 7 cm de largo, 3 a 4 cm de ancho y 1 cm de espesor (Kittiphoom, 2012). En cuanto a sus características químicas, en la tabla 2 se puede observar que está compuesta principalmente por carbohidratos (58-80 %), grasa o aceite (6-16 %) y proteínas (6-13 %). Respecto a la composición mineral y vitamínica, la semilla de mango contiene potasio, magnesio, fósforo, calcio, sodio y vitaminas A, C y E (Fowomola, 2010; Nzikou *et al.*, 2010).

Tabla 2
Composición de la semilla de mango (en porcentajes)

Componente	Karunanithi <i>et al.</i> (2015)	Torres-León <i>et al.</i> (2016)
Proteína	6,0	6 - 13
Grasa o aceite	11,0	6 - 16
Carbohidratos	77,0	58 - 80

Elaboración propia

Por otro lado, el aceite de semilla de mango (ASM), extraído a través de diversos métodos, y tal como se observa en la tabla 3, cuenta con un índice de yodo de 42,9-52,7 g/100 g aceite, un índice de saponificación de 189,9-190,7 mg KOH, y un punto de fusión de deslizamiento de 35,8-39,1 °C. Cabe mencionar que estas características son similares a las que presenta la grasa de semilla de cacao (Jahurul *et al.*, 2015).

Tabla 3
Propiedades químicas del aceite de semilla de mango

Propiedad química	Torres-León <i>et al.</i> (2016)
Índice de yodo (g/100g aceite)	42,9 – 52,7
Índice de saponificación (mg KOH)	189,9 – 190,7
Punto de fusión de deslizamiento (°C)	35,8 – 39,1

Elaboración propia

Las investigaciones de Kittiphoom y Sutasinee (2013) y Nzikou *et al.* (2010) concuerdan en que la proporción de ácidos grasos insaturados es mayor que la de ácidos grasos saturados y que los principales ácidos grasos presentes en el ASM son el esteárico y el oleico (tabla 4). Debido a la presencia de estos dos ácidos grasos, se puede decir que el aceite de semilla de mango es químicamente más estable que otros aceites vegetales (Yadav *et al.*, 2017).

Tabla 4
Ácidos grasos presentes en el aceite de semilla de mango (en porcentajes)

Ácidos grasos	Kittiphoom y Sutasinee (2013)	Nzikou <i>et al.</i> (2010)
Saturados	46,34	44,42
esteárico	37,37	37,94
palmítico	8,97	6,48
Insaturados	51,34	55,58
oleico	43,77	45,76
linoleico	6,78	7,45
linolénico	0,79	2,37

Elaboración propia

La investigación de Karunanithi *et al.* (2015) precisa que el ASM es nutritivo, comestible y puede sustituir cualquier aceite sin efectos adversos. Ello lo corroboran Yadav *et al.* (2017) que sostienen que el índice de acidez del aceite en estudio (4,77 mg NaOH/g) es un indicador de ser comestible e idóneo para su uso en la industria cosmética por su gran cantidad de materia insaponificable. Por otro lado, los bajos valores en ácidos grasos libres y peróxido presentes en el ASM son indicadores de su calidad y su posible uso directo en las industrias sin necesidad de pasar por un proceso de neutralización (Kittiphoom, 2012).

Métodos de extracción de aceite

Los métodos de extracción que se utilizan en la actualidad para la extracción de aceite a partir de semillas oleaginosas son los que se muestran en la figura 1.

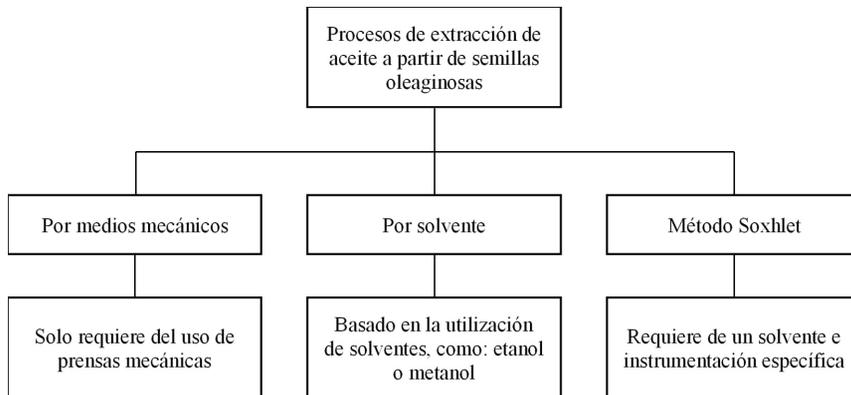


Figura 1. Procesos de extracción de aceite a partir de semillas oleaginosas
Elaboración propia

A continuación, se explica brevemente la operación de cada uno de estos métodos.

- Proceso por medios mecánicos

También conocido como el “método tradicional”, es una técnica primitiva y simple que requiere el uso de prensas mecánicas que aplican presión sobre la masa de semillas a fin de obtener la mayor cantidad de aceite. El proceso empieza con el lavado de las semillas, luego continúa con la molienda, después con el prensado, de donde se obtienen dos productos: el aceite y la torta de semillas. Finalmente, se realiza un filtrado y tamizado de ambos productos (Tabio *et al.*, 2017).

- Proceso por solvente

Método que consiste en la utilización de un solvente que permite la extracción del aceite de semillas oleaginosas. Es similar al proceso por medios mecánicos, con la salvedad de que las semillas son sometidas a duchas de solvente que arrastran el aceite a contracorriente, lo que permite extraerlo. Asimismo, se obtiene un subproducto llamado miscela, mezcla de aceite con solvente, que se somete a un proceso de filtrado y destilado para separar totalmente esta mezcla y recuperar la mayor cantidad de aceite (Sikdar *et al.*, 2017). A continuación, en la tabla 5 se muestran los rendimientos obtenidos al utilizar este método con solventes distintos. Como se aprecia, el solvente n-hexano (15,2 %) presenta un rendimiento ligeramente más alto que el metanol (13,3 %).

Tabla 5
 Proceso por solvente: Solvente utilizado y rendimiento obtenido

	<i>Nzikou et al., 2010</i>	<i>Yadav et al., 2017</i>
Solvente utilizado	metanol	n-hexano
Rendimiento obtenido (%)	13,3	15,2

Elaboración propia

- **Método Soxhlet**

Es también un método por solvente pero que requiere de instrumentación específica. Está considerado como el método que genera el mayor rendimiento en la obtención de aceite por la recirculación del solvente que permite el aparato Soxhlet (*Nzikou et al., 2010*). Este conjunto instrumental comprende un matraz de fondo redondo, un extractor, un condensador, un calentador y un reciclador de agua (*Sikdar et al., 2017*).

Este proceso consiste en: primero, calentar el solvente líquido ubicado en el matraz; segundo, condensar la fase gaseosa del solvente; y tercero, precipitar las gotas de solvente condensado sobre el recipiente que contiene la masa de semillas de la cual se quiere extraer el aceite. Una vez lleno el recipiente, la mezcla solvente-aceite cae por gravedad nuevamente al matraz. Durante todo el proceso solo el solvente se irá evaporando, pero no el aceite que se irá obteniendo (*Tabio et al., 2017*).

Antecedentes

No se han encontrado revisiones de literatura recientes sobre este tema en particular; sin embargo, existen diversas investigaciones que se han desarrollado a través de los años que confirman el gran potencial que tiene la semilla de mango para su utilización en diversas industrias, tales como la cosmética, la farmacéutica, la alimentaria, entre otras (*Jahurul et al., 2014; Kittiphoom, 2012*). Por otro lado, *Do Nascimento et al. (2019)* indican que el proceso de extracción de aceite a partir de semillas de mango no ha sido explorado en la medida deseada debido al conocimiento limitado de las propiedades de la semilla de mango y las tecnologías de procesamiento adecuadas.

2. METODOLOGÍA

Para la realización de la presente investigación sobre el aprovechamiento de la semilla de mango para la extracción de aceite y sus potenciales aplicaciones en diversas industrias se utilizó como método la revisión de literatura.

Las preguntas que guiaron el presente estudio fueron las siguientes: ¿existen investigaciones que identifiquen y sustenten las propiedades de la semilla del mango? y ¿existen investigaciones que identifiquen y sustenten las diferentes aplicaciones que puede tener el aceite de semilla de mango en la industria?

Criterios de búsqueda, inclusión / exclusión y selección de documentos

Se exploraron 20 artículos académicos en inglés y español extraídos de las bases de datos Scopus, Web of Science, Proquest y EBSCO. Para la búsqueda se utilizaron los conectores AND / OR y se tomaron en cuenta el título, resumen y palabras clave. El alcance geográfico de las referencias abarcó los continentes de Asia, África, América y Europa. Los criterios de selección utilizados fueron los siguientes:

- Artículos publicados en revistas indexadas y a texto completo
- Año de publicación con antigüedad no mayor a 10 años.
- Comprobación cuantitativa y/o cualitativa
- Referencias utilizadas
- No se incluyen investigaciones sobre las propiedades y utilización de la pulpa o de la cáscara del mango, solo se toman en cuenta las referidas a la semilla del mango.

En la tabla 6 se muestra un resumen de los artículos explorados y clasificados según la aplicación a la que corresponden. En el anexo, se encuentra la tabla completa donde se presenta cada investigación considerada y su respectiva clasificación.

Tabla 6
Relación de artículos agrupados por aplicación

Aplicación	Conteo
A. Compuestos antimicrobianos para las industrias alimentaria y farmacéutica	8
B. Antioxidante natural para la industria alimentaria	7
C. Sustituto de la manteca de cacao	4
D. Cosmética	4
E. Producción de biodiesel	3

Elaboración propia

3. RESULTADOS - APLICACIONES DEL ASM EN LA INDUSTRIA

A. Compuestos antimicrobianos para las industrias alimentaria y farmacéutica

En la actualidad, existe una fuerte tendencia respecto a la producción de compuestos antimicrobianos que pueden beneficiar a distintas industrias, entre las cuales las más relevantes son la alimentaria y la farmacéutica, debido a que estos sectores manejan productos perecibles y pueden ser atacados por bacterias. Debido a ello, se han publicado diversas investigaciones que señalan el potencial que tiene el ASM para esta aplicación.

- Awad El-Gied, A., Abdelkareem, A., y Hamedelniei, E. (2015). Investigation of Cream and Ointment on Antimicrobial Activity of *Mangifera indica* Extract.

Este artículo muestra que el ASM tiene un alto potencial como agente antimicrobiano cuando se formula como pomadas y cremas de uso tópico y podría, por tanto, explicar los éxitos que se alegan en el uso popular de la planta en el tratamiento de afecciones cutáneas comunes. Se prepararon diferentes lotes de formulación, entre los cuales la formulación de pomada (FO3) mostró la mayor zona de inhibición contra el *S. aureus*, *C. albicans*, *E. coli* y *M. smegmatis*. Las formulaciones denominadas FCn (cremas) obtuvieron una zona de inhibición menor en comparación con las FOn (pomadas). Las formulaciones mostraron propiedades físicas aceptables y, por tanto, compatibles con la piel. Además, superaron la estabilidad a corto plazo, lo que indica la estabilidad física y química del producto. Por lo tanto, las formulaciones fueron portadores seguros y eficientes, con una potente actividad antimicrobiana.

- Sathi Reddy, K., Yahya Khan, M., Archana, K., Gopal Reddy, M., y Hameeda, B. (2016). Utilization of Mango Kernel Oil for the Rhamnolipid Production by *Pseudomonas aeruginosa* DR1 towards its Application as Biocontrol Agent.

En este caso se estudiaron el ASM y los ácidos grasos sintéticos (ácido palmítico, esteárico y oleico) para su uso como sustratos para la producción de ramnolípidos. Los resultados revelaron que el ASM es una fuente de carbono eficaz para la producción de ramnolípidos. Por lo cual, el ASM puede ser una potencial fuente de carbono renovable para la producción de biosurfactantes de ramnolípidos utilizando *Paeruginosa* DR1, y podría representar una alternativa ecológica a productos agroquímicos nocivos.

- Kim, H., Banerjee, N., Barnes, R. C., Pfent, C. M., Talcott, S. T., Dashwood, R. H., y Mertens-Talcott, S. U. (2016). Mango Polyphenolics Reduce Inflammation in Intestinal Colitis-Involvement of the miR-126/PI3K/AKT/mTOR Axis *in vitro* and *in vivo*.

Este artículo trata de dilucidar los mecanismos subyacentes del efecto anti-inflamatorio de los polifenoles del ASM en células CCD-18Co tratadas con lipopolisacáridos (LPS). Los resultados obtenidos sugieren que los polifenoles del ASM atenúan la respuesta inflamatoria tanto *in vitro* como *in vivo*; y por tanto, los polifenoles del mango podrían ser relevantes como agentes preventivos en la colitis ulcerosa.

- Rodríguez, E., Salangad, O., Almeda, R., Reyes, C., y Salamez, K. (2019). Fatty Acid and Unsaponifiable Composition of Ten Philippine Food Plant Oils for Possible Nutraceutical and Cosmeceutical Applications.

Como parte del esfuerzo por maximizar la utilidad de plantas fácilmente disponibles e infrautilizadas en la agricultura, así como la de sus semillas, se investigó la composición de ácidos grasos e insaponificables de varios vegetales alimentarios. Los resultados mostraron que el aceite de almendra de aguacate contiene la fracción insaponificable más alta (72,63 %), seguido por el ASM (53,63 - 59,29 %). Al analizar la composición de la fracción insaponificable, el ASM presentó el mayor contenido en fitoesteroles. Los fitoesteroles poseen propiedades antitumorales, reductoras del colesterol, antioxidantes, antiinflamatorias y antibacterianas. Este estudio es novedoso por el análisis de las composiciones insaponificables y de ácidos grasos de diez aceites de plantas alimenticias de Filipinas y la comparación de los aceites mediante el análisis multidiscriminante. Los resultados indican que los diez materiales vegetales pueden ser fuentes de ingredientes funcionales e innovadores que pueden utilizarse para aplicaciones nutraceuticas y cosmeceuticas.

- Torres-León, C., Rojas, R., Contreras-Esquivel, J. C., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R. E., y Aguilar, C. N. (2016). Mango Seed: Functional and Nutritional Properties.

Esta investigación indica que el ASM cuenta con una excelente capacidad antimicrobiana y antidiarreica debido a su composición rica en antioxidantes y taninos. Asimismo, se señala que la materia prima a partir de la cual se obtiene el ASM, es un residuo biológico con un alto contenido de compuestos bioactivos (compuestos fenólicos, carotenoides, vitamina C y fibra dietética), los cuales mejoran la salud humana.

B. Antioxidante natural para la industria alimentaria

La calidad de las grasas y los aceites se deteriora principalmente por la autooxidación, que conduce a la pérdida de ácidos grasos esenciales y vitaminas, y genera efectos negativos en los alimentos (Turner *et al.*, 2006). La autooxidación conduce a la generación

de productos de oxidación tóxicos, que han sido implicados en el daño biológico de los tejidos y en el riesgo elevado de enfermedades cardiovasculares (Totani *et al.*, 2008). Los antioxidantes son sustancias químicamente activas que pueden inhibir la autooxidación en grasas y aceites. La creciente preocupación por la toxicidad de los antioxidantes sintéticos ha llevado a explorar el potencial de los antioxidantes naturales para la estabilización de grasas y aceites.

- Nadeem, M., Imran, M., Iqbal, Z., Abbas, N., y Mahmud, A. (2016). Enhancement of the Oxidative Stability of Butter Oil by Blending with Mango (*Mangifera indica* L.) Kernel Oil in Ambient and Accelerated Oxidation.

La mezcla de manteca con ASM en todos los niveles mejoró significativamente la estabilidad oxidativa en ambientes de oxidación acelerada. El aceite de manteca complementado con ASM produjo una menor concentración de productos de oxidación primarios y secundarios con cambios menos pronunciados en la composición de ácidos grasos respecto al control. Estos resultados sugieren que la estabilidad de almacenamiento de manteca puede mejorarse mezclándola con ASM.

- Maryam Adilah, Z., Jamilah, B., y Nur Hanani, Z. (2018). Functional and Antioxidant Properties of Protein-Based Films Incorporated with Mango Kernel Extract for Active Packaging.

Esta investigación se centra en el desarrollo de envases activos mediante el uso de subproductos de la industria alimentaria. Se utilizó la proteína de soja (PS) y la gelatina de pescado (GP) como fuentes de biopolímeros y se añadieron diferentes concentraciones de ASM (del 1 al 5 %) como antioxidantes naturales, para evaluar las propiedades físicas, mecánicas y antioxidantes de las películas de PS y GP.

La incorporación de ASM en las películas de PS y GP aumentó significativamente el espesor, la resistencia a la tracción y la actividad antioxidante. En cambio, el ASM redujo la solubilidad en agua y el alargamiento a la rotura. Las películas GP mostraron un mayor grosor, resistencia a la tracción y transparencia. Sin embargo, la película de PS mostró una mejor actividad antioxidante que la película de GP. Tanto las películas de GP como las de PS incorporadas con ASM mostraron un gran potencial para ser desarrolladas como películas antioxidantes.

- Torres-León, C., Ramírez-Guzmán, N., Ascacio-Valdés, J., Serna-Cock, L., dos Santos Correia, M. T., Contreras-Esquivel, J. C., y Aguilar, C. N. (2019). Solid-State Fermentation with *Aspergillus niger* to Enhance the Phenolic Contents and Antioxidative Activity of Mexican Mango Seed: A Promising Source of Natural Antioxidants.

Este estudio examina los cambios en los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante del ASM con el hongo *Aspergillus niger* GH1. La fermentación en estado sólido (FES) tiene un gran potencial para la obtención de compuestos bioactivos, ya que los microorganismos como los hongos producen naturalmente enzimas que degradan la pared celular, generando una hidrólisis y movilización de compuestos hacia el solvente de extracción. Este proceso biotecnológico es económico y fácil de aplicar, ya que requiere un equipo pequeño, un capital menor y unos costos operativos reducidos (Letti *et al.*, 2017). La FES con el hongo *Aspergillus niger* GH1 resulta un método eficaz que aumenta significativamente el contenido de polifenoles en la semilla de mango Ataúlfo. El proceso de fermentación liberó los compuestos fenólicos que estaban unidos a la matriz vegetal, lo que se refleja en un aumento del contenido de fenoles libres. La fracción fenólica libre de la semilla de mango fermentada presentó una mayor actividad antioxidante que la semilla de mango sin fermentar. Ello se debe al alto contenido de compuestos polifenólicos, principalmente galotaninos. Los extractos (aceite) de semillas de mango fermentadas son especialmente prometedores como ingredientes funcionales para la industria alimentaria.

- Mwaurah, P. W., Kumar, S., Kumar, N., Panghal, A., Attkan, A. K., Singh, V. K., y Garg, M. K. (2020). Physicochemical Characteristics, Bioactive Compounds and Industrial Applications of Mango Kernel and its Products: A Review.

El análisis de la composición nutricional de la semilla de mango determina que es rica en proteínas (aminoácidos esenciales como la leucina, la valina, la isoleucina y la lisina, en diferentes proporciones en base al peso seco), minerales (calcio, magnesio y potasio), vitaminas (provitamina A, vitaminas E, K, C y otras como B1, B2, B6 y B12 en menores proporciones), carbohidratos, lípidos y fitoquímicos. Por otro lado, el ASM tiene componentes bioactivos importantes, como compuestos antioxidantes, compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides de uso en la industria) y taninos; lo cual hace viable su mezcla con otros productos de origen vegetal o animal para la fabricación de alimentos.

- Torres-León, C., Rojas, R., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R., y Aguilar, C. N. (2017). Extraction of Antioxidants from Mango Seed Kernel: Optimization Assisted by Microwave.

La semilla del mango es una fuente potencial de compuestos funcionales. Tiene un alto contenido de compuestos bioactivos (ácidos fenólicos, flavonoides, galotaninos y elagitaninos) que mejoran la salud humana (Dorta *et al.*, 2014; Ribeiro y Schieber, 2010). Esta característica es particularmente relevante ante el aumento de demanda de productos naturales y el incremento de los efectos nocivos para la salud de los antioxidantes sintéticos (Lorenzo *et al.*, 2013). En

2008, el extracto de etanol de la semilla de mango fue catalogado como uno de los cuatro extractos alimentarios con mayor capacidad antioxidante, en comparación con el ácido L-ascórbico (Saito *et al.*, 2008).

Para recuperar los compuestos bioactivos de los subproductos agroindustriales, deben considerarse los factores de control que afectan significativamente a la separación. Los métodos de extracción en los que se utilizan altas temperaturas reportan efectos negativos en la actividad antioxidante de los extractos de las semillas de mango. Para obtener extractos con alta actividad biológica, se propone la extracción asistida por microondas (EAM). La EAM presenta amplias ventajas en comparación con las técnicas de extracción convencionales, ya que ofrece mayores recuperaciones, menor tiempo de operación y permite el uso de una menor cantidad de disolvente, además de preservar la actividad antioxidante. Actualmente, la EAM es útil a escala industrial y ha despertado especial interés porque aumenta la viabilidad de los procesos y garantiza una mayor calidad del bioproducto (Cirimina *et al.*, 2016).

Entre los factores de extracción, el método PBD (Plackett-Burman Design) determina la relación sólido-líquido, la temperatura y el ciclo de extracción como los factores significativos que influyen en la extracción de compuestos con alta actividad antioxidante. En estas condiciones, los extractos mostraron una elevada actividad antioxidante, contenido fenólico y actividad de barrido de radicales.

- Azeem, M., Nadeem, M., y Sajid, R. (2015). Analytical Characterization of Pure and Blended Watermelon (*Citrullus lanatus*) Oil: Impact of Blending on Oxidative Stability.

Este artículo presenta, de modo experimental, la utilización del ASM como agente a través del cual puede reducirse la presencia de ácidos grasos libres de las mezclas de aceite de sandía y ASM. Los ácidos grasos libres del aceite de sandía, que eran del 1,38 %, se redujeron al 0,82 % cuando se añadió un 40 % de ASM en el aceite de sandía. El índice de yodo de todas las mezclas disminuyó a raíz de la adición de ASM. El color y el valor de saponificación de las mezclas no fueron diferentes de los aceites de base, sin embargo, los índices de refracción e insaponificación fueron estadísticamente diferentes de los aceites de base. La mayor cantidad de materia insaponificable en el ASM estaba relacionada con los hidrocarburos, los esteroides, los fenoles, los carotenoides y los tocoferoles.

El ASM es superior a otros aceites en cuanto a una mayor estabilidad oxidativa, lo que puede explicarse por el mayor número de ácidos grasos monoinsaturados y compuestos fenólicos, que pueden actuar como inhibidores del mecanismo de los radicales libres. La caracterización del ASM reveló que los ácidos grasos principales eran el oleico y el esteárico.

C. Sustituto de la manteca de cacao

La manteca de cacao (MC) se obtiene de la semilla de la fruta del mismo nombre. Salminen *et al.* (2020) precisan en su investigación que los ácidos grasos que constituyen principalmente a la MC son el ácido palmítico ($C_{16:0}$, 25-27 %), el ácido esteárico ($C_{18:0}$, 33-38 %), el ácido oleico ($C_{18:1}$, 33-36 %) y el ácido linoleico ($C_{18:2}$, 2-4 %). Además, cabe mencionar que el precio de la MC es de los más altos entre las grasas comerciales debido a su baja disponibilidad y alta demanda por parte de las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética (Kittiphoom, 2012). Por ende, en la actualidad, existe una búsqueda activa de sustitutos de esta grasa que se ve reflejada en diversos artículos científicos que plantean diversos reemplazantes para la MC, entre los cuales se encuentra el ASM. A continuación, se exponen los principales aportes de tres artículos representativos seleccionados sobre la base de los criterios expuestos en el inciso correspondiente a la metodología de este artículo.

- Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Nik Norulaini, N. A., Sahena, F., Kamaruzzaman, B. Y., Ghafoor, K., y Omar, A. K. M. (2014). Cocoa Butter Replacers from Blends of Mango Seed Fat Extracted by Supercritical Carbon Dioxide and Palm Stearin.

En este artículo se indica que es posible crear sustitutos de la MC a partir de la mezcla de ASM con estearina de palma (EP) en distintas proporciones. Los resultados se sustentan en los valores obtenidos de las propiedades fisicoquímicas que se presentan en la tabla 7. Como se observa, los valores del índice de yodo de las distintas mezclas están por encima del valor de la MC. Ello indica que la MC cuenta con una mayor dureza. Por otro lado, el punto de fusión de deslizamiento de las mezclas está relacionado directamente con el contenido de EP y los valores obtenidos son mayores que los de la MC, lo cual quiere decir que las mezclas soportan una mayor temperatura antes de comenzar a derretirse. Finalmente, en cuanto al índice de saponificación, la diferencia entre las mezclas y la MC resulta ser mínima (~1 %). En conclusión, la mezcla de ASM y EP en la correcta proporción representa un sustituto factible de la MC.

Tabla 7
Propiedades de mezclas Aceite de semilla de mango (ASM) / Estearina de Palma (EP)

Propiedad	Mezcla (ASM/EP)				Manteca de cacao (MC)
	90/10	85/15	80/20	75/25	
Índice de yodo (g I ₂ / 100g grasa)	42,4 ± 0,7	42,2 ± 0,4	41,9 ± 0,8	41,8 ± 1,0	34,0 ± 0,47 a
Punto de fusión de deslizamiento (°C)	37,7 ± 0,2	38,4 ± 0,4	39,2 ± 0,3	39,9 ± 0,1	27,8 ± 0,0 a

(continúa)

(continuación)

Índice de saponificación (mg KOH / g grasa)	195,7 ± 1,0	195,7 ± 0,3	195,8 ± 0,5	195,9 ± 0,1	190,7 ± 1,13 a
---	-------------	-------------	-------------	-------------	----------------

Fuente: Jahurul *et al.* (2014). ^aSonwai *et al.* (2014)

- Jin, J., Warda, P., Qi, C., Sun, C., Jie, L., Xie, D., Huang, J., Jin, Q., y Wang, X. (2016). Mango Kernel Fat-Based Chocolate Fat with Heat Resistant Triacylglycerols: Production Via Blending Using Mango Kernel Fat Mid-Fraction and Palm Mid-Fractions Produced in Different Fractionation Paths.

A diferencia de la investigación anterior de Jahurul *et al.* (2014), esta se basa en la formulación de mezclas enriquecidas con triacilglicerolos resistentes al calor (TRC) de ASM fraccionado (ASMf) y aceite de palma fraccionado (APf) (ver figura 2) que puedan sustituir a la MC y que puedan tener una mayor resistencia al calor.

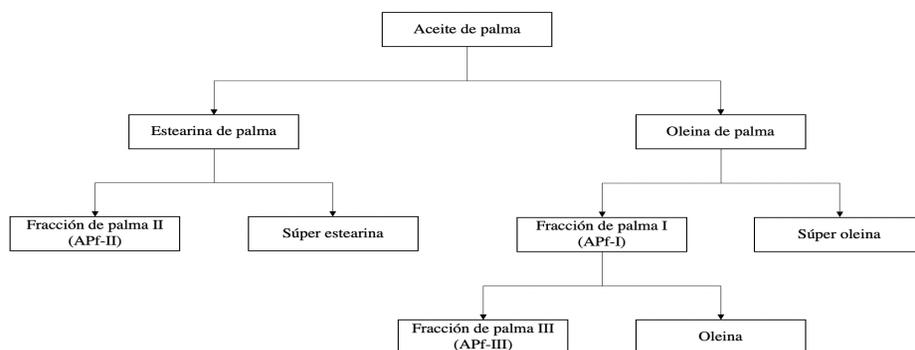


Figura 2. Productos del fraccionamiento por múltiples etapas del aceite de palma

Fuente: Jin *et al.* (2016)

En la tabla 8 se observa que el índice de yodo se incrementa con una mayor proporción de APf-I o APf-II en las respectivas mezclas, mientras que con aquellas mezclas que contienen APf-III sucede lo contrario. En cuanto al punto de fusión de deslizamiento, las mezclas ASMf/APf de proporción 90/10 respectivamente, indican una mejor resistencia al calor en comparación con la MC. Finalmente, los valores del contenido de grasa sólida a 20 °C obtenidos indican que las mezclas ASMf/APf de proporción 90/10 respectivamente, también resultan ser las mejores en comparación con las demás mezclas y a la MC. En conclusión, es factible decir que las mezclas con ratio 90:10, de ASMf/APf

respectivamente, demuestran tener mejores propiedades en comparación con la MC y, por ende, pueden sustituirla.

Tabla 8
Propiedades de mezclas ASMf/APf

Mezcla (ASMf/APf)	Índice de yodo (g I ₂ / 100g grasa)	Punto de fusión de deslizamiento (°C)	Contenido de grasa sólida a 20 °C (%)
ASMf/APf-I 90/10	35,0 ± 1,3	26,1 ± 0,3	~ 84,0
ASMf/APf-I 80/20	35,8 ± 2,1	25,9 ± 0,5	~ 75,0
ASMf/APf-I 70/30	36,2 ± 2,1	25,1 ± 0,9	~ 67,0
ASMf/APf-II 90/10	34,3 ± 1,3	29,3 ± 0,5	~ 84,5
ASMf/APf-II 80/20	34,9 ± 1,0	28,7 ± 0,9	~ 77,5
ASMf/APf-II 70/30	35,5 ± 0,2	28,1 ± 1,1	~ 68,0
ASMf/APf-III 90/10	33,2 ± 0,6	29,9 ± 0,3	~ 86,0
ASMf/APf-III 80/20	32,6 ± 1,4	28,9 ± 1,0	~ 82,5
ASMf/APf-III 70/30	32,0 ± 0,1	27,7 ± 0,8	~ 79,0
Manteca de cacao (MC)	34,0 ± 0,47 a	25,3 – 26,1	~ 70,0

Fuente: Jin *et al.* (2016). ^aSonwai *et al.* (2014)

- Jin, J., Mu, H., Wang, Y., Pembe, W., Liu, Y., Huang, J., Jin, Q., y Wang, X. (2016). Production of High-Melting Symmetrical Monounsaturated Triacylglycerol-Rich Fats from Mango Kernel Fat by Acetone Fractionation.

Esta investigación se basa en la formulación de mezclas de ASMf-II con MC, a fin de determinar si la GSMf-II puede optimizar las propiedades térmicas de la MC. Primero, se realiza un estudio de las fracciones del ASM obtenidas del proceso de fraccionamiento de 3 etapas (ver figura 3). Luego de analizar diversas propiedades, tales como la composición de triacilgliceroles, índice de yodo, punto de fusión de deslizamiento, propiedades de fusión y cristalización, entre otras, se concluye que la fracción II resulta ser la mejor en comparación con las demás.

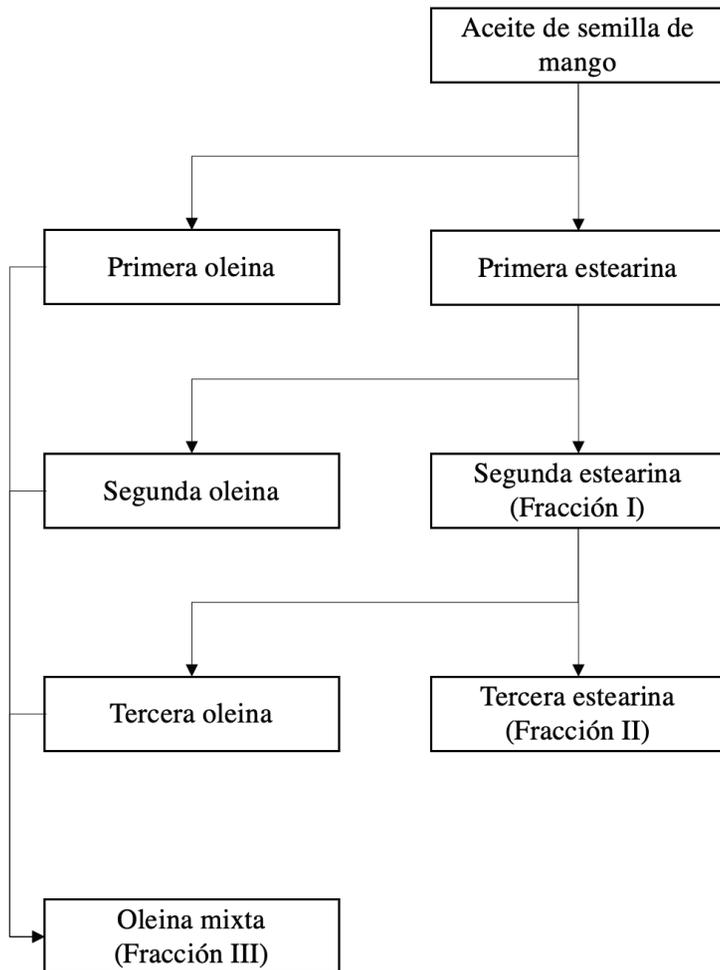


Figura 3. Productos del fraccionamiento por múltiples etapas del ASM

Fuente: Jin *et al.* (2016)

Después, se procede con la formulación de las mezclas de ASMf-II con MC en proporciones 15/85, 30/70 y 45/55, respectivamente. Como se observa en las tablas 9 y 10, las propiedades térmicas de las mezclas que constan de 30-45 % de ASMf-II y 55-70 % de MC presentan mejores propiedades que la MC. Por lo tanto, se concluye que la fracción II del ASM es adecuada para la elaboración de productos de confitería resistentes al calor.

Tabla 9
Propiedad de fusión de las mezclas ASMf-II/MC

	Temperatura de inicio (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura de compensación (°C)	Entalpía (J/g)
ASMf-II/MC 15/85	17,0 ± 0,1	21,9 ± 0,6	29,3 ± 1,1	75,1 ± 1,2
ASMf-II/MC 30/70	18,6 ± 0,3	22,7 ± 0,2	31,8 ± 0,6	76,9 ± 0,9
ASMf-II/MC 45/55	18,2 ± 0,2	23,4 ± 0,6	35,5 ± 0,3	78,1 ± 1,2
Manteca de cacao (MC)	12,0 ± 1,4	22,3 ± 0,4	27,8 ± 1,1	75,0 ± 1,4

Fuente: Jin *et al.* (2016)

Tabla 10
Propiedad de cristalización de las mezclas ASMf-II/MC

	Temperatura de inicio (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura de compensación (°C)	Entalpía (J/g)
ASMf-II/MC 15/85	18,9 ± 0,3	15,5 ± 0,7	-15,1 ± 0,6	71,3 ± 1,2
ASMf-II/MC 30/70	19,4 ± 0,6	16,2 ± 0,2	-14,1 ± 0,3	74,9 ± 1,6
ASMf-II/MC 45/55	20,2 ± 0,7	16,9 ± 0,5	-14,3 ± 0,5	75,8 ± 0,3
Manteca de cacao (MC)	17,3 ± 1,0	14,4 ± 0,4	-15,8 ± 0,8	69,1 ± 1,5

Fuente: Jin *et al.* (2016).

D. Cosmética

Kittiphoom (2012) y Rodríguez *et al.* (2019) indican que el ASM cuenta con un gran potencial para ser utilizado como materia prima para la producción de diversos cosméticos, gracias a características como la cantidad de compuestos fenólicos, la cantidad de esteroides, el perfil de ácidos grasos, entre otras, que lo vuelven óptimo para ser un insumo alternativo viable para dicha industria. A continuación, se hace una revisión de dos artículos representativos que señalan la aplicación del aceite en estudio.

- Wu, S., Tokuda, M., Kashiwagi, A., Henmi, A., Okada, Y., Tachibana, S., y Nomura, M. (2015). Evaluation of the Fatty Acid Composition of the Seeds of *Mangifera indica* L. and their Application.

Este estudio tiene como fin analizar la composición del ASM y producir experimentalmente cosméticos a partir de esta materia prima. Se encontró que los principales ácidos grasos presentes en el ASM son los ácidos oleico y esteárico; mientras que los triacilglicérols fueron los lípidos hallados en mayor cantidad (93,9 - 96,6 %). Por otro lado, se produjeron lociones y jabones utilizando el ASM. En cuanto a las lociones, se señala que estas tienen una apariencia líquida viscosa y excelentes capacidades humectantes. Respecto a los jabones, se indica que estos cuentan con un pH similar a los jabones comerciales (~8,7) y alta capacidad detergente. Se concluye que el ASM tiene las propiedades adecuadas para poder producir diversos productos de la industria cosmética.

- Nahar, M. K., Lisa, S. A., Nada, K., y Begum, M. (2017). Characterization of Seed Kernel Oil of Bangladeshi Mango and its Evaluation as Cosmetic Ingredient.

Esta investigación tiene como propósito estudiar el contenido de aflatoxinas en el aceite de semilla de cuatro variedades de mango oriundas de Bangladesh. Las aflatoxinas son potentes carcinógenos y su contenido debe estar limitado según ciertos estándares establecidos. Los resultados indican que la cantidad promedio de aflatoxina B1 presente en estos aceites es de 1,46 ppb y la cantidad total de aflatoxinas es de 5,15 ppb, los cuales están dentro de los parámetros establecidos por el estándar de la Comunidad Europea (2 ppb) y la agencia estadounidense de Administración de Alimentos y Drogas (20 ppb), respectivamente. Por otro lado, estos aceites cumplen también con el parámetro de contenido de metales pesados, pues la cantidad de plomo (0,45 ppm) y arsénico (0,03 ppm) está dentro de lo que establece el Estándar Indio de la Grasa de Semilla de Mango como límites máximos (Pb 5,0 y As 0,5 ppm). Por ende, se concluye que estos aceites estudiados son apropiados para su uso en cosméticos.

E. Producción de biodiesel

En la actualidad, existe una gran preocupación por el cambio climático y los posibles escenarios que se vivirán en unas décadas. Los combustibles fósiles desempeñan un gran rol en este tema, pues son una de las grandes causas del calentamiento global. Debido a ello, existe una necesidad urgente de crear combustibles alternativos que satisfagan la necesidad de energía; por ello, la explotación de la biomasa de diversas fuentes naturales (Kulagin *et al.*, 2020) resulta importante. El ASM cuenta con un gran potencial para ser una alternativa viable de biocombustible, tal como lo demuestran las siguientes tres investigaciones.

- Momoh, O. R., Audu, H. I., y Binta, Z. B. (2014). Investigating the Production of Biodiesel from Alphonso Mango Seed Oil.

Esta investigación tiene como propósito demostrar que el ASM cuenta con las propiedades necesarias para obtener de él un biocombustible que pueda ser una alternativa viable para sustituir al diésel. Tal como se observa en la tabla 11, los valores de las propiedades del biocombustible producido a partir del ASM se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el estándar ASTM D6751. Asimismo, en la investigación se señala que, para obtener el máximo rendimiento de este combustible, los parámetros óptimos son una temperatura de 600 °C, un tiempo de reacción de una hora y una proporción de mezcla de 1:4 de ASM y metanol, respectivamente. Por lo tanto, se concluye que el ASM puede servir como insumo para producir biocombustible, ayudando a reducir la contaminación ambiental.

Tabla 11

Propiedades del biocombustible producido a partir de aceite de semilla de mango (ASM)

Propiedad	Biocombustible a partir de ASM	ASTM D6751 Estándar para biocombustibles
Índice de cetano	76	47 (mínimo)
Densidad (g/cm ³)	0,87	0,86 – 0,90
Punto de inflamabilidad (°C)	146	130 (mínimo)
Viscosidad cinemática (mm ² /s)	3,6	1,9 – 6,0

Fuentes: Momoh *et al.* (2014) y Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels (2020)

- Kumaraswamy, A., y Prasad, B.D. (2015). Performance Evaluation of Compression Ignition Direct Injection Diesel Engine on Dual Fuel Mode with Mango Oil Methyl Ester Biofuel.

El propósito de esta investigación es determinar el desempeño de los ésteres metílicos de aceite de semilla de mango (EMASM) como combustible en un motor diésel. Para ello, se llevaron a cabo diversos experimentos, en condiciones iguales, para conocer las propiedades de los siguientes combustibles: diésel, mezcla de diésel y etanol, mezcla de 20 % EMASM y etanol, y mezcla de 100 % EMASM y etanol. Las propiedades que se compararon fueron la eficiencia térmica, la temperatura de los gases de escape, la cantidad de emisiones de óxidos nitrosos NOx, la cantidad de emisiones de humo, la cantidad de emisiones de hidrocarburos HC, y la cantidad de emisiones de monóxido de carbón CO. Los

resultados indican que los EMASM pueden ser utilizados como biocombustible en motores diésel.

- Ramalingam, S., Kaliyaperumal, A., Govindasamy, M., Ezhumalai, M., y Kumar, C. (2016). Effect of L-ascorbic Acid as Additive for Exhaust Emission Reduction in a Direct Injection Diesel Engine Using Mango Seed Methyl Ester.

Esta investigación tiene como finalidad evaluar el uso de un aditivo basado en el ácido L-ascórbico para reducir la emisión de gases de escape en un motor diésel que utiliza EMASM como biodiésel. Para ello, se realiza una comparativa de las diversas propiedades con las que cuentan el diésel puro, EMASM puro, y cuatro mezclas de distintas proporciones de ácido L-ascórbico y EMASM. Los resultados indican que las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y humo se incrementan a medida que la proporción del aditivo aumenta, pero aun así los valores resultan ser menores que los obtenidos utilizando diésel puro. Asimismo, se señala que el aditivo tiene un gran impacto al reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno debido a que impide la formación de radicales libres. Se concluye que el ASM es una alternativa viable como biodiésel y que puede ser optimizado al utilizar un aditivo basado en ácido L-ascórbico.

4. CONCLUSIONES

La investigación realizada para el presente artículo no encontró revisiones de literatura sobre las aplicaciones del ASM. Sin embargo, se han encontrado diversas investigaciones que confirman el gran potencial que tiene este aceite para su utilización en diversas industrias. Por lo indicado, se consideró apropiado agrupar dichos estudios en las siguientes categorías:

- A. Compuestos antimicrobianos para las industrias alimentaria y farmacéutica
- B. Antioxidante natural para la industria alimentaria
- C. Sustituto de la manteca de cacao
- D. Cosmética
- E. Producción de biodiésel

Los artículos revisados permiten concluir que el ASM:

- Presenta altos niveles de carbohidratos, calcio, potasio, magnesio y vitaminas antioxidantes, lo cual indica que podría utilizarse como fuente alternativa de estos nutrientes a través de diversos productos, como ingredientes alimentarios funcionales, antioxidantes naturales o compuestos antimicrobianos. Lo anterior implica la utilidad de un aprovechamiento de las semillas de mango en lugar de su desecho como residuo.

- Tiene una gran capacidad antiinflamatoria y antifúngica por estar compuesto de polifenoles y ramnolípidos. Asimismo, puede resultar ser un óptimo agente antimicrobiano cuando se formula como ungüento y como cremas de uso tópico.
- Tiene un gran potencial para ser considerado un sustituto de la manteca de cacao, pues cuenta con una constitución y propiedades similares a esta última. Esto ayudaría a las industrias alimentarias a reducir sus costos, ya que la semilla de mango es una materia prima menos costosa.
- Es una alternativa viable para ser utilizado en la industria cosmética, ya que cuenta con un perfil de ácidos grasos óptimo para producir jabones y lociones, entre otros.
- Cuenta con las propiedades adecuadas para ser considerado un biocombustible, pues existe evidencia de que ha sido probado en motores diésel y ha desarrollado un comportamiento adecuado. Por ello, es un posible reemplazante de los combustibles fósiles y puede permitir una indiscutible disminución de la contaminación ambiental.

REFERENCIAS

- Abdalla, A. E., Darwish, S. M., Ayad, E. H., y El-Hamahmy, R. M. (2007). Egyptian Mango By-Product 1. Compositional Quality of Mango Seed Kernel. *Food Chemistry*, 103(4), 1134-1140. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.017>
- Awad El-Gied, A., Abdelkareem, A., y Hamedelnie, E. (2015). Investigation of Cream and Ointment on Antimicrobial Activity of *Mangifera indica* Extract. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 6(2), 53-57. <https://doi.org/10.4103/2231-4040.154530>
- Ayala-Zavala, J., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodríguez, J., Siddiqui, M. W., Dávila-Aviña, J., y González-Aguilar, G. (2011). Agro-Industrial Potential of Exotic Fruit Byproducts as a Source of Food Additives. *Food Research International*, 44(7), 1866-1874. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>
- Azeem, M., Nadeem, M., y Sajid, R. (2015). Analytical Characterization of Pure and Blended Watermelon (*Citrulluslanatus*) Oil: Impact of Blending on Oxidative Stability. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 16(1), 52-58. <http://www.pjaec.pk/index.php/pjaec/article/view/127>
- Cirimina, R., Carnaroglio, D., Delisi, R., Arvati, S., Tamburino, A., y Pagliaro, M. (2016). Industrial Feasibility of Natural Products Extraction with Microwave Technology. *Chem. Select*, 3, 549-555.
- Creswell, J. W., y Creswell, D. J. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5.ª ed.). SAGE Publications, Inc.

- Da Silva, A. C., y Jorge, N. (2014). Bioactive Compounds of the Lipid Fractions of Agro-Industrial Waste. *Food Research International*, 66, 493-500. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.10.025>
- Diarra, S. (2014). Potential of Mango (*Mangifera indica* L.) Seed Kernel as a Feed Ingredient for Poultry: A Review. *World's Poultry Science Journal*, 70(2), 279-288. <https://doi.org/10.1017/s0043933914000294>
- Do Nascimento Marques, N., Suzy do Nascimento Garcia, C., Yeltsin Coutinho Madruga, L., Antônio Villetti, M., de Sá Moreira de Souza Filho, M., Noriyuki Ito, E., y de Carvalho Balaban, R. (2019). Turning Industrial Waste into a Valuable Bioproduct: Starch from Mango Kernel Derivative to Oil Industry Mango Starch Derivative in Oil Industry. *Journal of Renewable Materials*, 7(2), 139-152. <https://doi.org/10.32604/jrm.2019.00040>
- Dorta, E., González, M., Lobo, M. G., Sánchez-Moreno, C., y de Ancos, B. (2014). Screening of Phenolic Compounds in By-Product Extracts from Mangoes (*Mangifera indica* L.) by HPLC-ESI-QTOF-MS and Multivariate Analysis for Use as a Food Ingredient. *Food Research International*, 57, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.012>
- Fowomola, M. A. (2010). Some Nutrients and Antinutrients Contents of Mango (*Magnifera indica*) Seed. *African Journal of Food Science*, 4(8), 472-476. https://www.researchgate.net/publication/228337486_Some_nutrients_and_antinutrients_contents_of_mango_Magnifera_indica_seed
- Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Nik Norulaini, N. A., Sahena, F., Kamaruzzaman, B. Y., Ghafoor, K., y Omar, A. K. M. (2014). Cocoa Butter Replacers from Blends of Mango Seed Fat Extracted by Supercritical Carbon Dioxide and Palm Stearin. *Food Research International*, 65, 401-406. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.039>
- Jahurul, M., Zaidul, I., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F. Y., Nyam, K. L., Norulaini, N., Sahena, F., y Mohd Omar, A. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) By-Products and their Valuable Components: A Review. *Food Chemistry*, 183, 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.046>
- Jin, J., Mu, H., Wang, Y., Pembe, W., Liu, Y., Huang, J., Jin, Q., y Wang, X. (2016). Production of High-Melting Symmetrical Monounsaturated Triacylglycerol-Rich Fats from Mango Kernel Fat by Acetone Fractionation. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(2), 201-213. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2929-z>
- Jin, J., Warda, P., Qi, C., Sun, C., Jie, L., Xie, D., Huang, J., Jin, Q., y Wang, X. (2016). Mango Kernel Fat Based Chocolate Fat with Heat Resistant Triacylglycerols: Production

via Blending Using Mango Kernel Fat Mid-Fraction and Palm Mid-Fractions Produced in Different Fractionation Paths. *RSC Advances*, 6(110), 108981-108988. <https://doi.org/10.1039/c6ra19438a>

- Karunanithi, B., Bogeshwaran, K., Tripuraneni, M., y Krishna Reddy, S. (2015). Extraction of Mango Seed Oil from Mango Kernel. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(11), 32-41. https://www.researchgate.net/publication/342304194_Extraction_of_Mango_Seed_Oil_From_Mango_Kernel
- Kathleen, P. (2010). Mango Fruit Been Found to Prevent or Stop Certain Colon and Breast Cancer Cells in the Lab. *ScienceDaily*, 12, 1. <https://www.sciencedaily.com/releases/2010/01/100111154926.htm>
- Khammuang, S., y Sarnthima, R. (2011). Antioxidant and Antibacterial Activities of Selected Varieties of Thai Mango Seed Extract. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*. 24. 37-42. https://www.researchgate.net/publication/49714252_Antioxidant_and_antibacterial_activities_of_selected_varieties_of_Thai_mango_seed_extract
- Kim, H., Banerjee, N., Barnes, R. C., Pfent, C. M., Talcott, S. T., Dashwood, R. H., y Mertens-Talcott, S. U. (2016). Mango Polyphenolics Reduce Inflammation in Intestinal Colitis-Involvement of the miR-126/PI3K/AKT/mTOR Axis in vitro and in vivo. *Molecular Carcinogenesis*, 56(1), 197-207. <https://doi.org/10.1002/mc.22484>
- Kittiphoom, S. (2012). Utilization of Mango Seed. *International Food Research Journal*, 19(4), 1325-1335. [http://ifrj.upm.edu.my/19%20\(04\)%202012/5%20IFRJ%2019%2004%202012%20Kittiporn%20\(375\).pdf](http://ifrj.upm.edu.my/19%20(04)%202012/5%20IFRJ%2019%2004%202012%20Kittiporn%20(375).pdf)
- Kittiphoom, S., y Sutasinee, S. (2013). Mango Seed Oil and its Physicochemical Properties. *International Food Research Journal*, 20(3), 1145-1149. [http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20\(03\)%202013/15%20IFRJ%2020%20\(03\)%202013%20Kittiphoom%20\(355\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/20%20(03)%202013/15%20IFRJ%2020%20(03)%202013%20Kittiphoom%20(355).pdf)
- Kulagin, V. A., Grushevenko, D. A., y Kapustin, N. O. (2020). Fossil Fuels Markets in the "Energy Transition" Era. *Russian Journal of Economics*, 6(4), 424-436. <https://doi.org/10.32609/j.ruje.6.55177>
- Kumaraswamy, A., y Prasad, B. D. (2015). Performance Evaluation of Compression Ignition Direct Injection Diesel Engine on Dual Fuel Mode with Mango Oil Methyl Ester Biofuel. *Int. J. Vehicle Structures & Systems*, 7(4), 145-148. <https://doi.org/10.4273/ijvss.7.4.05>
- Lorenzo, J., González, R., Sánchez, M., Amado, I., y Franco, D. (2013). Effects of Natural (Grape Seed and Chestnut Extract) and Synthetic Antioxidants

- (Buthylatedhydroxytoluene, BHT) on the Physical, Chemical, Microbiological and Sensory Characteristics of Dry Cured Sausage Chorizo. *Food Res. Int.*, 54, 611-620. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.064>
- Ma, X., Wu, H., Liu, L., Yao, Q., Wang, S., Zhan, R., Xing, S., y Zhou, Y. (2011). Polyphenolic Compounds and Antioxidant Properties in Mango Fruits. *Scientia Horticulturae*, 129(1), 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.015>
- Maryam Adilah, Z., Jamilah, B., y Nur Hanani, Z. (2018). Functional and Antioxidant Properties of Protein-Based Films Incorporated with Mango Kernel Extract for Active Packaging. *Food Hydrocolloids*, 74, 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.017>
- Momoh, O. R., Audu, H. I., y Binta, Z. B. (2014). Investigating the Production of Biodiesel from Alphonso Mango Seed Oil. *Nigerian Journal of Technology*, 33(4), 497-503. <https://doi.org/10.4314/njt.v33i4.10>
- Mwaurah, P. W., Kumar, S., Kumar, N., Panghal, A., Attkan, A. K., Singh, V. K., y Garg, M. K. (2020). Physicochemical Characteristics, Bioactive Compounds and Industrial Applications of Mango Kernel and its Products: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(5), 2421-2446. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12598>
- Nadeem, M., Imran, M., Iqbal, Z., Abbas, N., y Mahmud, A. (2016). Enhancement of the Oxidative Stability of Butter Oil by Blending with Mango (*Mangifera indica* L.) Kernel Oil in Ambient and Accelerated Oxidation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, 1-10. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12957>
- Nahar, M. K., Lisa, S. A., Nada, K., y Begum, M. (2017). Characterization of Seed Kernel Oil of Bangladeshi Mango and its Evaluation as Cosmetic Ingredient. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 52(1), 43-48. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v52i1.32079>
- Nzikou, J., Kimbonguila, A., Matos, L., Loumouamou, B., Pambou-Tobi, N., Ndangui, C., Abena, A., Silou, Th., Scher, J., y Desobry, S. (2010). Extraction and Characteristics of Seed Kernel Oil from Mango (*Mangifera indica*). *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 2(1), 31-35. https://www.researchgate.net/publication/285842805_Extraction_and_Characteristics_of_Seed_Kernel_Oil_from_Mango_Mangifera_indica
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). *Las principales frutas tropicales Análisis del mercado 2018*. <http://www.fao.org/3/ca5692es/CA5692ES.pdf>

- Rajan, S., Suganya, H., Thirunalasundari, T., y Jeeva, S. (2012). Antidiarrhoeal Efficacy of *Mangifera indica* Seed Kernel on Swiss Albino Mice. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 5(8), 630-633. [https://doi.org/10.1016/s1995-7645\(12\)60129-1](https://doi.org/10.1016/s1995-7645(12)60129-1)
- Ramalingam, S., Kaliyaperumal, A., Govindasamy, M., Ezhumalai, M., y Kumar, C. (2016). Effect of L-ascorbic Acid as Additive for Exhaust Emission Reduction in a Direct Injection Diesel Engine Using Mango Seed Methyl Ester. *Thermal Science*, 20(Suppl. 4), 999-1004. <https://doi.org/10.2298/tsci16s4999r>
- Ribeiro, S. M. R., y Schieber, A. (2010). Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera indica* L.). *Bioactive Foods in Promoting Health*, 34, 507-523. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374628-3.00034-7>
- Rodríguez, E., Salangad, O., Almeda, R., Reyes, C., y Salamaney, K. (2019). Fatty Acid and Unsaponifiable Composition of Ten Philippine Food Plant Oils for Possible Nutraceutical and Cosmeceutical Applications. *The Journal "Agriculture and Forestry"*, 65(3), 115-134. <https://doi.org/10.17707/agricultforest.65.3.10>
- Saito, K., Kohno, M., Yoshizaki, F., y Niwano, Y. (2008). Extensive Screening for Edible Herbal Extracts with Potent Scavenging Activity Against Superoxide Anions. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 63, 65-70, <http://dx.doi.org/10.1007/s11130-008-0071-2>.
- Salminen, H., Stübler, A. S., y Weiss, J. (2020). Preparation, Characterization, and Physical Stability of Cocoa Butter and Tristearin Nanoparticles Containing β -Carotene. *European Food Research and Technology*, 246(3), 599-608. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03431-0>
- Sathi Reddy, K., Yahya Khan, M., Archana, K., Gopal Reddy, M., y Hameeda, B. (2016). Utilization of Mango Kernel oil for the Rhamnolipid Production by *Pseudomonas aeruginosa* DR1 Towards its Application as Biocontrol agent. *Bioresource Technology*, 221, 291-299. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.041>
- Sikdar, D., Hegde, S., Swamynathan, V., S, V., y Rakesh, R. (2017). Solvent Extraction of Mango (*Mangifera Indica* L.) Seed Kernel Oil and its Characterization. *International Journal of Technical Research and Applications*, 5(4), 43-47. <https://www.ijtra.com/view/solvent-extraction-of-mango-mangifera-indica-l-seed-kernel-oil-and-its-characterization.pdf>
- Silva, L. M. R. D., Figueiredo, E. A. T. D., Ricardo, N. M. P. S., Vieira, I. G. P., Figueiredo, R. W. D., Brasil, I. M., y Gomes, C. L. (2014). Quantification of Bioactive Compounds in Pulps and By-Products of Tropical Fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 143, 398-404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>
- Soccol, C. R., Costa, E. S. F. D., Letti, L. A. J., Karp, S. G., Woiciechowski, A. L., y Vandenberghe, L. P. D. S. (2017). Recent Developments and Innovations in Solid

- State Fermentation. *Biotechnology Research and Innovation*, 1(1), 52-71. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.01.002>
- Sonwai, S., Kaphueakngam, P., y Flood, A. (2014). Blending of Mango Kernel Fat and Palm Oil Mid-Fraction to Obtain Cocoa Butter Equivalent. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2357-2369. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0808-7>
- Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels (ASTM D6751-20a). (2020, August). ASTM International. <https://www.astm.org/Standards/D6751.htm>
- Tabio García, D., Díaz Domínguez, Y., Rondón Macías, M., Fernández Santana, E., y Piloto-Rodríguez, R. (2017). *Extracción de aceites de origen vegetal*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11047.55201>
- Torres-León, C., Rojas, R., Contreras-Esquivel, J. C., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R. E., y Aguilar, C. N. (2016). Mango Seed: Functional and Nutritional Properties. *Trends in Food Science & Technology*, 55, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.06.009>
- Torres-León, C., Rojas, R., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R., y Aguilar, C. N. (2017). Extraction of Antioxidants from Mango Seed Kernel: Optimization Assisted by Microwave. *Food and Bioproducts Processing*, 105, 188-196. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.07.005>
- Torres-León, C., Ramírez-Guzmán, N., Ascacio-Valdés, J., Serna-Cock, L., dos Santos Correia, M. T., Contreras-Esquivel, J. C., y Aguilar, C. N. (2019). Solid-State Fermentation with *Aspergillus niger* to Enhance the Phenolic Contents and Antioxidative Activity of Mexican Mango Seed: A Promising Source of Natural Antioxidants. *LWT - Food Science and Technology*, 112, 108236. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.06.003>
- Totani, N., Burenjargal, M., Yawata, M., y Ojiri, Y. (2008). Chemical Properties and Cytotoxicity of Thermally Oxidized Oil. *Journal of Oleo Science*, 57(3), 153-160. <https://doi.org/10.5650/jos.57.153>
- Turner, R., McLean, C. H., y Silvers, K. M. (2006). Are the Health Benefits of Fish Oils Limited by Products of Oxidation? *Nutrition Research Reviews*, 19(1), 53-62. <https://doi.org/10.1079/nrr.2006117>
- Vieira, P. A. F., Queiroz, J. H. D., Albino, L. F. T., Moraes, G. H. K. D., Barbosa, A. D. A., Müller, E. S., y Viana, M. T. D. S. (2008). Efeitos da inclusão de farelo do resíduo de manga no desempenho de frangos de corte de 1 a 42 dias. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(12), 2173-2178. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982008001200014>

- Wu, S., Tokuda, M., Kashiwagi, A., Henmi, A., Okada, Y., Tachibana, S., y Nomura, M. (2015). Evaluation of the Fatty Acid Composition of the Seeds of *Mangifera indica* L. and their Application. *Journal of Oleo Science*, 64(5), 479-484. <https://doi.org/10.5650/jos.ess14238>
- Yadav, K., Garg, N., Verma, A., Kumar, S., y Trivedi, M. (2017). Optimization and Extraction of Oil from Mango Seed Kernel (*Mangifera indica*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 87(7), 943-946. https://www.researchgate.net/publication/318661900_Optimization_and_extraction_of_oil_from_mango_seed_kernel_Mangifera_indica

ANEXO

N.º	Año	Autores	Título	A.	B.	C.	D.	E.
1	2012	Kittiphoom, S.	Utilization of Mango Seed.	x	x	x	x	
2	2014	Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Nik Norulaini, N. A., Sahena, F., Kamaruzzaman, B. Y., Ghafoor, K., y Omar, A. K. M.	Cocoa Butter Replacers from Blends of Mango Seed Fat Extracted by Supercritical Carbon Dioxide and Palm Stearin.			x		
3	2014	Momoh, O. R., Audu, H. I., y Binta, Z. B.	Investigating the Production of Biodiesel from Alphonso Mango Seed Oil.					x
4	2015	Awad El-Gied, A., Abdelkareem, A., y Hamedelniei, E.	Investigation of Cream and Ointment on Antimicrobial Activity of <i>Mangifera indica</i> Extract.	x				
5	2015	Azeem, M., Nadeem, M., y Sajid, R.	Analytical Characterization of Pure and Blended Watermelon (<i>Citrulluslanatus</i>) Oil: Impact of Blending on Oxidative Stability.		x			
6	2015	Kumaraswamy, A., y Prasad, B.D.	Performance Evaluation of Compression Ignition Direct Injection Diesel Engine on Dual Fuel Mode with Mango Oil Methyl Ester Biofuel.					x
7	2015	Wu, S., Tokuda, M., Kashiwagi, A., Henmi, A., Okada, Y., Tachibana, S., y Nomura, M.	Evaluation of the Fatty Acid Composition of the Seeds of <i>Mangifera indica</i> L. and their Application.				x	
8	2016	Jin, J., Mu, H., Wang, Y., Pembe, W., Liu, Y., Huang, J., Jin, Q., y Wang, X.	Production of High-Melting Symmetrical Monounsaturated Triacylglycerol-Rich Fats from Mango Kernel Fat by Acetone Fractionation.	x		x		
9	2016	Jin, J., Warda, P., Qi, C., Sun, C., Jie, L., Xie, D., Huang, J., Jin, Q., y Wang, X.	Mango Kernel Fat Based Chocolate Fat with Heat Resistant Triacylglycerols: Production via Blending Using Mango Kernel Fat Mid-Fraction and Palm Mid-Fractions Produced in Different Fractionation Paths.			x		

(continúa)

(continuación)

10	2016	Ramalingam, S., Kaliyaperumal, A., Govindasamy, M., Ezhumalai, M., y Kumar, C.	Effect of L-ascorbic Acid as Additive for Exhaust Emission Reduction in a Direct Injection Diesel Engine Using Mango Seed Methyl Ester.			x
11	2016	Sathi Reddy, K., Yahya Khan, M., Archana, K., Gopal Reddy, M., y Hameeda, B.	Utilization of Mango Kernel oil for the Rhamnolipid Production by <i>Pseudomonas aeruginosa</i> DR1 Towards its Application as Biocontrol agent.	x		
12	2016	Torres-León, C., Rojas, R., Contreras-Esquivel, J. C., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R. E., y Aguilar, C. N.	Mango Seed: Functional and Nutritional Properties.	x	x	
13	2017	Kim, H., Banerjee, N., Barnes, R. C., Pfent, C. M., Talcott, S. T., Dashwood, R. H., y Mertens-Talcott, S. U.	Mango Polyphenolics Reduce Inflammation in Intestinal Colitis-Involvement of the miR-126/PI3K/AKT/mTOR Axis in vitro and in vivo.	x		
14	2017	Nadeem, M., Imran, M., Iqbal, Z., Abbas, N., y Mahmud, A.	Enhancement of the Oxidative Stability of Butter Oil by Blending with Mango (<i>Mangifera indica</i> L.) Kernel Oil in Ambient and Accelerated Oxidation.		x	
15	2017	Nahar, M. K., Lisa, S. A., Nada, K., y Begum, M.	Characterization of Seed Kernel Oil of Bangladeshi Mango and its Evaluation as Cosmetic Ingredient.			x
16	2017	Torres-León, C., Rojas, R., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R., y Aguilar, C. N.	Extraction of Antioxidants from Mango Seed Kernel: Optimization Assisted by Microwave.		x	
17	2018	Maryam Adilah, J., Jamilah, B., y Nur Hanani, Z.	Functional and Antioxidant Properties of Protein-Based Films Incorporated with Mango Kernel Extract for Active Packaging.	x		

(continúa)

(continuación)

18	2019	Rodríguez, E., Salangad, O., Almeda, R., Reyes, C., y Salamanez, K.	Fatty Acid and Unsaponifiable Composition of Ten Philippine Food Plant Oils for Possible Nutraceutical and Cosmeceutical Applications.	x			x	
19	2019	Torres-León, C., Ramírez-Guzmán, N., Ascacio-Valdés, J., Serna-Cock, L., dos Santos Correia, M. T., Contreras-Esquivel, J. C., y Aguilar, C. N.	Solid-State Fermentation with <i>Aspergillus niger</i> to Enhance the Phenolic Contents and Antioxidative Activity of Mexican Mango Seed: A Promising Source of Natural Antioxidants.		x			
20	2020	Mwaurah, P. W., Kumar, S., Kumar, N., Panghal, A., Attkan, A. K., Singh, V. K., y Garg, M. K.	Physicochemical Characteristics, Bioactive Compounds and Industrial Applications of Mango Kernel and its Products: A Review.		x			
TOTAL				8	7	4	4	3

Nota. A: Compuestos antimicrobianos para las industrias alimentaria y farmacéutica; B.: Antioxidante natural para la industria alimentaria; C.: Sustituto de la manteca de cacao; D.: Cosmética; E.: Producción de biodiesel.

AUTORES

COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE MODELOS TEÓRICOS DE INVENTARIOS INDIVIDUALES Y MULTIPRODUCTO EN UNA PYME DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS DE CONSUMO MASIVO A NIVEL REGIONAL

JULIÁN ALONSO GARZÓN QUIROGA

Ingeniero industrial y magister en Gestión Industrial con énfasis en operaciones y logística por la Universidad de Ibagué (Colombia), especialista en Gestión de Proyectos del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, instructor investigador de logística del Centro de Comercio y Servicios SENA Regional Tolima. Sus principales publicaciones se enmarcan en el área de operaciones y logística, entre ellas: *Diseño de buenas prácticas logísticas para la gestión de proveedores en las empresas distribuidoras TaT en la ciudad de Ibagué*, *Logística hospitalaria: caso de estudio de la demanda de una sala de urgencias frente a la disponibilidad de servicios*, *Diseño de un plan de e-procurement y flujos de un centro de abasto*.

ADRIANA ISABEL LINARES VANEGAS

Ingeniera industrial y magister en Gestión Industrial con énfasis en operaciones y logística por la Universidad de Ibagué (Colombia). Investigadora en GESICOM del Centro de Comercio y Servicios SENA Regional Tolima. Sus principales publicaciones se enmarcan en el área de operaciones y logística, entre ellas el libro de investigación *Estudio del potencial logístico del Tolima*.

OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS CON ENJAMBRE DE PARTÍCULAS EN UN MOLDE DE COLADA CONTINUA

YORDY GONZÁLEZ RONDÓN

Ingeniero mecánico por la Universidad de Oriente (Venezuela). Especialista en automatización e informática industrial de la Universidad de Oriente. Actualmente profesor agregado del Departamento de Mecánica de la Universidad de Oriente-Núcleo de Anzoátegui, investigador asociado en el Instituto de Investigación en Biomedicina y Ciencias Aplicadas (IIBCAUDO), profesor del Programa de Especialización en Traumatología del Hospital HUAPA-Cumaná. Líneas de investigación: simulación numérica de flujo de fluidos y transferencia de calor, instrumentación y control industrial, ciencias de los materiales. Ha publicado más de veinte artículos en diferentes revistas arbitradas y asesorado cerca de treinta tesis de pregrado y posgrado en ingeniería mecánica e ingeniería eléctrica.

JOSÉ EDUARDO RENGEL HERNÁNDEZ

Ingeniero mecánico por la Universidad de Oriente (Venezuela) con maestría en Ciencias y doctorado en Ciencias por la Universidad Federal de Río de Janeiro (Brasil). Es profesor titular en el Departamento de Mecánica de la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Oriente. Sus áreas de interés son el modelado, simulación y control de sistemas dinámicos y la dinámica de fluidos computacional. En la Universidad de Oriente ha desempeñado los cargos de jefe de Departamento de Mecánica, coordinador del Programa de Especialización en Ingeniería de Gas y coordinador científico del Núcleo de Anzoátegui.

JOHNNY MARTÍNEZ RIZALES

Ingeniero mecánico por la Universidad de Oriente (Venezuela). Magíster y doctor en Ciencias en Ingeniería Oceánica por la Universidad Federal de Río de Janeiro (Brasil). Actualmente es profesor asociado del Departamento de Mecánica de la Universidad de Oriente-Núcleo de Anzoátegui, jefe del Laboratorio de Fluidos y miembro del Centro de Métodos Numéricos en Ingeniería (CMNI). Líneas de investigación: simulación numérica de flujo de fluidos y transferencia de calor, y energías renovables. Ha asesorado más de cuarenta tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica y publicado en las revistas: *Marine Systems & Ocean Technology* y *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*.

EVALUACIÓN HIGIÉNICA DE RIESGOS FÍSICOS EN EL SECTOR MADERERO DEL ECUADOR

ROBERTO JOHAN BARRAGÁN MONRROY

Máster universitario en Prevención de Riesgos Laborales por la Universidad Internacional de la Rioja; auditor interno ISO 45001:2018 obtenido por la Universidad Internacional de la Rioja y *With TÜV Rheinland Certified Qualification*; egresado de la Maestría en Química con mención en Química Ambiental por la Universidad Técnica de Manabí; ingeniero en Gestión Ambiental por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo; exmiembro del proyecto internacional de Care Empowering Climate Resilience de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y Unión Europea. Ha publicado artículos científicos y libros en la rama de legislación ambiental, agrícola y educación; ponente en congresos internacionales con temática relacionada con el cambio climático e higiene industrial; ayudante de investigación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

BETTY BEATRIZ GONZÁLEZ OSORIO

Doctora por la Universidad Autónoma de México, UNAM. Docente investigadora titular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ha escrito libros, artículos y demás actividades propias de investigación, gestión y academia.

KIMBERLY ALEXANDRA CAPA SALAZAR

Magíster en Prevención de Riesgos Laborales por la Universidad Internacional de la Rioja, ingeniera en Seguridad Industrial y Salud Ocupacional por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, auditora interna ISO 45001:2018 por la Universidad Internacional de la Rioja. Actualmente trabajo en la empresa Sachabrats S. A. en el departamento de seguridad salud y ambiente, con más de tres años de experiencia laboral.

ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA LÍNEA DE COMPONENTES DE TURBINAS DE AVIÓN

RAFAEL ALEJANDRO GRANADOS GIL

Ingeniero químico industrial con maestría en Ingeniería de Operaciones Estratégicas por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Cuenta con experiencia en empresas de diversos giros, entre las que destacan industrias como la petroquímica, aeroespacial y de procesamiento de alimentos, en las que se ha desempeñado en diferentes puestos como supervisor de Producción, Control de Producción y Planeación, líder de Ingeniería de Procesos y, actualmente, como coordinador de Ingeniería en una empresa dedicada a la manufactura de componentes para turbinas de aviones.

ILEANA CAMILA MONSREAL BARRERA

Ingeniera química industrial con maestría en Administración por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), con diplomados en Gerencia Logística (ENAE-CELOGIS-UADY) y en Enseñanza de la Logística (CLI-México). Con más de 30 años de experiencia profesional. También ha sido consultora de empresas, siendo reconocida como consultora tecnológica general del CONACYT en 2000. Ha desarrollado proyectos de vinculación e investigación y generado diversas publicaciones y ponencias. Actualmente es Coordinadora de Proyectos Especiales de la Facultad de Ingeniería Química (UADY) así como responsable del GD de Ingeniería en Sistemas de Producción y Logística, Coordinadora de la Academia de Sistemas Productivos y profesora titular.

JUAN JOSÉ BARRERA GUTIÉRREZ

Pasante de Ingeniería Química Industrial de la Universidad Autónoma de Yucatán, auxiliar de operaciones logísticas en la empresa Quesos de la Península, en la ciudad de Mérida, Yucatán. Cuenta con Diplomado en ISO 9001-2015 por parte de la empresa Eyac Consultores.

EVALUACIÓN DE LA MOTIVACIÓN EN EL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD EN PERUVIAN GLASS S.A.

NANCY GEORGINA TORRES ZAVALA

Ingeniera química con Maestría en Dirección de Empresas Industriales y de Servicios por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con diplomado de especialización en Sistemas Integrados de Gestión realizado en AMV Consultores, diplomado en Gestión de la Seguridad Alimentaria (ISO/FSSC 22000) realizado en SGS, diplomado en Gestión de la Calidad en Laboratorios de ensayo ISO/IEC 17025:2017 realizado en Pontificia Universidad Católica del Perú, diplomado en Gerencia de Proyectos realizado en DHARMA CONSULTING con PMP® #2067806. Tiene quince años de experiencia en implementación, gestión y dirección de laboratorios y análisis de procesos en empresas industriales nacionales y extranjeras en los rubros de lubricantes, combustibles, minería metálica, minería no metálica y automotriz.

LUZ EUFEMIA LÓPEZ RÁEZ

Doctora en ingeniería por la Universidad Nacional Federico Villarreal, magíster *scientiae* en Tecnología de Alimentos por la Universidad Nacional Agraria La Molina, máster en Ciencias por la Universidad Politécnica de Valencia en España. Ha publicado en *Industrial Data* de la UNMSM, *Anales del Máster en Ingeniería de Alimentos* de la UPV entre otras revistas. Desarrolla investigaciones orientadas al diseño y mejoramiento de productos, aplicación de tecnologías de la cuarta gama, estudiando la percepción y generación de subproductos. Enseña a nivel de posgrado y pregrado enfatizando en este último la formación en I+D+i+e. Actualmente es directora de la Escuela Profesional de Ingeniería Alimentaria de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

STUDY OF THE MOST VALUABLE RESEARCHER: BIBLIOMETRIC INDICATORS AND COLLABORATION NETWORKS

CAMILO PEÑA RAMÍREZ

Ingeniero industrial por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso de Chile. Su experiencia profesional se ha desarrollado en minería, servicios y consultoría en Chile, dedicando los últimos quince años a la docencia de pre y postgrado. Obtuvo una beca Erasmus de la UE para desarrollar una maestría en Administración en la U. Deusto en España. Logró su grado de doctor en administración de la FAE-USACH-Chile y de la FEA-USP-Brasil. Trabaja en el área de gestión en facultades de ingeniería y de negocios. Ha publicado en revistas indexadas de educación en ingeniería y negocios. Su línea principal de investigación son las redes (colaboración, innovación y conocimiento).

LEONARDO CONCHA

Ingeniero civil industrial por la Universidad del Bío-Bío de Chile. Fue ayudante de investigación en la misma universidad y actualmente es supervisor en una empresa privada en Chile.

ERIC FORCAEL

Profesor asociado del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Bío-Bío, Chile. Se recibió como ingeniero civil por la Universidad del Bío-Bío, Chile, obtuvo su MBA en la Universidad Politécnica de Madrid, España y su maestría y doctorado en Ingeniería Civil en la University of Florida, Estados Unidos. Sus intereses de investigación incluyen modelado y simulación en construcción e ingeniería civil, y educación en ingeniería.

GONZALO GARCÉS

Ingeniero civil por la Universidad del Bío-Bío de Chile, obteniendo luego el máster en Gestión de la Construcción y Sustentabilidad. Ha dedicado gran parte de su vida profesional a la gestión de proyectos y a la educación en ingeniería. Su trabajo ha sido publicado en revistas de alto impacto internacional, como *IEEE Transactions on Education*, *International Journal of Engineering Education* y *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*.

ESTUDIO DE LA CADENA DE VALOR DE LA PRODUCCIÓN DEL ACEITE DE PALTA PERUANA Y PROPUESTAS COMPETITIVAS

ANA MARÍA QUIROZ OSTOS

Ingeniera industrial por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Cuenta con un diplomado internacional en Gestión por Procesos y especialización en Sistemas Integrados de Gestión. Asimismo, cuenta con experiencia en marcos de gestión ágil y certificaciones de SCRUM, así como experiencia con marcos de sistemas de control.

DETERMINACIÓN Y DISEÑO DE INDICADORES DE GESTIÓN PARA LA INDUSTRIA DEL CALZADO COMO HERRAMIENTAS PARA EVALUAR LA RENTABILIDAD

INÉS VILLAFANA

Doctoranda en Gestión Estratégica PhD (c) con mención en Gestión Empresarial y Sostenibilidad por el Consorcio de Universidades. Cuenta con un MBA por la Pontificia Universidad Católica de Chile y es ingeniera industrial por la Universidad de Lima. Docente en la Universidad Privada del Norte (UPN). Ha sido asesora principalmente en proyectos de posibles futuras tesis y tesis culminadas, con más de quince años de experiencia en proyectos de investigación.

VIABILIDAD TECNOLÓGICA DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE UNA BEBIDA A PARTIR DE ALGARROBO (*PROSOPIS PALLIDA*), TARWI (*LUPINUS MUTABILIS*) Y QUINUA (*CHENOPODIUM QUINOA*) EN EL PERÚ

MAGGIE LALESCA MANRIQUE PASIÓN

Ingeniera industrial por la Universidad de Lima. Posee una certificación activa como *Change Management Practitioner* de Prosci y un diploma internacional en Gerencia de Proyectos por ESAN Graduate School of Business. Cuenta con experiencia como consultora en proyectos de transformación digital en las industrias de tecnología y telecomunicaciones.

ROCÍO DEL PILAR VALVERDE MORENO

Ingeniera industrial por la Universidad de Lima. Posee un diploma internacional en Logística y Operaciones por ESAN Graduate School of Business. Cuenta con experiencia laboral de más de tres años en el área logística en empresas de servicios y consumo masivo, en donde genera proyectos de eficiencia en la cadena de suministro.

RAFAEL VILLANUEVA FLORES

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima. Master of Science por Kansas State University. Gerente de Operaciones de Anita Food y profesor de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Lima. Ejecutivo de amplia experiencia en la generación de plantas industriales y autor de diversas publicaciones en el campo de los alimentos.

SIMULATION OF AN ADVANCED GEOTHERMAL ENERGY CONVERSION PLANT IN PERÚ

SOFÍA CHAUCA PAREDES

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima, con diploma de especialización en Sostenibilidad Ambiental. Asistente de gerencia general en Camal Frigorífico Lurín S. A. C.; así como analista de finanzas en Gestión Ganadera del Perú S. A. C., Enmiendas Orgánicas del Perú S.A.C. y Leocar E. I. R. L., empresas pertenecientes al mismo grupo. Previamente se desempeñó en Camal Frigorífico Lurín S. A. C. como practicante en el área de Calidad y Medio Ambiente.

GRACIELA ROJAS GARCÍA

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Coordinadora de proyectos en LatamReady LLC, empresa Cloud ERP y Oracle Netsuite partner. Anteriormente, trabajó en el Banco de Crédito como practicante del área de Servicios para los Clientes.

GEORGE POWER PORTO

Ingeniero metalurgista por la Universidad Nacional de Ingeniería y doctor en Ingeniería por la RWTH Aachen University, Alemania. Es coautor del libro *Tecnologías Limpias y Medio Ambiente en el Sector Industrial Peruano - Casos Prácticos* (2019). Docente e investigador de las carreras de Ingeniería Industrial y Civil de la Universidad de Lima.

REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LA SEMILLA DE MANGO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE Y SUS POTENCIALES APLICACIONES EN DIVERSAS INDUSTRIAS

ANTONIO MARTIN CÓRDOVA CÓRDOVA

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima. Actualmente cursa una especialización en Gestión de la Cadena de Suministros dictada por el Massachusetts Institute of Technology (MITx). Cuenta con experiencia en áreas de producción y logística en donde lidera diversos procesos de compras y almacenes en empresas transnacionales.

CARLOS HÉCTOR MENDOZA MENDOZA

Ingeniero industrial por la Universidad Nacional Federico Villarreal, egresado de la carrera de Ingeniería de Sistemas por la Universidad de Lima, con estudios de maestría en Administración de Negocios por la Universidad San Martín y cursos de perfeccionamiento en Estados Unidos y Japón. Ha desempeñado cargos como jefe del área de logística en Manufacturas Eléctricas S.A., jefe de sistemas en Hidrandina S. A., gerente de sistemas y posteriormente gerente postal en Servicios Postales del Perú SERPOST S. A. y ha trabajado en auditoría de sistemas y consultoría. Se desempeña como docente en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, en la carrera de Ingeniería de Sistemas, en la Universidad Tecnológica del Perú en la carrera de Ingeniería de Sistemas y en la Universidad de Lima.

**NORMAS DE PUBLICACIÓN
DE LA REVISTA *INGENIERÍA INDUSTRIAL***

GENERALIDADES

Desde 1992, la revista *Ingeniería Industrial* tiene como objetivo central difundir los resultados de las investigaciones, así como brindar información técnica y científica relativa a dicha rama de la ingeniería, considerando las cinco secciones que le dan forma: Gestión de la Producción, Calidad y Medio Ambiente, Ingeniería de Negocios, Proyectos Empresariales Industriales, y Ciencia y Tecnología.

Esta está dirigida a empresarios de todos los sectores productivos, a docentes y a estudiantes de la especialidad. La Revista *Ingeniería Industrial* se encuentra indexada en Latindex, Redalyc, Doaj y Dialnet. 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.

TIPOS DE TRABAJO

El manuscrito enviado a la revista puede pertenecer a alguno de los siguientes tipos de trabajo:

- **Artículos de investigación:** Estos se caracterizan por detallar hallazgos nuevos, confirmados cuantitativa y/o cualitativamente. Las ideas de investigación innovadoras y creativas y los procedimientos experimentales deben proporcionarse con suficiente detalle para que otros verifiquen el trabajo. La longitud de un trabajo completo debe ser la mínima requerida para describir e interpretar el trabajo claramente. Estos pueden ser proyectos de investigación, mejora en un proceso o situación laboral, trabajo de investigación en el laboratorio del autor o autores, etcétera.

- **Artículos de revisiones bibliográficas:** Las presentaciones de revisiones y perspectivas que cubren temas de interés actual, que se centran en los avances actuales en el campo dado, son bienvenidas y alentadas. .
- **Informes de caso:** Incluye informes de casos o estudios en cualquier subárea del campo de la ingeniería industrial. Un informe de caso generalmente se considera un tipo de evidencia anecdótica.

El contenido debe ordenarse según el siguiente esquema:

1. Título (en español e inglés):

El título debe reflejar el contenido del trabajo. Debe ser conciso y solo se escribirá con mayúscula la inicial de la primera palabra y los nombres propios. Dos líneas como máximo, en esta misma página se deben agregar los correos electrónicos y afiliaciones.

2. Resumen y palabras clave (en español e inglés):

El resumen debe contener el objetivo, la metodología y las conclusiones del trabajo, en una extensión de entre 50 y 70 palabras (10 líneas como máximo). Si se trata de artículos de divulgación, deben proporcionar una reseña de trabajo. Por otro lado, las palabras clave deben (entre 3 y 5 palabras o frases) deben facilitar la búsqueda en los bancos de información.

3. Introducción:

Debe contener el propósito del trabajo y algunos antecedentes que fundamentan el estudio.

4. Material y métodos (si corresponde o cualquiera):

Debe incluir los procedimientos de selección del material experimental utilizado y detallar los métodos, equipos y procedimientos utilizados. Los procedimientos matemáticos y los métodos estadísticos deberán describirse en detalle.

5. Resultados (si corresponde o cualquiera):

Se presentarán siguiendo una secuencia lógica, tanto en el texto como en las tablas y figuras.

6. Discusión/Conclusiones:

Deben resaltar los aspectos más sobresalientes y novedosos del estudio y las conclusiones del mismo. Se debe desarrollar aspectos como la comparación

con publicaciones similares y diferencias con las mismas, opinión de los autores sobre el tema, limitaciones o problemáticas, significado y la aplicación práctica de los resultados, así como los hallazgos más relevantes.

7. Referencias

Deben aparecer al final del artículo en orden alfabético y siguiendo el estilo APA.

PROCESO DE ARBITRAJE Y EVALUACIÓN EXTERNA

El proceso de selección inicia cuando el editor de la revista realiza la revisión del artículo y, si cumple con las pautas editoriales básicas, lo envía, bajo la modalidad de doble ciego, a un árbitro (evaluador externo experto en el tema del artículo), 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 15 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 10 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.

Instrucciones para el envío de manuscritos

Los artículos se envían 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 obligatoriamente de la siguiente manera:

- Fotos: en formato jpg o tiff con una resolución de 300 pixeles por pulgada.
- Figuras: enviar el archivo original en el cual fueron elaboradas.
- Tablas: de ser colocadas como imagen en el documento, enviar el 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

Para asegurar la originalidad del manuscrito y su única postulación en la revista (no postulaciones simultáneas), se debe enviar 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 lo publique en soporte impreso y digital.

Instrucciones básicas de APA

Artículos científicos

Apellido(s), A. A., y Apellido(s), B. B. (Fecha). Título del artículo. *Nombre de la revista, volumen* (número), páginas. doi: xxxxxxxx

Ejemplo:

Quaresma, M., de Moraes, A., y Cardoso, V. M. B. (2000). Some Causes of Errors Using Anthropometric Data when Designing Products and Workstations. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 44 (33), 323-326.

Artículo de diario

Apellido(s), A. A. (día de mes del año). *Título en cursiva*. (agregar el link)

Ejemplo:

Roach, K. (31 de julio del 2002). *Sizing Survey Benefits Many Manufacturers*. <http://scm.ncsu.edu/scm-articles/article/sizing-survey-benefits-many-manufacturers>

Libro

Apellido(s), A. A., y Apellidos, B. B. (Año). *Título en cursiva* (ed.). Editorial.

Ejemplo:

Roebuck, J. (1995). *Anthropometric methods: Designing to fit the human body*. Human Factors & Ergonomics Society.

Tesis

Tesis de licenciatura:

Aliaga Paredes, E. L., y Acevedo Jara, J. A. (2017). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de bolsas filtrantes de manzanilla común (Chamomilla recutita (L.) Rauschert)* (tesis para optar el título de Ingeniero Industrial). Universidad de Lima.

Tesis de maestría o doctorado:

Parra, N. L., y Rico, A. (2007). *Estudio antropométrico de preadolescentes en la ciudad de Ambato* (tesis doctoral, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador).

Artículos anteriormente publicados

Mejora en la eficiencia y en el ambiente de trabajo en Texgroup S.A., autora: Jhosselyn Herrera

Metodología para determinar la calidad de agua del río Rímac para uso en amasado y curado de concreto, autores: Rosa Victoria Altamirano Medina, Ricardo Terreros Lazo

Modelamiento y control de un sistema de tráiler autónomo, autor: Wilder Medina Medina. En El rol del ingeniero industrial en el desarrollo de la competitividad en el Perú, autor: Nicolás Salazar-Medina

Cultura organizacional y educativa: Un sincretismo para el éxito empresarial, autores: Marcos Ruiz- Ruiz, Ulrike Sallandt

Factores clave de éxito en el negocio del *retail.*, autor: David Gerardo Guerrero-Martínez

Responsabilidades éticas

La revista *Ingeniería Industrial* cuenta con un código de ética que debe utilizarse como una guía sobre la transparencia que deben tener los procesos de revisión, edición y publicación de todos los materiales, así como orientar a autores, jurado evaluador, equipo editorial, comunidad académica y público en general en las buenas prácticas para la investigación tomando como referencia los principios publicados por el Committee on Publication Ethics (COPE).

Con respecto a los autores se muestran los siguientes principios éticos durante todas las fases del proceso editorial.

- Los trabajos a presentar deben ser inéditos.
- Si envían el artículo a la revista *Ingeniería Industrial*, no debe ser enviado a otra editorial o publicación.
- Las referencias bibliográficas deben estar ordenadas alfabéticamente y señaladas de manera correcta y completa según las normas APA séptima edición.
- Si el autor se da cuenta de algún error en su artículo, debe informarlo al editor de la revista y facilitarle la información correcta.

- El autor deberá enviar al editor una carta firmada en la que indique que sede los derechos de autor del artículo a la Universidad de Lima para su divulgación.
- Plagio. La reproducción total o parcial de fragmentos literales de otras obras, sin citar o dar el reconocimiento a sus autores no está permitida. Cuando se parafrasee un texto no se debe cambiar su sentido y es necesario colocar la referencia correspondiente.



Comparación del desempeño de modelos teóricos de inventarios individuales y multiproducto en una PYME distribuidora de productos de consumo masivo a nivel regional

Optimización de parámetros con enjambre de partículas en un molde de colada continua

Evaluación higiénica de riesgos físicos en el sector maderero del Ecuador

Análisis del proceso de producción de una línea de componentes de turbinas de avión

Evaluación de la motivación en el sistema de gestión de calidad en Peruvian Glass S.A.

Estudio de la cadena de valor de la producción del aceite de palta peruana y propuestas competitivas

Determinación y diseño de indicadores de gestión para la industria del calzado como herramientas para evaluar la rentabilidad

Viabilidad tecnológica de la instalación de una planta productora de una bebida a partir de algarrobo (*Prosopis pallida*), tarwi (*Lupinus mutabilis*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) en el Perú

Revisión de literatura sobre el aprovechamiento de la semilla de mango para la extracción de aceite y sus potenciales aplicaciones en diversas industrial