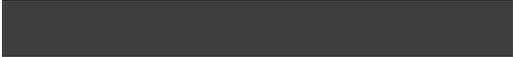




INGENIERÍA INDUSTRIAL





INGENIERÍA 
INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial

Revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura
de la Universidad de Lima
Carrera de Ingeniería Industrial
Núm. 39, diciembre del 2020

Director: Nicolás Salazar Medina
<https://orcid.org/0000-0001-9583-9746>
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 Cardeño (CEU Universities, España)
<https://orcid.org/0000-0002-7115-4117>
Alfonso Sarmiento Vásquez (Universidad de La Sabana, Colombia)
<https://orcid.org/0000-0003-0910-2989>
Gabriela Gallardo Marcos (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina)
<https://orcid.org/0000-0003-1426-8430>
Marcos Ruiz Ruiz (Universidad de Lima, Perú)
<https://orcid.org/0000-0001-5147-8512>
Silvia Ponce Álvarez (Universidad de Lima, Perú)
<https://orcid.org/0000-0003-1583-7113>
José L. Zayas-Castro (University of South Florida, Estados Unidos)
<https://orcid.org/0000-0001-7374-3479>

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

Edición, diseño y carátula: Fondo Editorial de la Universidad de Lima

Imagen de portada: Blue Planet Studio/Shutterstock.com

Publicación semestral

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.

ISSN 2523-6326

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

COMITÉ EVALUADOR

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

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	9
PRESENTATION	11
GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN / PRODUCTION MANAGEMENT	
Procedimiento para la evaluación de los factores de riesgo laboral y su incidencia en el desempeño laboral en usuarios de Pantallas de Visualización de Datos (PVD)	15
<i>Grether Real, Liliana Cedeño</i>	
Evaluación de los niveles de iluminación en empresas de explotación de rocas fosfóricas para la elaboración de productos agroindustriales en el departamento del Huila	35
<i>Reinaldo Alfredo Victoria-Bonilla, Natalia Sandoval-Castro, Ramiro Gamboa-Suárez</i>	
Mejora del <i>lead time</i> y productividad en el proceso de armado de pizzas aplicando herramientas de <i>lean manufacturing</i>	51
<i>Bruce Escudero-Santiago</i>	
CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE / QUALITY AND ENVIRONMENT	
Implementación del <i>kaizen</i> -innovación de Procesos- <i>jidoka</i> para hacer frente a la Covid-19: un caso de estudio en un hospital público	75
<i>Manuel F. Suárez-Barraza</i>	
<i>Acid mine drainage mitigation: A review</i>	97
<i>Daniel Lazo</i>	
Revisión sistemática de literatura en el uso de fluidos supercríticos para lograr una producción más limpia en la industria textil	119
<i>Christina Ascencio-Ramirez, Agustina Burgos, Kimberly Brigitte Lopez-Crisostomo</i>	

INGENIERÍA DE NEGOCIOS / BUSINESS ENGINEERING

Estudio para la implantación de un servicio de congelamiento de conchas de abanico en el Perú mediante la instalación de un equipo de congelación criogénica 143

Alberto Carlos, Marcelo Morán

Metodología aplicada a la mejora de procesos utilizando herramientas de innovación 165

Jacqueline Lizarbe, María Claudia Aguilar

PROYECTOS EMPRESARIALES INDUSTRIALES / INDUSTRIAL BUSINESS PROJECTS

Elaboración de filete sin piel de paiche (*Arapaima gigas*, Cuvier 1829) ahumado a baja temperatura 189

*David Julián Roldán-Acero, Andrés Avelino Molleda-Ordoñez,
David Luján-Tantarico, Juan Rodolfo Omote-Sibina*

CIENCIA Y TECNOLOGÍA / SCIENCE AND TECHNOLOGY

Estabilidad oxidativa de los aceites de *sacha inchi* (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) y su importancia en la industria alimentaria 207

Nancy Chasquibol, Karen Iparraguirre, José Huamán, Rafael Alarcón

AUTORES 225

INFORMACIÓN PARA LOS COLABORADORES Y NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS 235

PRESENTACIÓN

La ingeniería industrial no deja de actualizarse y evolucionar, desarrollando y usando herramientas y tecnologías que permiten el aumento de la productividad, eficiencia y calidad. Justamente, el desarrollo de dichas técnicas tiene muchas veces como primer paso, para su aplicación, el ser presentadas en un artículo científico, tal como los que se presentan en esta edición.

En esta oportunidad la revista *Ingeniería Industrial* llega a ustedes, amables lectores, con una variedad de artículos en los campos de la industria textil, acuícola, alimentos, servicios, ergonomía, cuidado del medio ambiente y seguridad sanitaria. Estos siempre buscan estar acordes con la actualidad y vigencia en la ciencia y la tecnología, es así que se presentan artículos relacionados al uso de herramientas de mejora continua de los procesos, la mitigación de drenajes con ácido de minas, el procesamiento y propiedades de alimentos saludables y ecoamigables.

El presente número es editado en circunstancias *sui generis* para el mundo entero, donde la seguridad y procesos sanitarios son vitales, por ello se cuenta con artículos sobre aplicación de procesos de calidad en un establecimiento de salud en la coyuntura de la presente pandemia.

La Universidad de Lima y la Carrera de Ingeniería Industrial, a través de esta revista, cumple con su compromiso de proveer a la sociedad e instituciones tanto académicas como empresariales con su compromiso de fomentar y apoyar la investigación, así como difundir el conocimiento generado, por lo que es imperativo agradecer antes que nada a los autores de los artículos, así como al jurado evaluador y al equipo editorial.

Espero que el número 39 de la revista *Ingeniería Industrial*, el cual estamos poniendo en sus manos, cumpla con los objetivos señalados previamente y sea del agrado de usted.

Nicolás Salazar Medina

Director

PRESENTATION

Industrial engineering is constantly being updated and evolving. Consequently, it develops and uses tools and technologies designed to increase productivity, efficiency and quality. Most of the time, the first step in implementing such techniques is to present them in a scientific article, as in the case of the articles included in this issue.

On this occasion, the *Ingeniería Industrial* journal reaches you, its dear readers, with a variety of articles in the fields of textile, aquaculture, food and service industries, ergonomics, environmental care and health security. These fields always seek to be consistent with the current and valid science and technology. Therefore, this issue presents articles related to the use of continuous improvement tools for acid mine drainage processes and mitigation, as well as the processing and properties of healthy and eco-friendly food.

This issue is published under *sui generis* circumstances affecting the entire world, where security and health processes are crucial. For this reason, it contains articles on quality processes applied to a health-care facility during the present pandemic.

By means of this journal, the University of Lima and the Industrial Engineering Undergraduate Program fulfil their commitment to promote and support research, and disseminate the knowledge generated. Ergo, it is imperative to thank, first of all, the articles' authors, as well as reviewers and editorial team.

I hope that issue 39 of the *Ingeniería Industrial* journal that we are putting in your hands meets the objectives established.

Nicolás Salazar Medina

Director

**GESTIÓN
DE LA PRODUCCIÓN**

Production Management

PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO LABORAL Y SU INCIDENCIA EN EL DESEMPEÑO LABORAL EN USUARIOS DE PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE DATOS (PVD)

GRETHER REAL

<https://orcid.org/0000-0003-4792-6217>

Liliana Cedeño

<https://orcid.org/0000-0003-4298-4557>

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Recibido: 7 de agosto del 2020 / Aprobado: 18 de agosto del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4913>

RESUMEN: El objetivo de esta investigación es proponer un procedimiento que permita evaluar los factores de riesgo laboral y su incidencia en el desempeño laboral en usuarios de PVD. Los métodos de investigación considerados fueron el exploratorio, descriptivo, trabajo de campo y análisis-síntesis. El procedimiento consta de cuatro etapas: diagnóstico de la situación actual, evaluación de riesgo, incidencia de los riesgos en el desempeño laboral y control de riesgo. Su principal aporte radicó en la compilación, selección, propuesta y explicación de las herramientas que permiten el estudio en diferentes trabajadores que sus actividades se centran en el uso de PVD.

Palabras clave: factor de riesgo laboral / desempeño laboral / usuario de PVD / ergonomía / bienestar laboral

* Correo electrónico: greal@utm.edu.ec, gretherreal@gmail.com, lcedeno1@hotmail.com

A PROCEDURE FOR THE EVALUATION OF OCCUPATIONAL RISK FACTORS AND THEIR IMPACT ON WORK PERFORMANCE AMONG USERS OF DATA DISPLAY SCREENS (DDSS)

ABSTRACT: The objective of this research is to propose a procedure that allows the evaluation of occupational risk factors and their impact on the work performance of DDS users. The research considered exploratory, descriptive, fieldwork and synthesis analysis methods. The procedure consisted of four stages: diagnosis of the current situation, risk assessment, incidence of risks in work performance, and risk control. Its main contribution lies in the compilation, selection, proposal and explanation of the tools that allow studying different workers whose activities are focused on the use of DDS.

Keywords: occupational risk factor / job performance / DDS user / ergonomics / work well-being

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene el propósito de realizar una propuesta de un procedimiento que permita la valoración de los factores de riesgo que están presentes en usuarios de PVD y su incidencia en el desempeño laboral, definiendo las herramientas o metodologías que permitan identificar las brechas de mejoras en los puestos y con ello, la garantía de la realización del trabajo decente, sin riesgo, y sin afectar el desempeño laboral.

El trabajo es una actividad que permite satisfacer una necesidad y conseguir determinados objetivos; si se trabaja dentro de una organización o empresa, esta debe tener la habilidad de conseguir que los trabajadores quieran hacer el trabajo, y además, que lo hagan bien (Carballé Piñón, 2015). Para Durany Puig (2019), trabajar es una actividad realizada por todas las personas en algún momento de su vida; sin embargo, pocos reflexionan sobre la manera en la que el trabajo puede llegar a afectar la salud.

El talento humano es el que hace diferentes, competitivos y añade valor a los procesos productivos, ya sean de servicio o de producción. Una de las estrategias empresariales que permite alcanzar altos índices de productividad y eficiencia es el fortalecimiento del compromiso del trabajador con su organización, desvirtuando cualquier conflicto que deteriore su estadía en la empresa (Collana-Salazar, 2017). Para ello, se hace necesario mantener un clima laboral excelente donde todos estén a gusto sabiendo que sus expectativas se cubren y se incrementa su nivel de vida, apoyando sus objetivos personales y organizacionales (Bravo y Salazar, 2017).

Cuesta y Valencia (2018) se refieren a la evolución de la gestión del personal como estrategia competitiva, que tiene su auge a partir de la década de 1980. En este proceso han sido utilizados varios términos, tales como como: Gestión de Recursos Humanos (GRH), Gestión del Talento Humano (GTH), Gestión de Personal (GP), Gestión Humana (GH), entre muchos otros. La esencia radica en ubicar al ser humano como eje central de los procesos productivos o servicios, atendiendo de manera integral todas sus necesidades biológicas, psicológicas y sociales.

La gestión de riesgos laborales tiene una relación con los resultados del desempeño laboral, permitiendo que el trabajador realice sus actividades en ambientes decentes y su desempeño garantice una calidad adecuada en el trabajo. El cuidado y preservación de la salud en los trabajadores es un factor clave para el incremento de la productividad, la sostenibilidad del trabajo realizado y el bienestar de todos sus empleados (Real *et al.*, 2019).

Hoy en día, en la mayoría de los puestos se debe hacer uso de computadoras o Pantallas de Visualización de Datos (PVD) que ayudan a los trabajadores a desempeñar sus labores con mayor eficacia y productividad. Sin embargo, estas nuevas exigencias en la vida laboral engendran nuevos riesgos que tienen una incidencia directa en la salud y

el bienestar y son una causa importante de los índices de ausentismo y de muchas enfermedades generadas por el estrés y las formas y exigencias de organización del trabajo, cada vez más comunes en el personal que labora en las oficinas o con el uso mantenido de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Uno de los principales riesgos en el uso de PVD son las afectaciones músculo-esqueléticas en estos usuarios. Los trastornos músculo-esqueléticos (TME) son lesiones del aparato locomotor con un origen laboral. Afectan principalmente la espalda, cuello, hombros y extremidades superiores (Paredes y Vásquez, 2018).

Dentro de los factores de riesgo que inciden en los TME se encuentran las condiciones de trabajo, el entorno entre el usuario y las PVD, el diseño físico del puesto, los movimientos repetitivos, las posturas forzadas, el régimen de trabajo, el tiempo de descanso y los factores psicosociales, entre otros. Todos estos componentes tienen una incidencia directa en el desempeño de los trabajadores, afectando su eficiencia, rendimiento y productividad.

En la actualidad, las organizaciones se hallan en una incesante necesidad de mejorar su desempeño laboral con el fin de alcanzar la competencia en el mercado (Carmona y Rosas, 2017). Sobre el desempeño laboral existen variadas definiciones, que relacionan tanto las exigencias técnicas, productivas y los resultados del servicios que la empresa espera de él (López, Camal y Galicia, 2018).

Conocer las necesidades reales o sentidas que influyen en el desempeño laboral es una prioridad que permite ejecutar acciones tendientes a ofrecer a los trabajadores aquellos elementos que contribuyan a lograr la satisfacción en el desempeño de sus funciones, lo cual se verá reflejado en la productividad y el ambiente de trabajo (Arboleda y Cardona, 2018).

La prevención de riesgos laborales está amparada en la normativa legal, materializada en las leyes, acuerdos, decretos y reglamentos, que justifican la necesidad de realizar estudios que promuevan el trabajo decente y sin riesgos.

En el ámbito internacional, en marzo del 2018 se publica la ISO 45 001 con la propuesta de un modelo de Gestión Efectiva de Seguridad y Salud en el Trabajo, la cual es una norma internacional certificable a cualquier empresa, y presenta una estructura de alto nivel que permite la integración con los otros sistemas de gestión en el ámbito empresarial.

En el Ecuador, en la sección tercera, en su artículo 326 se plantea que: “[...] Toda persona tendrá derecho a desarrollar sus labores en un ambiente adecuado y propicio, que garantice su salud, integridad, seguridad, higiene y bienestar” (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2018).

En el plano metodológico, se tienen como referente un conjunto de metodologías o métodos que permiten la gestión de riesgos en diferentes sectores o puestos laborales. Autores como Aulestiarte y Villanueva (2013) realizan una comparación de muchos de ellos, haciendo referencia a las características principales de cada uno.

Se presentan los métodos de evaluación global, incluidos LEST, Renault y ERGOS, que consideran diferentes factores de riesgo y su manera de evaluarlos. Adicionalmente, se muestran otros métodos de evaluación de algún factor de riesgo específico, como INSHT y NIOSH para la evaluación de la manipulación manual de carga; JSI para la evaluación de los movimientos repetitivos; REBA, OWAS y RULA, para la evaluación de la carga postural considerando las posturas forzadas y muchos otros métodos que consideran en su evaluación diferentes factores de riesgo (Buitrago, 2016).

En el año 2011 se dio a conocer el método ROSA, con el objetivo de hacer una evaluación del riesgo por el uso de las PVD. El método ROSA calcula la desviación existente entre las características del puesto evaluado y las de un puesto de oficina de características ideales (Diego-Mas, 2020). Otros autores, como Palacio y otros (2017) han usado otros métodos, como el *Cuestionario de desórdenes músculo esqueléticos* propuesto por Kuorinka en 1987 y el *Cuestionario de autopercepción de la postura frente a una pantalla de visualización de datos*, que permiten dar respuesta a diferentes hipótesis en este campo.

Aunque hay muchísimos métodos para la evaluación de los factores de riesgo, existen dificultades en la selección adecuada del método que permite evaluar cada factor de riesgo y tampoco se tiene un procedimiento que, en sus diferentes fases, logre combinar la gestión eficiente de riesgo y el desempeño laboral de los trabajadores, lo que es el aporte principal de la investigación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La propuesta del procedimiento que permite valorar la incidencia de la gestión de los riesgos laborales en el desempeño laboral en usuarios de PVD consideró los métodos de investigación:

- *Investigación exploratoria.* Por cuanto se estudian los diferentes tipos de trabajadores que se encuentran laborando en la empresa y se realiza una selección de aquellos que son considerados como usuarios de PVD, haciendo la selección de para todo el proceso de investigación. La investigación exploratoria permitió, en la propuesta del procedimiento, la selección de aquellos métodos que posibilitan el diagnóstico de los riesgos laborales en usuarios de PVD.
- *Método descriptivo.* El método descriptivo permitió el reconocimiento de las características de las herramientas propuestas, la descripción de las características

del trabajo con PVD y las posibles relaciones con el desempeño laboral. El método descriptivo fue usado en la primera etapa de la investigación, donde se describen las características sociodemográficas de los trabajadores seleccionados, y algunos elementos que permiten valorar el estado de salud y bienestar de sus trabajadores.

- Trabajo de campo. Se propone, en las etapas del procedimiento, un conjunto de herramientas y métodos para su aplicación en el lugar de trabajo, las cuales contribuyen a la obtención de los resultados de investigación.
- Análisis-síntesis. Para el diagnóstico de la situación actual en materia de prevención de riesgos laborales, se utilizó el método de investigación análisis-síntesis de la información recolectada mediante la técnica de la observación. El método análisis-síntesis se usa en el procesamiento de los resultados, la compilación de los datos obtenidos en cada herramienta.

3. RESULTADOS

La aplicación de los diferentes métodos de investigación en diferentes etapas contribuyó con la propuesta de las investigadoras acerca de un procedimiento que permitiera estudiar la incidencia de los riesgos laborales en el desempeño laboral, específicamente para aquellos usuarios de PVD. En la figura 1 se presenta el esquema del procedimiento propuesto. La investigación recoge dos variables importantes de estudio: la prevención de riesgos y el desempeño laboral de sus trabajadores, enfocando el estudio en aquellos empleados que son considerados como usuarios de PVD y que se encuentran expuestos a determinados factores de riesgo que afectan su desempeño, salud y bienestar.

Etapa I. Diagnóstico inicial

El diagnóstico inicial considera la identificación de aquellos trabajadores que, por las características de las actividades que realizan, deben ser considerados como usuarios de PVD. Una vez seleccionados, se le realiza un análisis de las condiciones de trabajo en su puesto de trabajo, considerando su entorno, los errores más frecuentes en sus tareas y los factores de riesgo a los que se exponen, mostrando sus consecuencias a corto, mediano o largo plazo.

Trabajadores considerados como usuarios de PVD

Para identificar a los usuarios de PVD, se toman como referencia los principales criterios emitidos en la guía técnica que desarrolla el Real Decreto n.º 488 (1997) del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST] en España, donde se definen los parámetros a considerar para identificar a los trabajadores como

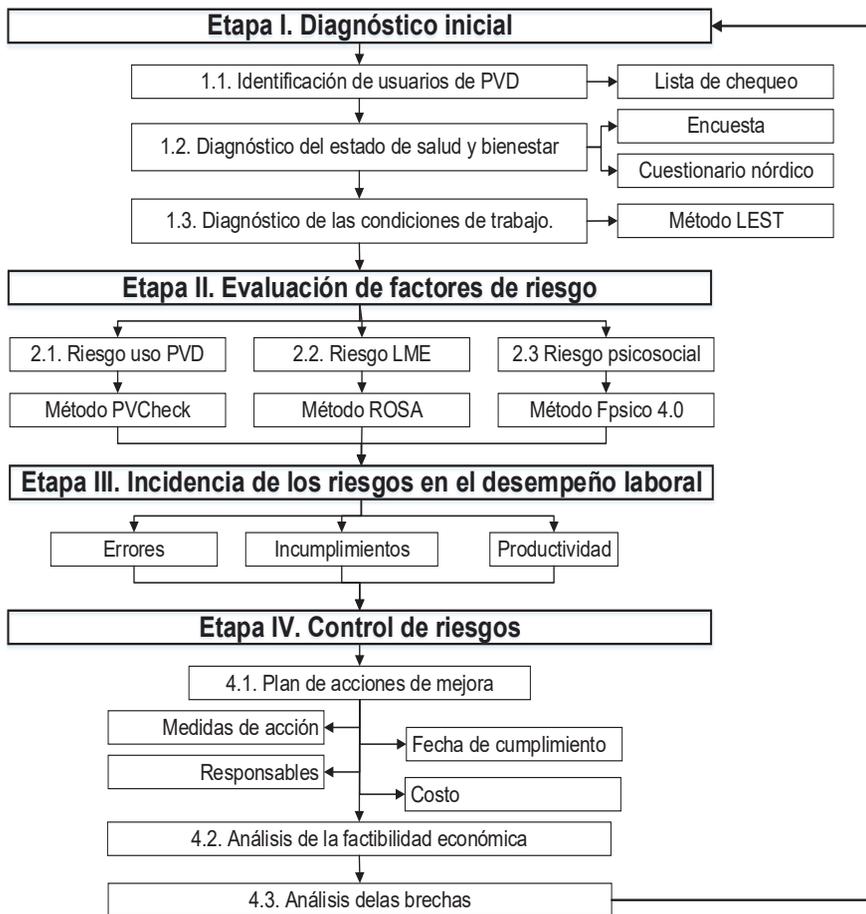


Figura 1. Procedimiento para el estudio de la prevención de riesgos laborales y su incidencia en el desempeño laboral

Elaboración propia

usuarios de PVD. Dichos parámetros, según el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2006), son:

- a) Los que pueden considerarse “trabajadores” usuarios de equipos con pantalla de visualización: todos aquellos que superen las cuatro horas diarias o veinte horas semanales de trabajo efectivo con dichos equipos.
- b) Los que pueden considerarse excluidos de la consideración de “trabajadores” usuarios: todos aquellos cuyo trabajo efectivo con pantallas de visualización sea inferior a dos horas diarias o diez horas semanales.

- c) Los que, con ciertas condiciones, podrían ser considerados “trabajadores” usuarios: todos aquellos que realicen entre dos y cuatro horas diarias (o diez a veinte horas semanales) de trabajo efectivo con estos equipos.

La opción c) considera otros elementos que permiten determinar la cantidad de respuestas afirmativas (cinco respuestas de los siete criterios que se preguntan) para ser considerados usuarios de PVD. Su procesamiento se realiza en Excel y se presentan los resultados porcentuales por departamentos en la cual se identifican usuarios de PVD.

El resultado de esta etapa es la selección de los trabajadores con los cuales se continúa con el proceso de investigación en las siguientes fases, profundizando en el diagnóstico de su estado de salud y bienestar.

Diagnóstico del estado de salud y bienestar de los trabajadores

Las herramientas para el diagnóstico del estado de salud y bienestar aplicado a los usuarios de PVD permiten tener una visión de la situación actual en la que se encuentran los trabajadores, describiendo si han presentado malestares provocados por las condiciones que les impone el trabajo.

Recomendaciones para la aplicación del cuestionario nórdico

La herramienta fue aplicada al 100 % de los trabajadores considerados como usuarios de PVD. El *cuestionario nórdico* fue creado por Kourina en 1987, mediante el análisis factorial que muestra la validez de constructo de la escala en versión española, que mantiene sus excelentes propiedades psicométricas. Este cuestionario arroja coeficientes de consistencia y fiabilidad entre 0,727 y 0,816 (Martínez *et al.*, y otros, 2014). Estos resultados miden el grado en que una prueba aborda diferentes constructos y ofrece resultados fiables.

El cuestionario puede aplicarse usando las ventajas del uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Una vez aplicado, se procede a su procesamiento y se exponen los resultados. Se recomienda el uso de gráficos que muestren las comparaciones entre los resultados obtenidos.

Diagnóstico de las condiciones de trabajo en los usuarios de PVD

Para el diagnóstico de las condiciones de trabajo en los usuarios de PVD, se propone el uso del método LEST, mediante el cual debe recogerse la información requerida para valorar cada una de las dimensiones que considera el método (ver tabla 1).

Tabla 1
Resumen de las dimensiones y variables estudiadas en el método LEST

Entorno físico	Carga física	Carga mental	Aspectos psicosociales	Tiempos de trabajo
Ambiente térmico	Carga estática	Apremio de tiempo	Iniciativa	Tiempo de trabajo
Ruido	Carga dinámica	Complejidad	Estatus social	
Iluminación		Atención	Comunicaciones	
Vibraciones			Relación con el mando	

Fuente: Diego-Mas (2015)

En esta etapa, la aplicación de esta herramienta busca identificar posibles causas o acciones futuras de mejora en las subsiguientes etapas. Este método permite diferenciar en cuál de las cinco variables se tienen más dificultades.

La recolección de la información se realiza mediante una hoja de campo, en la que se detallan los elementos de la evaluación y del evaluador. En algunas de las dimensiones del método, como el entorno físico, es necesario el uso de diferentes equipos de medición que facilitan la evaluación de las variables, como es el caso de luxómetros para medir el nivel de iluminación, el sonómetro para la evaluación del ruido o el psicrómetro de aspiración para medir las temperaturas del aire y húmeda, entre otros. Para las variables de la carga física se utiliza el estudio de las operaciones en el proceso, usando técnicas como la representación de los diagramas de flujo, la grabación de actividades o el estudio de tiempo para valorar los tiempos de trabajo.

El procesamiento de la información se realiza con la ayuda de la aplicación informática que ofrece Ergonautas, en la cual se van colocando las valoraciones en cada una de las dimensiones que el método considera. Los resultados finales se valoran según la escala que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2
Valoración de la puntuación final del método LEST

Puntuación	Valoración
0, 1, 2	Situación satisfactoria.
3, 4, 5	Débiles molestias. Algunas mejoras podrían aportar más comodidad al trabajador.
6, 7	Molestias medias. Existe riesgo de fatiga.
8, 9	Molestias fuertes. Fatiga.
10	Situación nociva.

Fuente: Diego-Mas (2015)

Etapas II. Evaluación de factores de riesgo

En la fase 2 del procedimiento se tiene como objetivo realizar una evaluación de los factores de riesgo de una manera más detallada. A continuación, se presenta la propuesta de los métodos a utilizar.

Aplicación del método PVCheck

El método PVCheck permite realizar una valoración detallada de las deficiencias encontradas en el entorno de trabajo y los usuarios de PVD. Para ello, se analizan cuatro dimensiones importantes:

- Parte I. Equipo de trabajo
- Parte II. Entorno de trabajo
- Parte III. Programas del ordenador
- Parte IV. Organización y gestión

Los pasos para la aplicación del método son:

1. *Preparación del cuestionario.* En este paso se procede a preparar el cuestionario y se adapta a las características de la empresa.
2. *Identificación de grupos de trabajo homogéneos (GTH).* Se identifica dentro de los usuarios de PVD a aquellos trabajadores que tienen las mismas características en cuanto al trabajo que realizan y los puestos asumidos.
3. *Trabajo de campo.* Se procede a aplicar el cuestionario en los GTH, tomando las evidencias de las deficiencias encontradas.
4. *Procesamiento de la información.* El procesamiento de la información se realiza mediante el software PVCheck en su versión 4.0, disponible en la página del INSST.

Aplicación del método ROSA

El método ROSA (Rapid Office Strain Assessment) fue publicado en 2011 por Sonne y otros colaboradores. Su objetivo es identificar las áreas de intervención prioritaria en el trabajo de oficina. En su evaluación, este método considera cinco elementos relacionados con el puesto de trabajo: silla, pantalla, teclado, *mouse* y teléfono.

El método de recolección de datos puede ser por observación directa o, preferentemente, por el estudio de la imagen en un video grabado. Son seleccionadas por el especialista las posturas más desfavorables y su duración se facilita por los usuarios de puestos PVD.

En función de los datos obtenidos durante la observación de las posturas, se determinan dos posibles niveles de riesgo y de actuación. En la tabla 3, se muestran las valoraciones cualitativas y cuantitativas del método ROSA.

Tabla 3
Valoración del riesgo y niveles de actuación en el método ROSA

Puntuación	Riesgo	Nivel	Actuación
1	Inapreciable	0	No es necesaria actuación.
2 - 3 - 4	Mejorable	1	Pueden mejorarse algunos elementos del puesto.
5	Alto	2	Es necesaria la actuación.
6 - 7 - 8	Muy Alto	3	Es necesaria la actuación cuanto antes.
9 - 10	Extremo	4	Es necesaria la actuación urgentemente.

Fuente: Diego-Mas (2015)

Aplicación del método Fpsico

La aplicación del método Fpsico, en su versión 4.0, permite realizar una evaluación de los factores de riesgo psicosocial a los que se encuentran expuestos los trabajadores bajo los siguientes pasos:

- *Presentación y aprobación del cuestionario por la Alta Dirección*

En esta parte se realiza una presentación a la Alta Dirección de las etapas a seguir con esta evaluación y se presenta el cuestionario.

- *Reunión con todos los trabajadores*

La reunión con los trabajadores se realiza agrupándolos en un espacio físico o virtual perteneciente a la empresa. En este encuentro se presentan los objetivos del estudio y se da el acceso al cuestionario. El uso de las herramientas digitales permite facilitar el acceso a la evaluación, pero es necesario garantizar el anonimato y la discreción en el proceso. Se explica que el cuestionario es anónimo y pueden responder con la verdad, debido a que los ayudará a mejorar las condiciones de trabajo.

- *Muestra de la población*

El tamaño de muestra se calcula para conocer el mínimo número de trabajadores que deben contestar el cuestionario para garantizar un nivel de confianza del 95 % con un nivel de exactitud de ± 5 %, mediante la expresión:

$$n = \frac{z^2 N p q}{e^2 (N - 1) + z^2 p q}$$

Donde:

n: número mínimo de personas que se necesita que respondan el cuestionario.

Z: estadístico de la normal. Se asume un nivel de confianza del 95 % que asume un valor del estadístico de 1,96.

N: Población, cantidad de personas que forman parte de la empresa o área de estudio.

e: error absoluto, en este caso se considera el 5 % (estudio conclusivo)

p = q= probabilidad de éxito y fracaso. En este caso igual a 0,5

– *Aplicación y procesamiento de datos*

Una vez aplicados, los cuestionarios son recopilados y procesados. Para el procesamiento de la información se recomienda el uso del *software* Fpsico en su versión 4.0, que ofrece los resultados y gráficos finales. El método permite incorporar preguntas adicionales para realizar comparaciones.

Etapa III. Incidencia de los riesgos laborales en el desempeño laboral

Los usuarios de PVD pueden, en el desarrollo de sus actividades, ser afectados por las condiciones de trabajo a las que se exponen y que los hacen cometer errores que afectan el desempeño laboral y, con ello, la productividad.

Los métodos para evaluar el error humano parten de determinar el grado de incidencia de los errores cometidos en los procesos de interacción hombre-máquina en la industria manufacturera (Casares-Li, Rodríguez-Hernández y Viña-Brito, 2016, p. 65).

El error humano se define como una decisión o acción humana que produce —o tiene el potencial para producir— una reducción en la efectividad, salud y seguridad del trabajador, o una interrupción en el comportamiento del sistema sociotécnico, con un impacto inmediato o a largo plazo (Casares-Li *et al.*, 2016, p. 3).

En esta parte del procedimiento se propone estudiar los fallos activos que se producen considerando el nivel 1 que se propone en la Tecnología de Tratamiento Ergonómico del Error Humano (TErEH) (Casares-Li *et al.*, 2016, p. 4). Los indicadores a estudiar son:

1. *Error*. Dentro de los errores que pueden darse en el trabajo desarrollado por el personal usuario de PVD están los siguientes:

- Omisión
 - Sustitución
 - Inserción
 - Repetición
2. *Incumplimientos.* En este caso se violan los procedimientos o protocolo de trabajo establecidos para desarrollar sus actividades. Los tipos de violación consideradas son:
- Rutinaria
 - Excepcional
 - Necesaria
 - Optimización
3. *Productividad.* El estudio de la productividad en esta investigación se enfoca a el trabajador usuario de PVD. En este caso se considera el porcentaje de aprovechamiento del tiempo de la jornada laboral y el estudio de las pérdidas de tiempo.

Las herramientas que permitirán diagnosticar estas variables son las recomendadas por los estudio y medición del trabajo, entre ellas:

- Fotografía individual detallada
- Fotografía colectiva detallada

La selección de la herramienta estará en función de las características del puesto específico a evaluar.

Serán considerados tres días de trabajo normales inicialmente, observando la jornada laboral completa, la cual permitirá clasificar los tiempos y determinar el número de días a observar, considerando un 95 % de confianza y un error del 5 %.

Etapas IV. Control de riesgos

Plan de acciones de mejora

Las acciones de mejora se definen según la evaluación de riesgos realizada en las etapas anteriores. Estarán en función de los elementos que necesitan una mejora en el puesto que contribuya a la mejora de la seguridad, salud, bienestar y desempeño laboral de los trabajadores. Los elementos a definir en cada acción de mejora consideran:

- Responsable
- Fecha de cumplimiento: inicio y fin
- Recursos necesarios
- Inversión

Análisis de la factibilidad económica

La factibilidad económica busca realizar un análisis de lo positivo en la aplicación en la empresa de las mejoras propuestas. Para ello, se propone el análisis de costo-beneficio.

Se analiza cuáles son las consecuencias de la no intervención, de la no mejora, de la no implementación de una gestión adecuada en la eliminación, mitigación o control de los riesgos en el área y se analiza la incidencia negativa para la salud, seguridad, bienestar y desempeño de los trabajadores ante situaciones adversas, estimando el costo de la no prevención y haciendo una comparación con la inversión propuesta para solucionar las limitantes encontradas para determinar si su aplicación es factible.

Análisis de las brechas

El análisis de las brechas permite determinar los aspectos que no se pueden cumplir en el momento de la intervención, se justifican las razones y se establecen como puntos que son necesarios darle continuidad en el mediano o largo plazo para contribuir a la mejora continua.

En este momento se determinan los porcentajes de cumplimiento de las acciones de mejora propuestas y se plantean las estrategias necesarias.

4. DISCUSIÓN

La integración de la prevención en la empresa es un concepto fundamental y es la primera obligación en materia de Prevención de Riesgos Laborales (García, 2018). La incidencia que tiene una buena gestión de riesgos laborales contribuye desde muchas aristas con la empresa y los trabajadores. Para la empresa, estos resultados se traducen en mayor rentabilidad, menores indicadores de siniestralidad y mayores ganancias, factores que no pueden garantizarse si el personal que brinda el servicio o realiza las actividades productivas tiene que someterse a constantes riesgos o situaciones que afectan su seguridad, salud y bienestar.

El desempeño laboral tiene una relación directa con las condiciones laborales a las que se exponen los trabajadores y el bienestar que tengan en su puesto de trabajo. El talento humano hace que las organizaciones sean productivas y competitivas, por lo cual

se hace ineludible el compromiso del trabajador con su organización, desvirtuando cualquier conflicto que deteriore su estadía en la empresa (Ccollana-Salazar, 2017).

Algunos autores han desarrollado investigaciones en el campo de la prevención de riesgos laborales y su contribución al mejor desempeño laboral. Entre ellas, la publicada por Real *et al.* (2019) donde se estudia el Régimen de Trabajo y Descanso (RTD) en una empresa hotelera y su incidencia en el incremento de la productividad laboral, que ayuda a valorar y proponer mejoras que permiten el incremento del bienestar laboral y un mayor rendimiento. En esta investigación se evidencia que el considerar el estudio del tiempo de trabajo y el descanso es una variable que permite el diseño de actividades más eficientes y productivas. En este caso, en las tres áreas de estudio hotelero se muestra la propuesta de los tiempos totales de descanso (Real *et al.*, 2019).

Otros autores han enfocado sus estudios en un procedimiento diseñado y desarrollado para empresas de manufactura y de servicios que permite optimizar el desempeño en los sistemas de trabajo. En esta propuesta, se muestran en dos fases y cinco etapas las acciones que se deben desarrollar para la implementación de acciones de mejoras ergonómicas en los puestos (Mejías, 2018). Sin embargo, otros identifican los factores determinantes de la productividad laboral en las pequeñas y medianas empresas (pymes) del sector Confecciones del área metropolitana de Bucaramanga en Colombia, aplicando una encuesta sobre productividad laboral desde dos dimensiones: la humana y la del proceso productivo (Jaimes, Luzardo y Rojas, 2018) y otras investigaciones como la de Hernández y Morales (2017) identifican los factores que determinan la motivación y satisfacción laboral que impactan positivamente en la eficacia y eficiencia de los empleados públicos en un organismo autónomo de la administración pública del Estado de Sinaloa.

En el siglo XXI la mayoría de los puestos de trabajo necesita el uso de PVD, por lo que es responsabilidad del empleador garantizar condiciones de trabajo que no afecten el desempeño laboral con el único fin de alcanzar alta competencia en el mercado (Carmona y Rosas, 2017).

La propuesta del procedimiento es una herramienta útil para que todos aquellos encargados de la prevención de riesgos laborales y el manejo del talento humano en las organizaciones puedan gestionar adecuadamente los riesgos en los puestos con usuarios de PVD y su incidencia en el desempeño laboral. La selección y facilidad de las herramientas propuestas en cada una de las etapas del procedimiento permite la gestión de riesgos de una manera sencilla, que garantice un trabajo digno y que permita el desempeño adecuado sin afectar a los trabajadores ni a las organizaciones.

5. CONCLUSIONES

La prevención de riesgos laborales toma cada vez mayor importancia para garantizar altos índices de competitividad, productividad y eficiencia en el desempeño laboral en las organizaciones, por lo que considerar dentro de los procesos de gestión estos lineamientos es un factor esencial.

El procedimiento puede ser aplicado al trabajo de oficina, ya sea en las áreas de trabajo habituales o en las condiciones actuales, es decir, en los espacios donde se desarrolla el teletrabajo. Dentro de las limitaciones que tiene el procedimiento está que no puede llevarse a cabo si la Alta Gerencia y los trabajadores no asumen el compromiso de colaborar en la investigación. El consentimiento de los trabajadores es fundamental para detectar las brechas y poder implementar acciones de mejora acorde a las situaciones reales de cada organización.

La propuesta del procedimiento, con sus cuatro etapas, analiza y estudia un conjunto de herramientas y métodos que permiten el cumplimiento de su objetivo, pudiendo realizar una evaluación de los factores de riesgo laboral y su incidencia en el desempeño laboral en usuarios de PVD.

La primera etapa se enfoca en realizar el diagnóstico inicial, considerando cuántos trabajadores dentro de la empresa pueden ser usuarios de PVD y se realiza un diagnóstico del estado de salud y el bienestar en su puesto, para ello se propone una encuesta que permita recopilar los datos del trabajador y el *cuestionario nórdico* para valorar los síntomas y malestares de los trabajadores durante el desarrollo de sus actividades. Los resultados de esta etapa permiten a las organizaciones mapear su situación actual y tomar las decisiones adecuadas en continuar el resto de las fases. En caso que en una organización en esta etapa no se detecten signos alarmantes, se detiene el proceso y la observación debe continuar de manera periódica.

En la segunda etapa, considerando aquellos puestos en los que se han detectado problemáticas, se realiza la evaluación detallada, aplicando el método PVcheck, el método ROSA y el método Fpsico, que permiten valorar los factores de riesgos por el uso de PVD, el riesgo de LME y los factores de riesgo psicosocial.

La tercera etapa permite el análisis de la incidencia que han tenido estos riesgos en el desempeño laboral de los trabajadores; para ello, se propone el estudio de los errores que se comenten en sus actividades laborales, se analizan los incumplimientos y se calcula la productividad en el trabajo. Estos resultados permiten demostrar que el desempeño laboral se encuentra muy influenciado por las condiciones en las cuales se realiza la actividad laboral.

El impacto de estas variables y el aporte del procedimiento propuesto permitirá que realizar las adecuaciones a los puestos de trabajo y se vuelva a evaluar el

desempeño laboral, mediante indicadores adaptados a las características del puesto evaluado.

El análisis del costo-beneficio en cada una de las acciones de mejora permite demostrar a la Alta Dirección las ventajas en la gestión de riesgos y la incidencia en el desempeño laboral.

REFERENCIAS

- Arboleda Posada, G. I. y Cardona Jiménez, J. L. (2018). Percepción de la satisfacción con la labor desempeñada y factores de motivación del personal de las instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS) del valle de Aburrá. *Gerencia y Políticas de Salud*, 17(35). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.rgsp17-35.psl>
- Asamblea Nacional República del Ecuador (2008). Constitución de la República del Ecuador. Publicada en el Registro Oficial n.º 449, 20 de octubre del 2008. Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjU-O6ZjpfrAhUvrFkKHZxpCeEQFjAEgQIERAB&url=https%3A%2F%2Fwww.asambleanacional.gob.ec%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdocuments%2Fold%2Fconstitucion_de_bolsillo.pdf&usg=AOvVaw2x-HTv8Xn-VGWgIFpYl3dh5
- Aulestiarte, A. y Villanueva, P. (2013). Análisis comparativo de métodos ergonómicos. Aplicación de casos. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación*. Recuperado de <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/7769>
- Bravo, M. E. y Salazar, J. C. (2017). El clima laboral y su incidencia en el desempeño del personal docente de una escuela de educación básica en Ecuador. *PODIUM*, 131-143.
- Buitrago, A. (2016). Utilidad de las metodologías REBA, RULA y OCRA para valorar la carga física en trabajadores de una empresa del sector floricultor. *Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/55012/1/65829162.2016.pdf>
- Carballé Piñón, R. de los Á. (2015). Estrategia para elevar la motivación laboral; factor imprescindible para mejorar nuestra productividad. *InfoCiencia*, 19(4), 1-12.
- Carmona-Fuentes, P. y Rosas-Reyes, R. E. (2017). Influencia de la inteligencia emocional en el desempeño laboral. *Líder: Revista Labor Interdisciplinaria de Desarrollo Regional*, 19(31), 107-118.
- Casares-Li, R., Rodríguez-Hernández, A. G. y Viña-Brito, S. J. (2016). Análisis de errores humanos mediante la tecnología TErEH: experiencias en su aplicación. *Ingeniería Industrial*, 37(1), 49-58.

- Ccollana-Salazar, Y. (2017). Rotación del personal, absentismo laboral y productividad de los trabajadores. *San Martín Emprendedor*, 6(2), 40-49.
- Cuesta-Santos, A. y Valencia-Rodríguez, M. (2018). Capital humano: contexto de su gestión. Desafíos para Cuba. Human Capital: Context of their management. *Challenges for Cuba*, 39(2), 135-145.
- Diego-Mas, J. A. (2015). Análisis ergonómico global mediante el método LEST. *Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado de <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/lest/lest-ayuda.php>
- Diego-Mas, J. A. (2015). Evaluación de puestos de trabajo de oficinas mediante el método ROSA. *Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado de <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/rosa/rosa-ayuda.php>
- Durany Puig, O. (2019). PRL Industria cárnica. Movimientos repetitivos. *Gestión Práctica de Riesgos Laborales*, 168, 16-20.
- García, R. F. (2018) Prevención de riesgos laborales. Derechos y deberes de los participantes. Sus ventajas para las empresas. *Gestión práctica de riesgos laborales: integración y desarrollo de la gestión de la prevención*, 159, 8-21.
- Hernández Juárez, J. L. y Morales Morales, J. R. (2017). Evaluación de la motivación y satisfacción laboral en un organismo autónomo de la administración pública del Estado de Sinaloa. *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)*, 12(2), 107-147.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST] (2006). Evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos con pantallas de visualización. Recuperado de <https://www.insst.es>
- Jaimes, L.; Luzardo, M. y Rojas, M. D. (2018). Factores determinantes de la productividad laboral en pequeñas y medianas empresas de confecciones del área metropolitana de Bucaramanga, Colombia. *Información Tecnológica*, 29(5), 175-186. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000500175>
- López, J. A. S.; Camal, M. del C. G. y Galicia, W. A. M (2018). Evaluación del desempeño laboral y su incidencia en la productividad en las tortillerías de la localidad de escárcega. *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)*, 13(1), 317-327.
- Martínez, B.; Santo Domingo, S.; Bolea, M.; Casalod, Y. y Andrés, E. (2014). *Validación del cuestionario nórdico musculoesquelético estandarizado en población española. Prevención integral*. Recuperado de <https://www.prevencionintegral.com/ca/canal-orp/papers/orp-2014/validacion-cuestionario-nordico-musculoesquele-tico-estandarizado-en-poblacion-espanola>

- Mejías-Herrera, S. H. (2018). Las herramientas de intervención ergonómica: consideraciones conceptuales y experiencias prácticas en Cuba y Brasil, *Ingeniería Industrial*, 39(1), 3-14.
- Palacio, E. V. G.; Estrada, G. J. A.; Restrepo, K. D. y Toro, S. G. (2017). Relación entre los desórdenes musculoesqueléticos y la postura frente a una pantalla de visualización de datos. *VIREF Revista de Educación Física*, 6(1), 1-12.
- Paredes Rizo, M. L. y Vásquez Ubago, M. (2018). Estudio descriptivo sobre las condiciones de trabajo y los trastornos musculoesqueléticos en el personal de enfermería (enfermeras y AAEE) de la Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos y Neonatales en el Hospital Clínico Universitario de Valladolid. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 64(251), 161-199.
- Real, G. L. R.; Marrero, N. H.; Lezcano, M. D. R. y Ávila, A. A. H. (2019). Valoración de los regímenes de trabajo y descanso. Caso de estudio: Varadero (Cuba). *Anuario Turismo y Sociedad*, 24, 149-160. doi: <https://doi.org/10.18601/01207555.n24.07>
- Real Decreto n.º 488 (14 de abril de 1997) *Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización*. Recuperado de https://infantilprl.saludlaboral.org/wp-content/uploads/2017/01/488_pvd.pdf
- Sonne, M.; Villalta, D. L. y Andrews, D. M. (2011). Development and evaluation of an office ergonomic risk checklist: ROSA-Rapid office strain assessment. *Applied ergonomics*, 43(1), 98-108.

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN EN EMPRESAS DE EXPLOTACIÓN DE ROCAS FOSFÓRICAS PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

REINALDO ALFREDO VICTORIA-BONILLA
<https://orcid.org/0000-0001-9077-3477>
Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia

NATALIA SANDOVAL-CASTRO
<https://orcid.org/0000-0003-4035-6151>
Investigadora independiente, Colombia

RAMIRO GAMBOA-SUÁREZ
<https://orcid.org/0000-0002-5727-6409>
Universidad Surcolombiana, Huila, Colombia

Recibido: 26 de mayo del 2020 / Aprobado: 28 de agosto del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4914>

RESUMEN: El presente estudio tiene como propósito evaluar los niveles de iluminación en las áreas de trabajo de empresas mineras dedicadas a la explotación de rocas fosfóricas para la elaboración de productos agroindustriales en el departamento del Huila. Para dicho estudio, se realizarán mediciones con un luxómetro, considerando la ubicación del terreno donde se encuentran las fábricas, la luz natural y la artificial. Estas mediciones se ejecutarán con el fin de evaluar las condiciones de iluminación que se encuentran en ese sector para determinar recomendaciones y así conseguir mejores resultados en las instalaciones, atendiendo a criterios de cantidad, calidad de luz y eficiencia energética. Posteriormente, en referencia a la normativa colombiana, estos resultados se analizarán, y con ello se determinará si las empresas cumplen con lo establecido para salvaguardar la seguridad y la salud de sus colaboradores.

Palabras clave: niveles de iluminación / áreas de trabajo / luxómetro / sector minero / productos agroindustriales / luxe

* Correos electrónicos: ravictoriab@gmail.com, sandovalcastronatalia@gmail.com, ramiro.gamboa@usco.edu.co

EVALUATION OF LIGHTING LEVELS IN COMPANIES EXPLOITING PHOSPHORIC ROCKS FOR THE PRODUCTION OF AGRO-INDUSTRIAL GOODS IN THE DEPARTMENT OF HUILA

ABSTRACT: The purpose of this study is to evaluate the lighting levels in the working areas of mining companies involved in the exploitation of phosphoric rocks for the production of agro-industrial goods in the department of Huila. To this end, measurements will be made with a luxometer, considering the location of the factories, and the natural and artificial lights. These measurements will be performed to evaluate the lighting conditions found in that sector, provide recommendations and thus achieve better results in the work stations according to light quantity and quality, and energy efficiency. Subsequently, these results will be analyzed based on the Colombian regulations to determine if the companies meet the rules that ensure the employees' safety and health.

Keywords: lighting levels / work areas / luxometer / mining sector / agro-industrial products / lux

1. INTRODUCCIÓN

El departamento del Huila, ubicado al suroeste de Colombia, es considerado uno de los más privilegiados del país, pues su clima tropical permite el desarrollo de diferentes actividades económicas. Según la noticia “El Huila, una economía que diversifica” (2019), el presidente de la Cámara de Comercio, Ariel Rincón, manifiesta que Huila se ha convertido en un referente económico regional cada vez más diversificado. Según Molina y Ortiz (2019), gracias a la diversidad de procesos geológicos que dieron origen a las unidades litológicas presentes en el departamento de Huila, existe una alta variedad de depósitos minerales, recursos hídricos subterráneos y recursos energéticos que argumentan la definición del Huila como una zona estratégica de interés geológico, geomorfológico y ambiental para Colombia.

En el presente estudio, se evaluaron ocho de ellas: agrominerales, CINAGRO, Dolomita Rivera CIA y LTDA, Fosfatos del Huila, Minera Providencia, Minerales Reales del Sur y Montajes Técnicos de Colombia SAS, las cuales se dedican a la explotación y la transformación de rocas fosfóricas para la manufactura de productos agroindustriales.

La higiene industrial, según American Industrial Hygienist Association (1959), es la ciencia y arte dedicados al reconocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales o tensiones emanados o provocados por el lugar de trabajo y que pueden ocasionar enfermedades, destruir la salud y el bienestar o crear algún malestar significativo entre los trabajadores o los ciudadanos de una comunidad. Asimismo, otros conceptos relevantes para el estudio son la seguridad y salud en el trabajo.

Según Melgar, Granados y Ruiz (2009), la seguridad en el trabajo es aquella situación en donde se reducen, en cuanto sea posible, los riesgos laborales mediante la correspondiente acción de prevención, y la salud en el trabajo es el estado de normatividad al que se aspira protegiendo al trabajador frente a posibles agentes insalubres o insano.

Se concluye que los conceptos mencionados previamente son disciplinas que se encargan de mitigar todas las condiciones laborales que pongan en peligro la salud y la seguridad de los empleados. Por eso, en el mundo existen organizaciones como la OIT (Organización Internacional del Trabajo) que se encarga y responsabiliza de la mejora permanente de las condiciones de trabajo. De la misma forma, en Colombia, se cuenta con una robusta normatividad legal que permite dar lineamientos constitucionales obligatorios para todas las organizaciones, ya sean públicas o privadas, como lo es implementar, y mantener el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo. Así está consignado en el capítulo VI del Decreto n.º 1072 (2016) y se acompaña legislaciones como la Ley n.º 9 (1979) y la Resolución 2400.

Además, teniendo en cuenta la industria en la que se desarrolla, esta investigación se rige por la Resolución n.º 180466 (2007), las guías técnicas colombianas de ICONTEC

como la Guía Técnica Colombiana 8 (1995), la Guía Técnica Colombiana 45 (2012) y el Reglamento Técnico de iluminación y alumbrado RETILAP emitido en el año 2010, el cual indica que una adecuada iluminación es aquella que, además de satisfacer necesidades visuales y crear ambientes saludables, seguros y confortables, posibilita a los usuarios disfrutar de ambientes agradables, empleando los recursos tecnológicos más apropiados (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

Cabe destacar que uno de los principales factores de riesgo presentes en este tipo de organizaciones es la iluminación, debido a que este factor se relaciona con la cantidad de luminosidad que se presenta en el sitio de trabajo y los estándares de iluminación se establecen según el tipo de tarea visual que los empleados deben ejecutar, teniendo en cuenta que, cuanto mayor sean los detalles y minucias, más necesaria será la luminosidad. En este sector de producción, las condiciones ambientales de los lugares o puestos de trabajo es uno de los factores más importantes, pues el 80 % de la información se recibe por el campo visual. Es por ello que la iluminación puede impactar de forma positiva (buen ambiente laboral, mayor productividad) o una iluminación deficiente puede generar incomodidades, con los pertinentes perjuicios que esto representa para la salud de las personas, como serios problemas en los ojos, dentro de los cuales se encuentran la sequedad, picor, escozor, dolor de cabeza, cansancio, irritabilidad y mal humor, entre otros problemas (Chavarría, 2003, p. 6).

Es preciso realizar estudios que se encarguen de preservar las condiciones óptimas de trabajo, es decir, “aquellas que impiden que los trabajadores se vean afectados por factores laborales como las cargas físicas y mentales o los factores ambientales (biológicos, físicos, químicos, etc.) que pueden desarrollarse en el ámbito laboral”, como expresan Ortega, Rodríguez y Hernández (2017).

Beltrán y Rodríguez (2019) indican que las actividades que se realizan con un nivel de iluminación inadecuado afectan directamente la productividad, la seguridad y el rendimiento, derivando en problemas de visión. Con la presente investigación se muestra cómo, mediante la aplicabilidad de las leyes, normas y otros factores, se realizan mediciones para evaluar las condiciones de iluminación de estas empresas del sector minero que se dedican a la fabricación de productos agroindustriales y, de esta manera, efectuar comparaciones.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la presente investigación se definió una muestra constituida por las organizaciones agrominerales CINAGRO, Dolomita Rivera CIA y LTDA, Fosfatos del Huila, Minera Providencia, Minerales Reales del Sur, Montajes Técnicos de Colombia SAS. Para este constructo se hará un estudio de caso aplicado en cada empresa mencionada.

El trabajo de campo se desarrolló en el año 2019 y tuvo una duración de seis meses, en los cuales se evaluaron áreas o lugares de trabajo en donde se realizan procesos o actividades como molienda, mezcla, secado, granulación, tolva, almacenamiento de producto terminado o laboratorio de control de calidad. Para el cumplimiento del objetivo general de esta investigación, que es realizar un estudio de iluminación, se propuso como metodología una *investigación cuantitativa*.

Para ello, se realizaron actividades para cumplir con los siguientes objetivos:

- Identificar y cuantificar los sitios y puestos de trabajo
- Cuantificar los niveles de iluminación general en cada uno de los puestos de trabajo
- Aplicar las normas establecidas según la normatividad legal
- Valorar las mediciones y compararlas con los valores recomendados por ICONTEC y la sociedad de ingenieros de iluminación IES
- Analizar y realizar recomendaciones a las empresas para mejorar la iluminación con el fin de disminuir los efectos por una deficiente o excesiva iluminación

Para el cumplimiento de los objetivos y actividades planteadas, en primer lugar se identificaron los puestos de trabajo, en los cuales se iban a realizar las mediciones, según la disponibilidad y los permisos de las empresas, y en los cuales se efectuaron las respectivas mediciones de intensidades de iluminación.

En la etapa de medición, se efectuó una inspección general a las instalaciones y puestos de trabajo, donde se evaluaron aspectos como la apariencia de las áreas físicas, las condiciones de los puntos de interés, la comodidad visual, el tipo de alumbrado, la limpieza del área y de las luminarias de alumbrado y la frecuencia como se realiza, el ambiente cromático, el deslumbramiento y las sombras. Por lo anterior, las mediciones desarrolladas en las áreas y puestos de trabajo de las industrias del estudio se basaron en los parámetros establecidos por el Ministerio de la Protección Social, en donde se enciende el luxómetro, revisando el estado de la batería y verificando que la pantalla indique cero con la fotocelda cubierta, seguidamente se selecciona la unidad de medición, la escala y el tipo de luz para continuar colocando la fotocelda sobre el plano del puesto de trabajo del operario, tomándose tres mediciones mínimo en el horario comprendido desde las 10:00 a las 14:00 horas. Luego, de los datos obtenidos en las mediciones se calculan el valor promedio y se compara con los valores recomendados para determinar que estén en el valor límite permisible que según la Resolución 2400 (1979), en su artículo 83, se establecen los siguientes niveles:

Tabla 1
Rangos de intervalos recomendados

Oficina	300 a 500 lux
Bancos de trabajo	500 a 1000 lux (diferenciación de detalles finos)

Elaboración propia

A partir de lo mencionado previamente, se realizó la medición, y para la interpretación de los resultados se tuvo en cuenta lo que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2
Interpretación de la medición

N.º	Calificación	Rango
1	Iluminación adecuada	Niveles de iluminación dentro del rango permitido
2	Iluminación deficiente	Niveles de iluminación por debajo del límite inferior del rango permitido
3	Iluminación por encima del intervalo	Niveles de iluminación por encima del límite superior del rango permitido (solamente aplica para iluminación de tipo artificial) Si es de tipo natural no se considera perjudicial

Fuente: ICONTEC (1994)

Para las mediciones respectivas, se utilizó un equipo de medición de iluminación digital *lux meter* de marca Tondaj de referencia LX 1010B, con las especificaciones que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
Especificaciones generales del luxómetro

Pantalla	18" (0,7") LCD
Rango	0 a 50 000 lux - 0 a 100 000 lux
Tiempo de muestra	0,4 s
Operación de temperatura	0 °C a 40 °C o 32 °F a 104 °F
Operación de humedad	0 a 80 %Rh
Dimensión	116 x 70 x 29 mm
Peso	200 g

Fuente: The Calibration Centre (2016)

3. RESULTADOS

Una vez conocidas las características de las áreas de trabajo tales como horma rectangular, localizadas sobre terreno plano y en un nivel, con pisos resistentes al choque y abrasión y que no sean resbaladizas, sus estructuras son de cubierta de techo en forma de armadura metálica con cubiertas en zinc, como también sus diseños, sin cerramientos y con una altura promedio de 10 a 12 m para atenuar la calor ambiental y mantener buena iluminación natural, sus lámparas son de tipo industrial de sodio, en un promedio de diez lámparas para las áreas de proceso y producto terminado distribuidas proporcionalmente y a una altura de las superficie que oscila entre 6 a 8 m. Las actividades que se desarrollan en las industrias del sector para el área de materias primas e insumos son a cielo abierto, donde el material rajón o ripio se descarga por acción de volteo de las volquetas y que son movilizados por los operarios por medio de buguis o vagonetas al área de proceso donde por medio de molinos de martillos y paletas las piedras rajón se trituran hasta disminuir hasta diez micras, generando material particulado e impalpable, el cual se recoge por medio de extractores de campana y se almacenan en filtros de tela y silos, para pasar a unas zarandas que clasificaran el grano y finalizar con el almacenamiento en silos, dependiendo del tamaño del grano, para ser empacados en sacos de polipropileno de 50 kg para ser despachados en tractocamiones a los clientes.

Por todo lo anterior, las exigencias visuales y los requisitos del medio ambiente visual, que deben cumplir estas empresas del sector minero, están acordes a las necesidades y pasan por mediciones que habitualmente son objeto de medición para la evaluación y acondicionamiento ergonómico de la iluminación en puestos de trabajo, como la *intensidad de lux*. A continuación se presentan los resultados de dichos cálculos:

Tabla 4
Evaluación ambiental de iluminación agrominerales y abonos

Puesto de trabajo	Intensidad de iluminación (lux)			Nivel promedio (lux)	Nivel recomendado (lux)	Criterio de uniformidad $\frac{\text{Nivel promedio}}{\text{Nivel medio}} > 0,66$				Calificación de la iluminación
	795	842	890			0,94	1,00	1,06	Sí	
Zona industrial	795	842	890	842,33	750	0,94	1,00	1,06	Sí	Adecuada

Elaboración propia

En la tabla 4 se observa que los resultados arrojados en relación con las medidas de intensidad de iluminación tomados se encuentran por encima del nivel recomendado de *lux*, pero según el criterio de uniformidad la calificación de la iluminación es adecuada, es decir, los niveles de iluminación están dentro del rango permitido.

Tabla 5
Evaluación ambiental de iluminación Cinagro LTDA

	Puesto de trabajo	Intensidad de iluminación (lux)			Nivel promedio (lux)	Nivel recomendado (lux)	Criterio de uniformidad $\frac{\text{Nivel promedio}}{\text{Nivel medio}} > 0,66$				Calificación de la iluminación
Molienda	Tolva	836	915	764	838,33	750	1,00	1,09	0,91	Sí	Adecuada
	Trituración	930	840	900	890,00	750	1,04	0,94	1,01	Sí	Adecuada
	Molienda	870	925	795	863,33	750	1,01	1,07	0,92	Sí	Adecuada
	Mezcla	789	935	850	858,00	750	0,92	1,09	0,99	Sí	Adecuada
	Granulación	910	830	980	906,67	750	1,00	0,92	1,08	Sí	Adecuada

Elaboración propia

En la tabla 5 se observa que los resultados arrojados en relación con las medidas de intensidad de iluminación tomados se encuentran por encima del nivel recomendado de lux, pero según el criterio de uniformidad la calificación de la iluminación es ADECUADA, es decir, los niveles de iluminación están dentro del rango permitido.

Tabla 6
Evaluación ambiental de iluminación Dolomita del Huila

	Puesto de trabajo	Intensidad de iluminación (lux)			Nivel promedio (lux)	Nivel recomendado (lux)	Criterio de uniformidad $\frac{\text{Nivel promedio}}{\text{Nivel medio}} > 0,66$				Calificación de la iluminación
	Tolva	865	948	795	869,33	750	1,00	1,09	0,91	Sí	Adecuada

Elaboración propia

En la tabla 6 se observa que los resultados arrojados en relación con las medidas de intensidad de iluminación tomados, se encuentran por encima del nivel recomendado de lux, pero según el criterio de uniformidad la calificación de la iluminación es ADECUADA, es decir, los niveles de iluminación están dentro del rango permitido.

Tabla 7
Evaluación ambiental de iluminación fosfatos del Huila

Puesto de trabajo	Intensidad de iluminación (lux)			Nivel promedio (lux)	Nivel recomendado (lux)	Criterio de uniformidad $\frac{\text{Nivel promedio}}{\text{Nivel medio}} > 0,66$				Calificación de la iluminación
Almacenamiento producto terminado	850	677	895	807,33	750	1,05	0,84	1,11	Sí	Adecuada
Tolva	651	891	765	769,00	750	0,85	1,16	0,99	Sí	Adecuada
Tolva Zaranda	1100	950	1250	1100,00	750	1,00	0,86	1,14	Sí	Adecuada
Clasificación material estéril sobre la banda	1500	650	1105	1085,00	750	1,38	0,60	1,02	Sí	Adecuada
Tolva producto final	1150	950	850	983,33	750	1,17	0,97	0,86	Sí	Adecuada
Laboratorio de Control de calidad	1100	850	950	966,67	750	1,14	0,88	0,98	Sí	Adecuada
Retroexcavadora	985	1217	1028	1076,67	750	0,91	1,13	0,95	Sí	Adecuada

Elaboración propia

En la tabla 7 se observa que algunos los resultados arrojados en relación con las medidas de intensidad de iluminación tomados se encuentran por encima del nivel recomendado de lux, y en algunos casos por encima del límite permitido, pero teniendo en cuenta el criterio de uniformidad la calificación de la iluminación, el horario y las condiciones de iluminación en las que se encuentran estos lugares de trabajo la iluminación es ADECUADA, ya que para ser catalogada como ILUMINACIÓN POR ENCIMA DEL INTERVALO solo aplica para iluminación de tipo artificial, pues cuando es natural no se considera perjudicial.

Tabla 8
Evaluación ambiental de iluminación Minera Providencia

Puesto de trabajo	Intensidad de iluminación (lux)			Nivel promedio (lux)	Nivel recomendado (lux)	Criterio de uniformidad $\frac{\text{Nivel promedio}}{\text{Nivel medio}} > 0,66$				Calificación de la iluminación
Molino Mandíbula	1200	980	1150	1110,00	750	1,08	0,88	1,04	Sí	Adecuada
Molino martillos	1050	1100	1220	1123,33	750	0,93	0,98	1,09	Sí	Adecuada
Secado y granulado	1245	1070	1180	1165,00	750	1,07	0,92	1,01	Sí	Adecuada

Elaboración propia

En la tabla 8 se observa que los resultados arrojados en relación con las medidas de intensidad de iluminación tomados se encuentran por encima del nivel recomendado de lux, y en algunos casos por encima del límite permitido; sin embargo, considerando el criterio de uniformidad, la calificación de la iluminación, el horario y las condiciones de iluminación en las que se encuentran estos lugares de trabajo la iluminación es ADECUADA, ya que para ser catalogada como ILUMINACIÓN POR ENCIMA DEL INTERVALO solo aplica para iluminación de tipo artificial, pues cuando es natural no se considera perjudicial.

Tabla 9
Evaluación ambiental de iluminación Minerales Barios

	Puesto de trabajo	Intensidad de iluminación (lux)			Nivel promedio (lux)	Nivel recomendado (lux)	Criterio de uniformidad $\frac{\text{Nivel promedio}}{\text{Nivel medio}} > 0,66$				Calificación de la iluminación
Molino sin triturador	Molino	795	840	910	848,33	750	0,94	0,99	1,07	Sí	Adecuada
	Pesado de bultos 1	810	860	900	856,67	750	0,95	1,00	1,05	Sí	Adecuada
	Pesado de bultos 2	945	850	790	861,67	750	1,10	0,99	0,92	Sí	Adecuada
	Tolva alimenticia	830	920	875	875,00	750	0,95	1,05	1,00	Sí	Adecuada

Elaboración propia

En la tabla 9 se observa que los resultados arrojados en relación con las medidas de intensidad de iluminación tomados se encuentran por encima del nivel recomendado de lux, pero según el criterio de uniformidad la calificación de la iluminación es ADECUADA, es decir, los niveles de iluminación están dentro del rango permitido.

Tabla 10
Evaluación ambiental de iluminación Minerales del Sur

	Puesto de trabajo	Intensidad de iluminación (lux)			Nivel promedio (lux)	Nivel recomendado (lux)	Criterio de uniformidad $\frac{\text{Nivel promedio}}{\text{Nivel medio}} > 0,66$				Calificación de la iluminación
	Molino 4: Producción de dolomita	1000	850	1000	950,00	750	1,05	0,89	1,05	Sí	Adecuada
	Molino 6: Producción de granito marmolina malla 400	980	1050	795	941,67	750	1,04	1,12	0,84	Sí	Adecuada

Elaboración propia

En la tabla 10 se observa que los resultados arrojados en relación con las medidas de intensidad de iluminación tomados se encuentran por encima del nivel recomendado de *lux*, ya casi llegando al límite permisible, pero según el criterio de uniformidad la calificación de la iluminación es ADECUADA, es decir, los niveles de iluminación están dentro del rango permitido y además al tratarse de iluminación natural no se considera perjudicial.

Tabla 11

Evaluación ambiental de iluminación Montajes Técnicos de Colombia

Puesto de trabajo	Intensidad de iluminación (<i>lux</i>)			Nivel promedio (<i>lux</i>)	Nivel recomendado (<i>lux</i>)	Criterio de uniformidad $\frac{\text{Nivel promedio}}{\text{Nivel medio}} > 0,66$				Calificación de la iluminación
	915	780	840			1,08	0,92	0,99	Sí	
Molino 1	915	780	840	845,00	750	1,08	0,92	0,99	Sí	Adecuada

Elaboración propia

En la tabla 11 se observa que los resultados arrojados en relación con las medidas de intensidad de iluminación tomados se encuentran por encima del nivel recomendado de *lux*, pero según el criterio de uniformidad la calificación de la iluminación es ADECUADA, es decir, los niveles de iluminación están dentro del rango permitido.

Todos los resultados mostrados anteriormente tomados en las diferentes áreas y puestos se encuentran dentro los estándares del Ministerio de la Protección Social y la tabla de calificación diseñada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo de España, guardando un comportamiento similar, resaltando que una iluminación adecuada es cuando los niveles de iluminación están dentro del rango permitido, el cual es de 500 a 1000 *lux*.

4. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta el desarrollo y los resultados de la investigación, y sobre todo las normas legales que rigen en Colombia, el área de seguridad y salud en el trabajo las cuales fueron acogidas en esta investigación (Resolución 2400, la GTC 8 y el RETILAP), a continuación se presenta la figura 1 con el nivel promedio de *lux*, en el cual se encuentra el nivel promedio de las mediciones realizadas en cada una de las áreas de trabajo de las ocho empresas para el estudio. También se encuentra demarcado el *nivel mínimo*, *nivel máximo* y *nivel recomendado*.

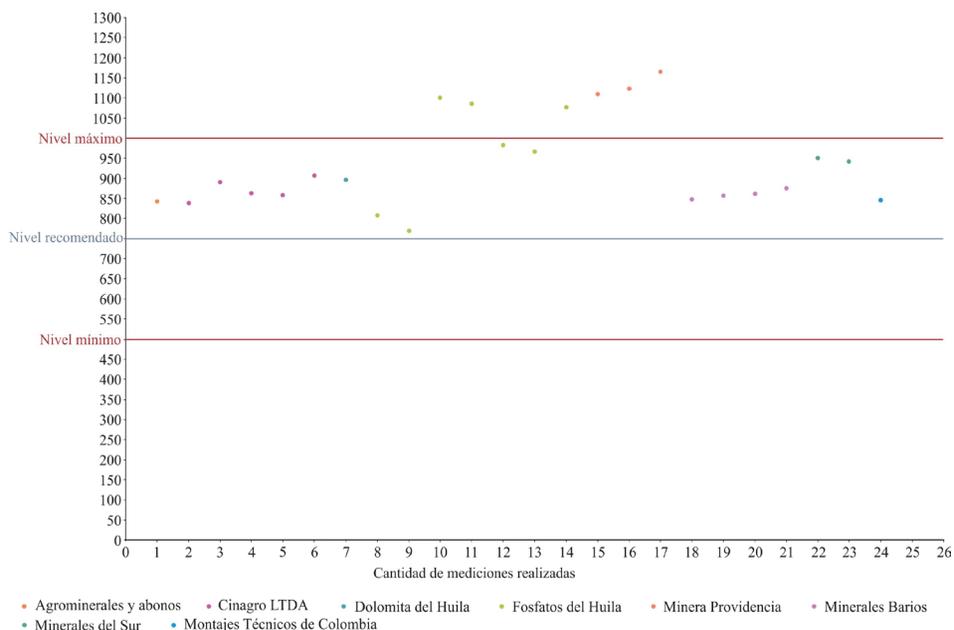


Figura 1. Nivel promedio de lux

Elaboración propia

En la figura 1 se puede observar que en las empresas Agrominerales y Abonos, Cinagro LTDA, Dolomita del Huila, Minerales Barios, Minerales del Sur y Montajes Técnicos de Colombia. El nivel de lux se encuentra dentro de los límites que tiene estipulados la Resolución 2400, lo que clasifica estos puestos de trabajo con una iluminación adecuada para el caso de las empresas Fosfatos del Huila y Minera Providencia. Las mediciones realizadas arrojan resultados por encima del límite máximo (1000 lux); sin embargo, no se considera que la iluminación de estos lugares de trabajo se clasifique como iluminación por encima del intervalo. Como se explica en la GTC 8, si estos niveles son causados por iluminación natural, entonces la iluminación es adecuada; en caso que los niveles de lux sean por iluminación artificial, entonces sí se encontrarían dentro de esta categoría. En este tipo de empresas, es común que la iluminación natural sea protagonista, ya que estas plantas de producción se encuentran ubicadas en terrenos lo suficientemente extensos y con una infraestructura amplia con un diseño que permite el aprovechamiento de la luz solar. La importancia de estar entre los límites permisibles se debe a que la mayor parte de la información que las personas reciben es por medio de la vista, y aunque esta es capaz de adaptarse a unas condiciones deficientes, tener una buena iluminación ayuda a los empleadores a evitar el riesgo para los trabajadores que

se encuentran expuestos a una mala iluminación y a conseguir un mayor rendimiento en el trabajo y prolongar su salud.

En otros estudios realizados previamente, como *Niveles de iluminación en puestos de estudio – Biblioteca sede Candelaria* de la Universidad Libre de Colombia, por Beltrán Vera y Rodríguez Borda (2019), que tenía como propósito determinar los niveles de iluminación de estos espacios, a pesar de que se desarrollen en ellos actividades diferentes, se presenta una relación entre las mediciones realizadas y el método, el cual se empleó para llevar a cabo esta investigación. Por lo tanto, en el estudio mencionado se concluye que la uniformidad de la iluminación de la biblioteca no cumple con los estándares que exigen las normas legales y presenta un 73 % de los niveles por fuera de los límites de control —tanto inferiores como superiores—, lo que indica que existe un riesgo para quienes permanecen un tiempo de exposición considerable.

En contraste, los resultados del presente estudio demuestran que las empresas pertenecientes a la industria minera cumplen actualmente los reglamentos técnicos para el funcionamiento, guardando los protocolos de seguridad y salud en el trabajo para proteger la integridad de los trabajadores. En cuanto a la iluminación, los lugares de trabajo se encuentran con iluminación adecuada prevenir accidentes, reducir problemas de salud, mejorar el rendimiento laboral y la concentración.

CONCLUSIONES

Luego de llevar a cabo la presente investigación, y según la revisión literaria acerca de seguridad y salud en el trabajo, específicamente en lo relacionado a la iluminación en las empresas del sector minero, que tienen por actividad económica la transformación de roca fosfórica en productos de uso agroindustrial (fertilizantes, abonos, etcétera), se puede decir que todas las empresas que participaron en este estudio:

- Cuentan con una iluminación adecuada, lo que garantiza para el trabajador óptimas condiciones de trabajo debido a la excelente iluminación en que se encuentran las áreas y los puestos de trabajo.
- Aprovechan al máximo la luz natural en los talleres de mantenimiento y las áreas de producción.
- La distribución de la iluminación es uniforme y adecuada y cumple con lo recomendado según las leyes y guías técnicas colombianas para cada puesto de trabajo.

Por tanto, las áreas de trabajo que fueron objeto de inspección se clasifican en un nivel aceptable de iluminación. Se llega a dicha conclusión a partir de lo estipulado en la Resolución 2400 y la GTC 8, en donde muestra que los niveles de iluminación adecuados

para estas áreas deben estar entre los 500 y los 1000 *lux*, y que el nivel promedio es de 750 *lux*. Además, si en algún momento la medición da por encima de estos niveles, es por la luz natural que se encuentra en los lugares donde se encuentran ubicadas las plantas de producción.

Finalmente, gracias a los resultados obtenidos mediante las listas de chequeo y mediciones realizadas, analizando la identificación de peligros y evaluación de riesgos, se puede concluir que el riesgo por iluminación deficiente en estas empresas no se presenta, debido a que las actividades derivadas de trabajo son realizadas con la iluminación adecuada, haciendo uso de la luz solar y una correcta la luz artificial, con el fin de preservar un buen ambiente de trabajo. Además de lo dicho anteriormente, la importancia de realizar estudios como estos en la región hace que de cierta manera se genere un control en las empresas, pero con mayor razón en empresas de este sector económico, pues son empresas que de un tiempo prudencial se han convertido en parte importante para el desarrollo económico por ende, realizar seguimiento a diferentes factores de la seguridad y salud en el trabajo hace que cada vez estas condiciones repercutan en una buena salud laboral en las empresas.

REFERENCIAS

- American Industrial Hygienist Association (1959). *American Industrial Hygiene Association Journal*.
- Beltrán Vera, J. F. y Rodríguez Borda, N. E. (2019). *Niveles de iluminación en puestos de estudio-Biblioteca Sede Candelaria* [tesis de grado, Universidad Libre de Colombia].
- Chavarría, R. (2003). *Iluminación en el puesto de trabajo*. Boletín de prevención de riesgos laborales para la Formación Profesional del Instituto de seguridad e higiene. Madrid.
- Decreto Reglamentario n.º 1072 (2016) Sector del trabajo. Recuperado de <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/0/DUR+Sector+Trabajo+Actualizado+a+15+de+abril++de+2016.pdf/a32b1dcf-7a4e-8a37-ac16-c121928719c8>
- El Huila, una economía que diversifica (30 de julio de 2019). *Portafolio*. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/el-huila-una-que-se-diversifica-532088>
- ICONTEC (1994). *Guía Técnica Colombiana GTC 8: Electrotecnia. Principios de ergonomía visual. Iluminación para ambientes de trabajo en espacios cerrados*. Recuperado de https://www.academia.edu/40868915/GU%C3%8DA_T%C3%89CNICA_GTC_COLOMBIANA_8

- ICONTEC (2012). *Guía Técnica Colombiana GTC 45: Guía para la identificación de los peligros y la valoración de riesgos en seguridad y salud ocupacional*. Recuperado de <https://idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/gtc450.pdf>
- Melgar, A. M., Granados, J. P. y Ruiz, I. A. (2009). *Curso de seguridad y salud en el trabajo*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia (30 de marzo, 2010) *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP*. Recuperado de <https://www.mine-nergia.gov.co/retilap>
- Molina Calderón, S. y Ortiz Rojas, H. M. (2019). Análisis de las potencialidades del sector minero del departamento del Huila. *Revista Nova*, 4, 57-67. <https://doi.org/10.23850/25004476.2027>
- Ortega Alarcón, J. A., Rodríguez López, J. R. y Hernández Palma, H. (2017). Importancia de la seguridad de los trabajadores en el cumplimiento de procesos, procedimientos y funciones. *Revista Academia y Derecho*, 8 (14), 155-176.
- Resolución 2400 (1979). Disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad industrial en los establecimientos de trabajo. Resolución 2400. Recuperado de <https://www.secretariajuridica.gov.co/transparencia/marco-legal/normatividad/resoluci%C3%B3n-2400-1979#:~:text=Descripci%C3%B3n%3A,en%20los%20establecimientos%20de%20trabajo>
- Resolución n.º 180466 (2 abril del 2007). *Modificación del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE*. Recuperado de http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_759920423021f034e0430a010151f034
- The Calibration Centre (2016) *Operation Manual Digital lux meter: LX1010B*. Recuperado de https://www.thecalibrationcentre.co.uk/wp-content/uploads/2016/02/LX1010B_Luxmeter-Datasheet.pdf

MEJORA DEL *LEAD TIME* Y PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO ARMADO DE PIZZAS APLICANDO HERRAMIENTAS DE *LEAN* *MANUFACTURING*

BRUCE ESCUDERO-SANTIAGO*
<https://orcid.org/0000-0002-8693-5952>
Universidad de Lima, Perú

Recibido: 29 de febrero del 2020 / Aprobado: 24 de julio del 2020
doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4915>

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo es mejorar los niveles de lead time y productividad en el proceso armado de pizzas en una mediana empresa, utilizando herramientas de *lean manufacturing* para implementar un método de trabajo que elimine los desperdicios o actividades que no agregaban valor al proceso. Los resultados mostraron una reducción del *lead time* del proceso en 99 % y un incremento de la productividad hasta en 20 % respecto de la situación inicial. Se constató que las herramientas implementadas, como la gráfica de equilibrio, las 5S o la manufactura celular permitieron eliminar los desperdicios encontrados en el proceso.

Palabras clave: lean manufacturing / lead time / productividad

LEAD TIME AND PRODUCTIVITY IMPROVEMENT IN A PIZZA ASSEMBLY PROCESS USING LEAN MANUFACTURING TOOLS

ABSTRACT: The present work aims to improve the lead time and productivity in the pizza assembly process of a medium-sized company. To this end, lean manufacturing tools were used for implementing a work method that eliminates wastes or activities that add no value to the process. The results showed a reduction in the process lead time by 99% and an increase in the productivity of up to 20% compared to the initial situation. It was concluded that the tools used in the research, such as the line balancing graph, 5S or cellular manufacturing, allowed the elimination of wastes found during the process.

Keywords: lean manufacturing / lead time / productivity

* Correo electrónico: escuderoBruce@gmail.com, bruce@aloe.ulima.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

El término *manufactura esbelta* (*lean manufacturing*) fue introducido en occidente por primera vez en 1990 con la publicación del libro *La máquina que cambió al mundo*, de James P. Womack (Womack y otros, 1990), basado en el estudio del sistema de producción Toyota realizado por el MIT. El autor mostraba cómo la administración, los trabajadores de línea y los proveedores podían trabajar conjuntamente en las plantas de manufactura para mejorar la eficiencia operacional a través de mejoras de la calidad y de las entregas a tiempo, reduciendo los costos, aumentando la velocidad de entrega y tiempos de ciclo, incrementando la productividad e impactando positivamente sobre los resultados financieros (Cooper *et al.*, 2008; Monge, Cruz y López, 2013). Taiichi Ohno, diseñador del sistema de producción Toyota, fue la primera persona en reconocer la enorme cantidad de muda¹ o desperdicio que existía en el *gemba*² y la clasificó en siete categorías: muda de sobreproducción, muda de inventario, muda de reparaciones/rechazo de productos defectuosos, muda de movimiento, muda de sobre procesamiento, muda de espera y muda de transporte (Imai, 1998).

El principio fundamental de *lean manufacturing* es que el producto o servicio debe ajustarse a lo que el cliente requiere y para satisfacer estas condiciones propugna la eliminación de desperdicios. En general, las tareas que contribuyen a incrementar el valor del producto no superan el 1 % del total del proceso productivo, es decir, el 99 % de las actividades restantes no aportan valor y entonces constituyen desperdicios (Rajadell y Sánchez, 2010).

Existen tres fases para implementar *lean manufacturing*, según Tapping y Shuker (2003): conocer la demanda del cliente, establecer un flujo continuo y nivelar la producción. Se debe establecer un flujo continuo para asegurar que las unidades de trabajo correctas lleguen en el momento correcto (p. 50) teniendo como uno de sus soportes al método de inventario FIFO, el cual asegura que el trabajo más antiguo debe ser el primero en ser procesado (p. 104). Para Rother y Shook (1999), los sistemas de “flujo jalado” (PULL) son una manera eficaz de controlar la producción entre procesos que no se pueden unir en un flujo continuo (p. 48).

Según Socconini (2017), los diagramas de flujo de valor (VSM) permiten la detección de las actividades que no agregan valor al proceso (p. 103); además, considera que las 5S debe representar el inicio de un sistema de mejora (p. 147); así también, según Bicheno y Holweg (2009), la manufactura celular permite reducir el *lead time*, reduce inventarios y permite identificar tempranamente problemas de calidad (p. 123).

1 Hace referencia a cualquier actividad que no agregue valor.

2 Palabra japonesa que significa “lugar real”; ahora, adaptada en la terminología gerencial se refiere al lugar de trabajo.

Luego de implementar una mejora, es importante preservar los resultados; por ello, según la Secretaría Central de ISO (2015), el conocimiento, los resultados de una mejora en el proceso de una empresa deben mantenerse y poner a disposición (p. 7).

La revisión de literatura ha brindado un panorama del estado de investigación: estudios que consolidan lo realizado como alternativa de mejora, Martínez *et al.* (2015) en el estudio *Mejora en el tiempo de atención al paciente en una Unidad de Urgencias mediante la aplicación de* demostraron que, aplicando las herramientas de *lean manufacturing* VSM y diagrama de Spaghetti, obtuvieron una reducción promedio de tiempos de ciclo del 54 %. Salazar (2017), en su trabajo *Mejora en la productividad durante la fabricación de cabina cerrada implementando lean manufacturing en una empresa privada metalmecánica* demostraría que la eliminación de actividades innecesarias incrementa la productividad en 25 % y reduce los tiempos del proceso en 32 % aplicando herramientas de *lean manufacturing* como 5S y flujo continuo en la distribución de planta. Por su parte, Ríos (2018) indicó que, aplicando 5S, balance de línea y flujo continuo en la redistribución de planta, se consigue aumentar la productividad en 44,4 %, reducir el tiempo de producción en 24,4 % y reducir las distancias recorridas de producción en 18,4 %.

La publicación de la Cámara de Comercio de Lima (2018) señala que, en el Perú, el 99,8 % de las empresas son micro, pequeñas y medianas, que solo generan el 20 % de las ventas totales del país por lo que requieren mejorar su competitividad y productividad.

Se realiza el presente estudio en una mediana empresa constituida en el año 2015, dedicada a la elaboración de productos de panadería y alimentos preparados perecederos. Sus pizzas de tamaño familiar y personal son uno de los productos con mayor volumen de producción, con tendencia al incremento de pedidos. Uno de los problemas principales que tiene el área de armado de pizzas es el incorrecto método de producción, la ineficiente distribución de las actividades y un uso ineficaz de insumos y materiales, lo que impacta negativamente en los tiempos de producción y la productividad operativa. El objetivo central es mejorar el *lead time* y la productividad en el proceso armado de pizzas, por lo que el objeto del presente trabajo la eliminación de los desperdicios o actividades que no agregan valor.

El aporte de este estudio queda demostrado al obtenerse mejoras en el *lead time* y la productividad, estableciendo un flujo continuo del producto a elaborar, con inventarios mínimos y controlados, reemplazando el exceso de sobreproducción, inventarios y tiempos de espera de la situación inicial. Como aporte social, se logró que los operarios realicen sus actividades de manera más eficiente, dejando a la empresa la posibilidad de realizar contrataciones de operarios según los requerimientos de las células de producción.

2. METODOLOGÍA

La investigación es aplicada en el área de trabajo, realizando observaciones de campo³ al sistema de producción para recoger información, analizarla e implementar la mejora del proceso aplicando las herramientas de *lean manufacturing*. De la muestra realizada en un tiempo de cuatro semanas se recogen veintiséis valores para el *lead time*, la productividad de mano de obra, tiempos de espera entre las actividades del proceso en estudio e inventarios en proceso.

La investigación se ha estructurado considerando la descripción del proceso, la identificación de las actividades que no agregan valor en el proceso, la implementación de *lean manufacturing* a través de las herramientas: gráfica de equilibrio, las 5S, manufactura celular y VSM.

Según Tapping y Shuker (2003), existen tres fases para implementar *lean manufacturing* siguiendo este orden: comprender y satisfacer la demanda del cliente, establecer un flujo continuo para garantizar que el producto correcto llegue en el momento correcto y realizar la nivelación de la producción para distribuir el trabajo de manera uniforme (p. 50).

2.1 Variables

A continuación, se muestran las variables independientes (desperdicios asociados, como sobreproducción, inventarios, movimientos innecesarios, transporte de materiales, tiempo de espera, defectos) y las variables dependientes (*lead time* y productividad). Los desperdicios asociados son los mismos para ambas variables dependientes.

Y1: *Lead time*

X1: Sobreproducción, inventarios, movimientos innecesarios, transporte de materiales, tiempo de espera, defectos.

Y2: Productividad (unidades/h-h⁴)

X2: Sobreproducción, inventarios, movimientos innecesarios, transporte de materiales, tiempo de espera, defectos.

RESULTADOS - SITUACIÓN INICIAL

La demanda diaria de pizzas es cambiante según el requerimiento del cliente. El proceso en estudio comienza desde la colocación de *stickers* de fecha de vencimiento

3 Estar en el lugar donde ocurren los hechos.

4 Horas-hombre.

en los ingredientes hasta colocar la pizza envuelta en papel film en la jaba, el detalle se describe en el SIPOC⁵ (tabla 1). El producto final se distribuye a las tiendas en diferentes distritos de Lima.

Tabla 1
SIPOC

PROVEEDOR	ENTRADAS					PROCESO	SALIDAS	REQUERIMIENTOS DE LAS SALIDAS	CLIENTE
	Mano de obra	Material	Máquina	Cantidad	Descripción				
Gerencia general	Secretaria			1	Con experiencia de 3 años en labores administrativas	Colocar <i>sticker</i> de ingredientes/ fecha de vencimiento en plato	Platos con <i>stickers</i> adheridos	Platos con <i>stickers</i> adheridos	Área de producción
Almacén				1	Equipo portátil pequeño para adherir <i>sticker</i> de fechas de vencimiento				
Almacén		Platos de tecnopor		Según volumen de producción	Platos de poliestireno expandido, material plástico espumado				
Almacén		<i>Stickers</i> autoadhesivos		Según volumen de producción					
Gerencia general	Operario(s) de producción			5 - 9	Con / sin experiencia	Colocar plato en mesa	Producto terminado que recibirá cliente	Producto terminado con <i>stickers</i> legibles, <i>film</i> que envuelve el producto sin roturas	Área de despacho
Almacén		Platos con <i>stickers</i> adheridos		Según volumen de producción					
Área de horneado		Masa horneada		Según volumen de producción	Bajo en dorado / tamaño definido para pizza tamaño familiar y personal	Colocar masa horneada en plato			
Almacén		Salsa de tomate		Según volumen de producción	Bolsas herméticas de 5 kg, en buen estado	Colocar salsa de tomate en masa horneada			
						Expandir salsa de tomate			
Almacén		Queso		Según volumen de producción	Queso rallado en bolsas herméticas con atmósfera modificada de 3 kg, en buen estado	Colocar queso rallado sobre salsa de tomate			
						Expandir queso rallado sobre salsa de tomate			
Almacén		Jamonada		Según volumen de producción	Cortada en cuadrados, en bolsas al vacío de 1 kg, en buen estado	Colocar jamonada sobre queso rallado			
Área de producción			Bitafiladora	2	Soporte para papel <i>film</i>	Bitafilar plato con masa horneada, salsa de tomate, queso rallado, jamonada			
Área de producción		Producto a envolver		Según volumen de producción	Plato con masa horneada, salsa tomate, queso rallado, jamonada				
Almacén		<i>Stickers</i>		Según volumen de producción	<i>Stickers</i> con logo de la empresa	Colocar <i>sticker</i> de marca de cliente			
Área de despacho		Jabas		Según volumen de producción		Colocar producto bitafilado en jaba			

Elaboración propia

5 Herramienta utilizada para analizar el proceso y su entorno.

3.1 Desperdicios identificados en el proceso

La información recogida mostró que los mayores valores de tiempos de espera alcanzaban un 72,5 %, que correspondían a las actividades “colocar *stickers* de fecha de vencimiento-ingredientes en el plato” y “colocar plato en mesa”, teniendo como causa la sobreproducción en colocar los *stickers*, seguida por el tiempo de espera entre “expandir queso rallado” y “colocar jamonada” con un 7,5 %.

Se evidenció que el *lead time* podía llegar a 6,9 horas para producir “un” producto y que las horas-hombre extras podían tener un promedio de 9,30 horas por los tiempos empleados en realizar actividades que no agregaban valor, ocasionando un impacto negativo en los niveles de productividad.

Los desperdicios identificados en el proceso, como sobreproducción, inventarios de *stickers* de fecha de vencimiento e ingredientes en platos, movimientos innecesarios, transporte en recipiente de la salsa de tomate que se agregará sobre la masa horneada, tiempos de espera, defectos, entre otros, se muestran en el VSM actual.



Figura 1. Desperdicios identificados

Elaboración propia

En la figura 2 se observa el VSM actual del proceso armado de una pizza de tamaño familiar para elaborar un solo producto, el cual incluye los desperdicios identificados: tiempos de espera entre cada actividad, tiempos de ciclo⁶, inventarios en proceso entre cada actividad y valor del *lead time*. La manera de producir era la misma para las pizzas tamaño familiar y tamaño personal, por ello, solo se representa el VSM actual para la pizza tamaño familiar. El *lead time* lo conforman los tiempos de espera⁷ (tiempos de valor no agregado) más los tiempos de ciclo⁸ (tiempo de valor agregado).

6 Valores promedio.

7 Tiempo que una unidad de trabajo esperará a que una actividad o proceso posterior esté listo para trabajar en él.

8 Tiempo que transcurre desde el comienzo de una actividad o proceso individual hasta que se completa.

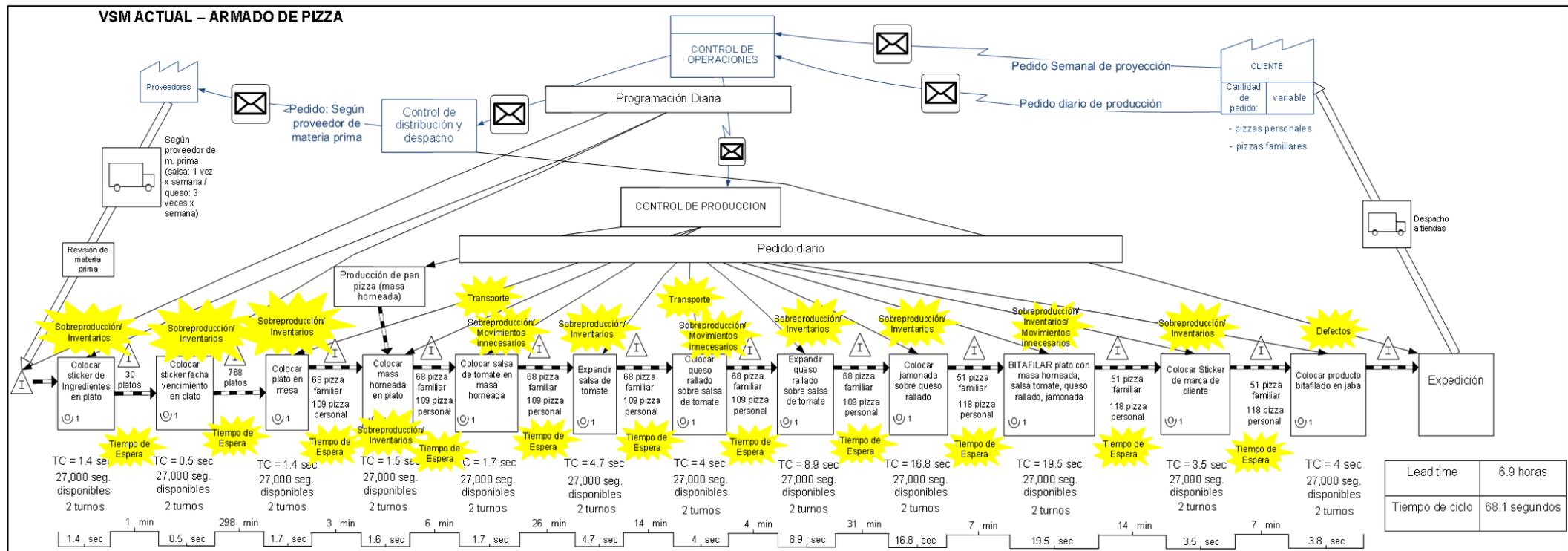


Figura 2. VSM actual - armado de pizza

Elaboración propia

Para la fase "demanda del cliente", se definió realizar la prueba piloto para pizzas tamaño familiar, considerándose el tiempo de ciclo total (tabla 2), que incluye, según Niebel (1990), el 4 % como factor de tolerancia básica por fatiga y el 2 % de factor de tolerancia por estar de pie, basado en información de la Oficina Internacional del Trabajo (p. 414).

Tabla 2
Tiempos de ciclo proceso "armado de pizzas" - situación inicial

Código	Actividad	Pizza familiar Valor promedio (segundos)	Pizza personal Valor promedio (segundos)
A	Colocar <i>stickers</i> - ingredientes, fecha de vencimiento	1,9	1,9
B	Colocar plato en mesa	1,7	1,9
C	Colocar masa horneada en plato	1,6	1,2
D	Colocar salsa de tomate	1,7	1,0
E	Exparcir salsa de tomate	4,7	4,0
F	Colocar queso rallado	4,0	3,7
G	Espandir queso rallado	8,9	1,9
H	Colocar jamonada	16,8	4,9
I	Bitafilar	19,5	10,4
J	Colocar <i>sticker</i> (marca)	3,5	1,8
K	Colocar producto en jaba	3,8	4,0
Tiempo total de ciclo		68,1	36,7

Elaboración propia

El turno de 9,5 horas incluye una hora para la limpieza del área de producción (media hora antes de iniciar producción y media hora luego de terminar la producción), así como una hora de refrigerio, por lo tanto, para el cálculo del tiempo *takt* se consideran 7,5 horas de tiempo disponible, lo cual representa 27 000 segundos.

Considerando un turno en la producción de armado de pizzas tamaño familiar, y con los valores del tiempo disponible por día y una demanda promedio por día de setecientas unidades, se estableció el tiempo *takt* y el número de operarios requeridos (tabla 3).

$$\text{tiempo} = \frac{\text{tiempo disponible}}{\text{demanda}} = \frac{27\,000 \text{ seg}}{700 \text{ unds.}} = 38,6 \frac{\text{seg}}{\text{und.}}$$

$$\text{Número de operarios} = \frac{\text{tiempo de ciclo total}}{\text{tiempo}} = \frac{68,1 \text{ seg}}{38,6 \text{ seg}} = 2$$

Tabla 3
Especificaciones para establecer el flujo continuo - pizza tamaño familiar

Tiempo de ciclo total (seg)	Tiempo disponible (seg)	Demanda (producción)	Tiempo <i>takt</i> (seg/und.)	Número de operarios
68,1	27 000	700	38,6	2

Elaboración propia

Luego, en la fase de flujo continuo, se definió la distribución de actividades para cada operario, elaborándose el diseño la gráfica de equilibrio con dos operarios para pizza tamaño familiar (tabla 4). Se observa que, para la actividad "A" (colocar *stickers*) se multiplica el tiempo de ciclo por 5 para acercarse al tiempo *takt* y alcanzar un flujo continuo de trabajo, lo cual significa que el operario 1 debe realizar cinco veces la actividad de colocar *stickers* a los platos/bandejas antes de realizar la siguiente actividad.

Tabla 4
Diseño de gráfica de equilibrio con 2 operarios - pizza tamaño familiar

Tiempos (seg)	Tiempo de ciclo (seg)	<i>Takt time</i> (seg)	Diferencia (seg)
5x1,9 + 19,5 + 3,5 + 4,0	36,4	38,6	2,2
1,7+1,6+1,7+4,7+4,0+8,9+16,8	39,4	38,6	-0,8

Elaboración propia

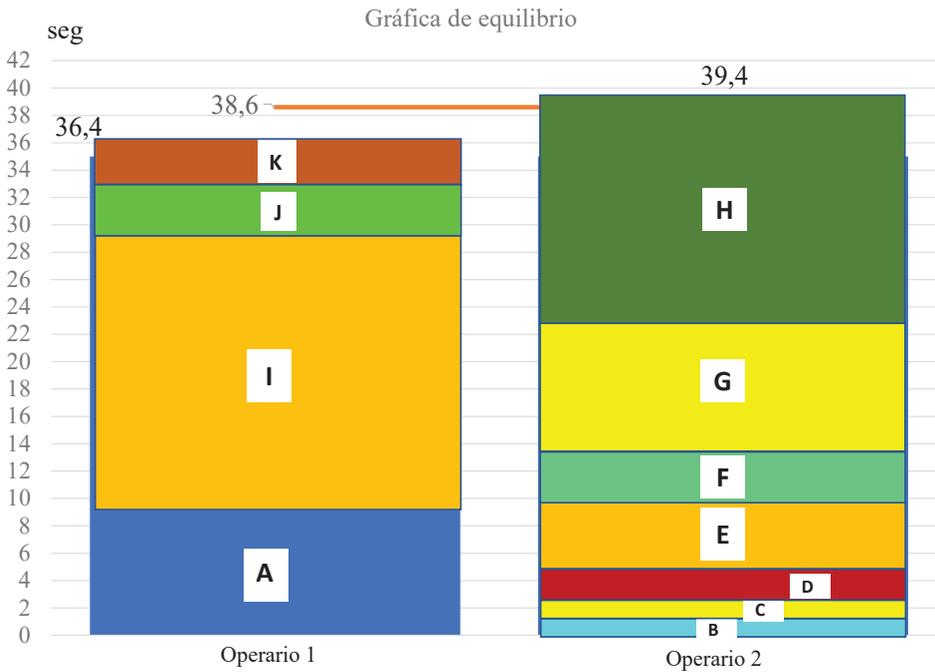


Figura 3. Gráfica de equilibrio con dos operarios - pizza tamaño familiar

Elaboración propia

En la tabla 4 se observa que se sobrepasa el tiempo *takt* en 0,8 segundos para las actividades del operario 2, por lo que decidió aceptarse, ya que representaba la mejor distribución posible de actividades. La diferencia entre las actividades asignadas al operario 1 y al operario 2 es que las del operario 2 involucran la manipulación de los alimentos que contiene la pizza (colocar salsa de tomate, queso rallado, jamonada), mientras que las actividades del operario 1 involucran colocar *stickers*, envolver la pizza y colocarla en la jaba.

Con la información de la figura 3 se elaboró el diseño de célula para dos operarios - pizza tamaño familiar (figura 4).

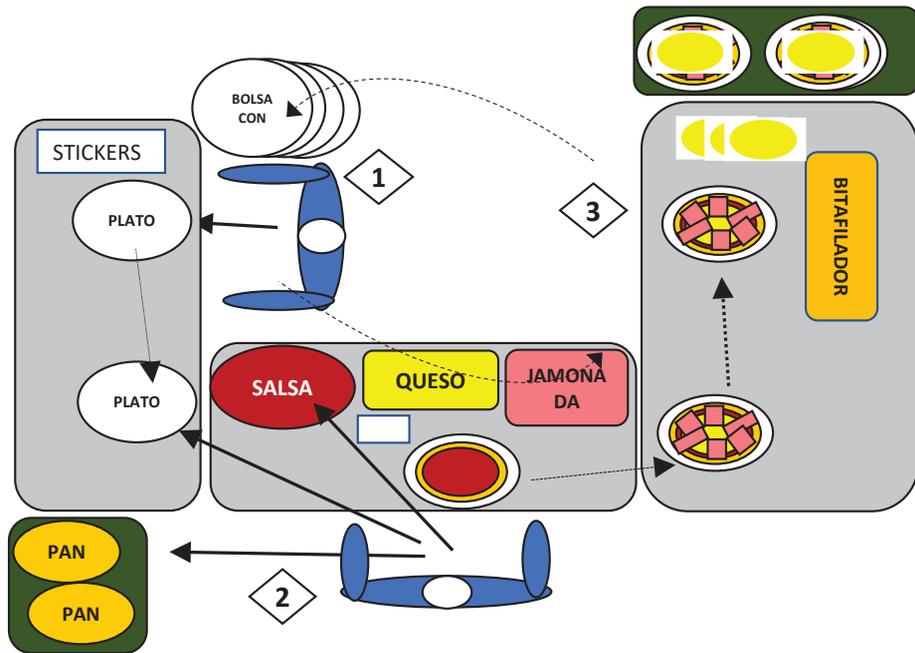


Figura 4. Diseño de célula para 2 operarios - pizza tamaño familiar

Elaboración propia

Luego, se aplican las 5S. Se empezó seleccionando los insumos necesarios para realizar la producción; luego, se definió en las mesas de trabajo la ubicación de los materiales e insumos que los operarios necesitaban para la realización de las actividades asignadas a cada uno de ellos (figuras 5 y 6). La limpieza es una actividad que se tiene implementada en la empresa como parte de la certificación en BPM. El tiempo otorgado a dicha actividad fue de treinta minutos antes de iniciar el proceso armado de pizzas y treinta minutos después de culminada la producción a realizar. Definida la ubicación de los materiales e insumos en las mesas de trabajo, se estandariza el nuevo método de trabajo a través de videos; posteriormente, se estableció formato de evaluaciones periódicas para medir el nivel de cumplimiento de los estándares establecidos.



Figura 5. Disposición de insumos en área de trabajo

Elaboración propia



Figura 6. Disposición de mesas - vista frontal

Elaboración propia

A continuación, se observa el VSM futuro, que presenta un sistema jalar (en lugar del sistema de empuje que se grafica en el VSM actual). Esta gráfica representa el plan de inicio para la construcción del nuevo esquema de trabajo, que incluye: flujo de movimiento de pieza única (*one piece flow*), implementación del método de inventario FIFO⁹

9 Significado de "primero en entrar, primero en salir".

(*First In-First Out*), un método de control de trabajo utilizado para asegurar que el trabajo más antiguo (primero en entrar) sea el primero en ser procesado (primero en salir).

Luego de la prueba piloto, se procedió a diseñar la gráfica de equilibrio, manufactura celular, 5S para el armado de pizza tamaño personal con dos y tres operarios y pizza tamaño familiar con tres operarios.

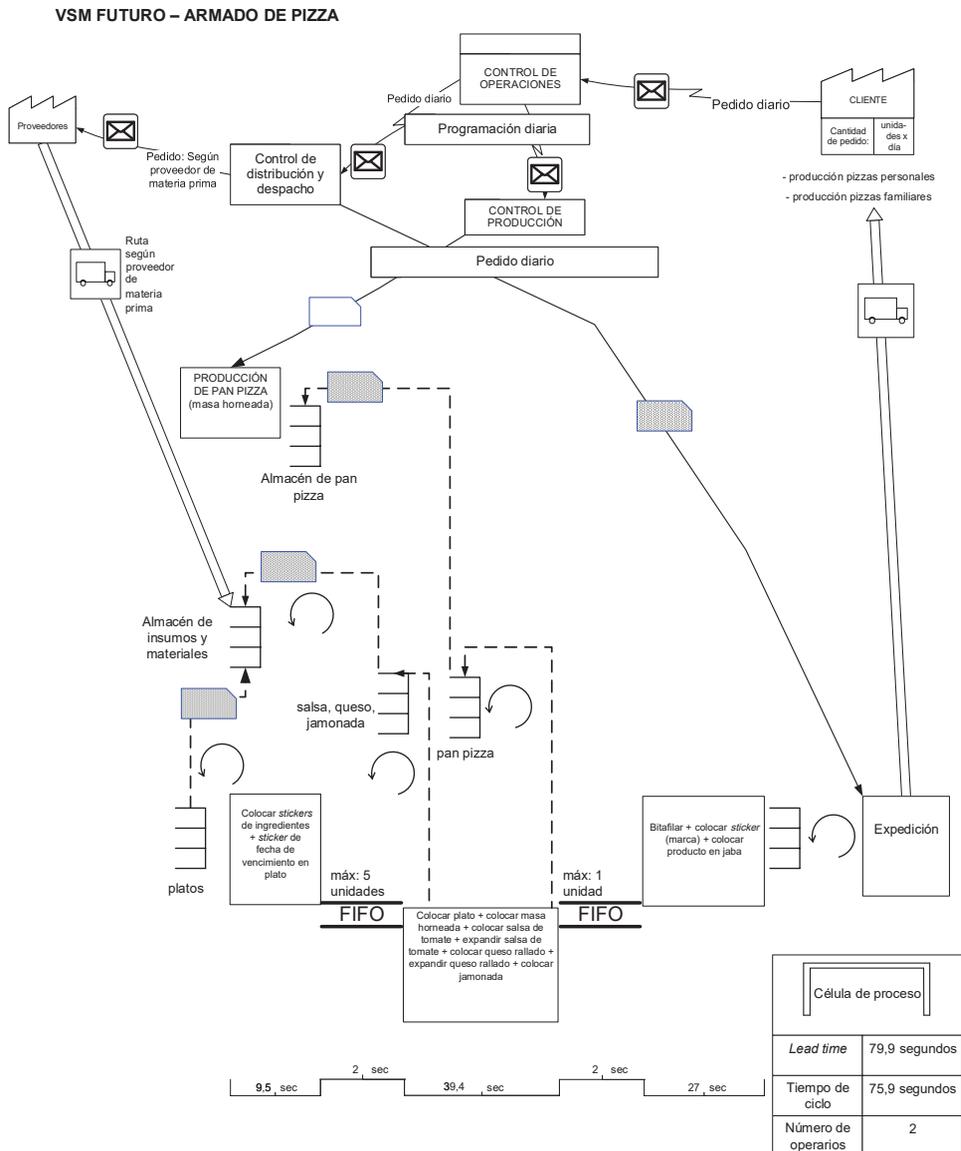


Figura 7. VSM futuro

Elaboración propia

4. RESULTADOS - SITUACIÓN POSTERIOR

En la prueba piloto se observó que, para producir una unidad, el operario 1 termina más pronto que el operario 2 en realizar la secuencia de actividades asignadas según la gráfica de equilibrio, lo que le permite realizar actividades complementarias como:

- Mover el queso que se encuentra en el recipiente mientras el operario 2 coloca la jamonada.
- Limpiar la mesa del área de trabajo en donde el queso ha caído del plato.
- Traer jamonada del refrigerador hacia el área de trabajo de operario 2.
- Limpiar jaba.

Se estableció que, cada vez que el operario 1 observara que una pizza había llegado a su área de trabajo, tenía que detener alguna de las actividades complementarias que estaba realizando para hacer las que estaban asignadas en el diseño de célula.

Se observó, en promedio, que de cada diez masas horneadas una no tenía las medidas correctas, así que se empleaba tiempo en revisar que la masa horneada que fuera a elegir tuviera las medidas correctas. Con el transcurrir del tiempo, la cantidad de producción disminuye debido a las siguientes razones:

- Tamaño incorrecto de masa horneada (pan pizza), lo que hacía necesario cortar los bordes del pan hasta que alcanzara el tamaño correcto.
- Cansancio en los operarios por realizar el trabajo de pie.

En la situación inicial, se encontró un número variable de pasos que realizaban los operarios para realizar las actividades del proceso mientras, que en la situación posterior el número de pasos disminuye (tabla 5). Asimismo, en la figura 9 se observa una disminución en la distancia recorrida para realizar la producción respecto de la situación inicial, que es el resultado de implementar un método de producción de flujo continuo.

Tabla 5
Número de pasos en layout

		Situación Inicial	Situación posterior
Número de pasos	Variable		Con 2 operarios: 12
			Con 3 operarios: 14

Elaboración propia



Figura 8. Célula de producción

Elaboración propia

Al realizar una comparación entre la situación inicial con la situación posterior (tabla 6), se observan las mejoras alcanzadas para iguales o similares niveles de producción totales de pizza (tamaño familiar más tamaño personal). Por ejemplo, para una producción total de 1690 unidades, se obtuvo una productividad de 35,4 unidades/h-h con seis operarios, es decir, antes se requerían siete operarios (un operario adicional provenía de otro proceso para realizar horas extras y culminar la producción); luego, con la mejora implementada, se requieren seis operarios, lo que representa una reducción de 66 % en las horas de trabajo. En la tabla 6 se muestra la reducción en los costos de horas extras para producciones iguales o similares entre la situación inicial y la situación posterior.

Considerando el área disponible para el proceso en estudio, para un turno de trabajo y una producción máxima de 1274 unidades para pizza tamaño familiar y 1425 unidades para pizza tamaño personal, la capacidad instalada será de dos células con tres operarios cada una.

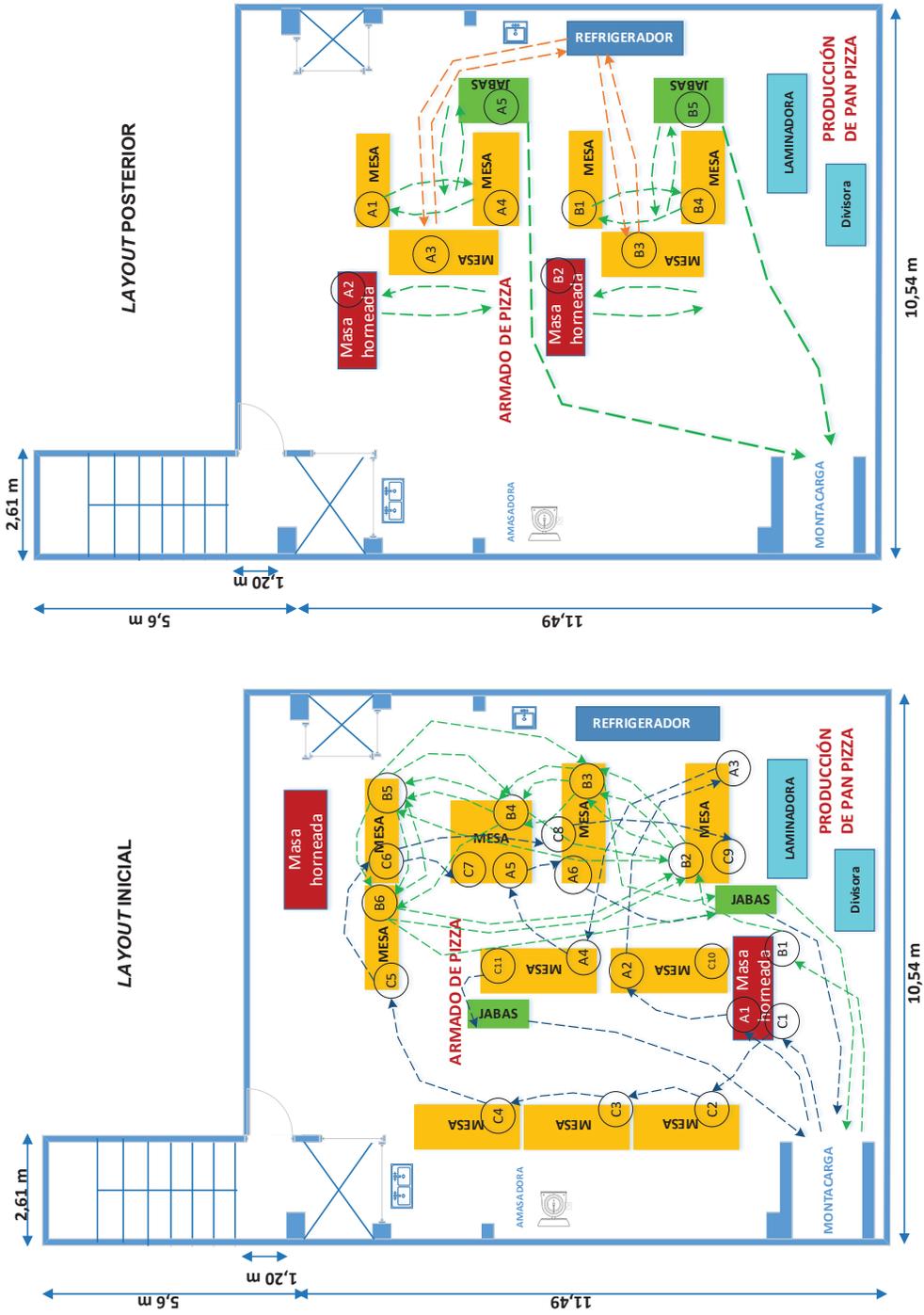


Figura 9. Layout inicial y layout posterior (proceso mejorado)
Elaboración propia

Tabla 6
Ahorro económico obtenido con método implementado

Producción total (unidades)	Situación inicial				Productividad (unidades / h-h)	Situación posterior				Ahorro (\$/)	
	Nº de horas / día	Horas-hombre totales	Nº de operarios	Costo horas extras		Producción total (unidades)	Nº de horas / día	Horas-hombre totales	Nº de operarios		Costo horas extras
1450	19,5	45:15	8	48,7	32,0	1444	7,5	37:30	5	0,0	48,7
1760	19,9	41:04	7	70,1	42,8	1760	12,2	40:24	4	68,2	1,8
1760	19,9	41:04	7	70,1	42,8	1760	8,8	42:54	5	33,8	36,3
1905	19,8	40:30	7	66,1	47,0	1900	9,3	44:24	5	43,1	23,0
1980	21,5	49:01	8	73,5	40,4	1983	9,9	46:30	5	56,3	17,2
1980	21,5	49:01	8	73,5	40,4	1983	10,4	48:00	5	66,7	6,8
1545	22,9	33:22	5	70,0	46,3	1536	7,5	45:00	6	0,0	70,0
1625	23,0	51:19	7	89,8	31,7	1690	7,9	47:42	6	16,9	72,9
1750	19,4	42:52	7	82,5	40,8	1745	8	48:00	6	18,8	63,7
1905	19,8	40:30	7	66,1	47,0	1875	8,2	48:36	6	22,5	43,6

Nota. Los datos provienen de registros de producción
Elaboración propia

Tabla 7
Resumen: situación inicial - situación posterior

N.º	Indicador	Situación inicial	Situación posterior	Ahorro (%)
1	<i>Lead time</i> (producción de una unidad)	6,9 horas	2,43 minutos	-99,40
2	Productividad	35,5 unidades con 8 operarios hora-hombre	41,5 unidades con 5 operarios hora-hombre	17,00
		32,9 unidades con 8 operarios hora-hombre	39,4 unidades con 6 operarios hora-hombre	20,00
2,1	Tiempo de valor no agregado (VNA)	6,9 horas	1,18 minutos	-99,70
2,2	Tiempo de valor agregado (VA)	68,1 segundos	64,4 segundos	-5,50
3	Inventario en proceso (producción de una unidad)	68 unidades (pizza familiar) 118 unidades (pizza personal)	1 – 3 unidades	-98,50
4	horas-hombre extras	23:04 27:49:00	12:10 11:30	-47,00 % -59,00 %

Nota. Los datos provienen de registros de producción y de observación en el área de trabajo.
Elaboración propia

5. DISCUSIÓN

Con el objetivo de mejorar el *lead time* y la productividad operativa del proceso armado de pizzas, los resultados reflejaron la elaboración de un producto en promedio de 2,43 minutos, lo que representa una reducción del *lead time* en 99 % y un incremento de la productividad de 17 % a 20 % respecto de la situación inicial. Esto quiere decir que la implementación de un flujo continuo, utilizando herramientas como la gráfica de equilibrio, 5S, VSM y manufactura celular permitió eliminar los desperdicios de sobreproducción, exceso de inventarios, movimientos innecesarios, transporte de materiales y tiempos de espera. Ordenar y clasificar los insumos necesarios en las mesas que formaron la célula (definidos en la gráfica de equilibrio y representados en el VSM) permitieron implementar uno de los conceptos principales de *lean manufacturing* que es el *one piece flow* ("flujo de una pieza"), manteniendo inventarios controlados, como por ejemplo en la colocación de *stickers* en los platos.

Frente a lo mencionado, se confirma que existe relación entre las variables independientes (desperdicios) y las variables dependientes (el *lead time* y la productividad).

Estos resultados son similares a lo encontrado por Salazar (2017), quien concluye que al implementar herramientas de *lean manufacturing* como 5S y establecer un flujo continuo en la distribución de planta, se eliminan actividades innecesarias y se logra incrementar la productividad en un 25 %. Así también, Martínez y otros (2015) concluyen que el uso de herramientas como el VSM y el diagrama de *spaguetti* permite una reducción promedio de tiempos de ciclo del 54 %. Los resultados obtenidos también son similares a lo encontrado por Ríos (2018), quien concluye que al aplicar las 5S, balance de línea y establecer un flujo continuo en la redistribución de la planta de producción obtuvo un aumento de la productividad de 44,4 % y una reducción del tiempo de producción en 24,4 %. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar estos resultados, confirmamos que mientras menos desperdicios existan en el proceso mejor será nivel de *lead time* y productividad.

Según la Secretaría Central de ISO (2015), una empresa debe determinar los conocimientos necesarios para la operación de sus procesos, debiendo mantenerse y ponerse a disposición según sea necesario. Estos conocimientos pueden ser adquiridos con la experiencia o los resultados de las mejoras en los procesos (p. 7); por ello, es importante que en la capacitación de operarios que inician labores en la empresa se muestren los tiempos de ciclo, los VSM, los diseños de célula, las gráficas de equilibrio, la ubicación de los insumos y materiales y los procedimientos visuales.

6. CONCLUSIONES

- Se reordenó el área de producción a través del uso de las gráficas de equilibrio, VSM, 5S y manufactura celular, lo cual permitió un mínimo de distancia recorrida de doce a catorce pasos respecto de la situación inicial, la cual era variable e indeterminada.
- Se lograron reducir los costos de horas extras para niveles de producción iguales o similares (tabla 6).
- Se demostró el incremento en la productividad con un menor número de operarios respecto de la situación inicial para iguales o similares niveles de producción (tabla 6).
- Para un incremento de la producción mayor de 1274 unidades para pizza tamaño familiar y mayor de 1425 unidades para pizza tamaño personal, se debe habilitar el turno noche teniendo en cuenta la capacidad instalada: una célula con tres operarios para el armado de pizza tamaño familiar y una célula con tres operarios para el armado de pizza tamaño personal.

- Es necesario evaluar la relación beneficio-costo de mantener procesos realizados en la organización o elegir servicios de terceros para su realización, como es el caso del proceso “producción de masa horneada (pan pizza)”.

REFERENCIAS

- Bicheno, J. y Holweg, M. (2009). *The Lean Toolbox the Essential Guide to Lean Transformation* [La caja de herramientas esbelta: la guía esencial para la transformación esbelta] [fourth edition]. United Kingdom: PICSIE Books.
- Cámara de Comercio de Lima (10 de diciembre del 2018). Urge aumentar la competitividad de mypes. *La cámara*. Recuperado de https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r857_3/eventos%202.pdf
- Cooper, R y Maskell, B. (2008) *How to manage through worse-before better* [Cómo gestionar lo peor antes que lo mejor]. *MIT Sloan Management Review*, 49(4), 58-65.
- Imai, M. (1998). *Cómo implementar el kaizen en el sitio de trabajo (gemba)* [traducido de la primera edición]. Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Martínez, P.; Martínez, J.; Nuño, P. y Cavazos, J. (2015). Mejora en el tiempo de atención al paciente en una unidad de urgencias mediante la aplicación de manufactura esbelta. *Revista Información tecnológica*, 26(6), 187-198. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000600019
- Monge, C.; Cruz, J. y López, F. (2013). Impacto de la manufactura esbelta, manufactura sustentable y mejora continua en la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental en México. *Revista Información tecnológica*, 24(4), 15-32. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000400003
- Niebel, B. y Freivalds, A. (1990). *Ingeniería Industrial. Métodos, tiempos y movimientos* [tercera edición]. México: Alfaomega.
- Rajadell, Carreras, M. y Sánchez García, J. L. (2010). *Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad*. España: Díaz de Santos.
- Ríos, E. (2018). *Aplicación de lean manufacturing para aumentar la productividad de la línea de producción de calzado de seguridad GYW de la empresa SEGUSA SAC* [tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo, Perú]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11131/RIOS%20BERNUY%2c%20Edinson%20Eloy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Rother, M. y Shook, J. (1999). *Observar para crear valor. Cartografía de la cadena de valor para agregar valor y eliminar "muda" (versión 1.2)*. USA: The Lean Enterprise Institute.
- Salazar, M. (2017). Mejora en la productividad durante la fabricación de cabina cerrada implementando *lean manufacturing* en una empresa privada metalmecánica [tesis de grado, Universidad San Ignacio de Loyola, Perú]. Repositorio institucional de la Universidad San Ignacio de Loyola. Recuperado de http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3212/1/2018_Salazar-Bozzeta.pdf
- Secretaría Central de ISO (2015). *Norma Internacional ISO 9001, traducción oficial. Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos* [quinta edición]. Suiza: Autor.
- Socconini, L. (2017). *Lean manufacturing paso a paso* [primera edición]. México: Pandora.
- Tapping, D. y Shuker, T. (2003). *Value Stream Management for the Lean Office. Eight steps to planning, Mapping, and Sustaining Lean Improvements in Administrative areas*. [Gestión de flujo de valor para la oficina esbelta. Ocho pasos para la planificación, mapeo y mantenimiento de mejoras esbeltas en áreas administrativas]. USA: Productivity Press.
- Womack, J.; Jones, D. y Roos, D. (1990). *The machine that changed the world: The story of lean production* [La máquina que cambió al mundo: la historia de la producción esbelta] [primera edición]. New York: Rawson Associates.

**CALIDAD
Y MEDIOAMBIENTE**

Quality and Environment

IMPLEMENTACIÓN DEL KAIZEN-INNOVACIÓN DE PROCESOS-*JIDOKA* PARA HACER FRENTE A LA COVID-19: UN CASO DE ESTUDIO EN UN HOSPITAL PÚBLICO

MANUEL F. SUÁREZ-BARRAZA*

<http://orcid.org/0000-0001-6305-6122>

Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), Puebla, México

Recibido: 27 de junio del 2020 / Aprobado: 26 de julio del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4916>

RESUMEN: Los hospitales públicos de México están viviendo grandes problemas operativos, tales como fallos en los procesos y servicios, además de errores en la falta de insumos y equipo médico. Algunos hospitales han iniciado esfuerzos basados en la filosofía *kaizen* para mejorar esta situación. El objetivo principal de la investigación es explorar la implementación de la filosofía *kaizen* en hospitales públicos mexicanos. La metodología utilizada en esta investigación fue cualitativa, con la estrategia del caso de estudio. Los resultados encontrados en esta investigación son que es factible optimizar el proceso de urgencias y el de atención a la Covid-19 aplicando técnicas de la filosofía *kaizen*, innovación de procesos y *jidoka*.

Palabras clave: *kaizen* / innovación de procesos / *jidoka* / hospitales públicos / Covid-19

IMPLEMENTATION OF “KAIZEN-PROCESS INNOVATION-*JIDOKA*” TECHNIQUES TO DEAL WITH COVID-19: A CASE STUDY IN A PUBLIC HOSPITAL

ABSTRACT: Mexico's public hospitals are experiencing major operational problems, such as process and service failure, as well as the lack of supplies and medical equipment. Some hospitals have started *kaizen* philosophy-based efforts to improve this situation. The main objective of the research is to explore the implementation of the *kaizen* philosophy in the above-mentioned hospitals. The research used a qualitative methodology and the case study strategy. The results show that it is feasible to optimize the Covid-19 emergency and treatment process by applying *kaizen* philosophy, process innovation and *jidoka* techniques.

Keywords: *kaizen* / process innovation / *jidoka* / public hospitals / Covid-19

* Correo electrónico: manuel.suarez@udlap.mx

1. INTRODUCCIÓN

La aparición del virus RNA (ácido ribonucleico) SARS-CoV-2 en el mundo es uno de los grandes retos que ha afrontado la humanidad en el siglo XXI. Todos los países del mundo han sido afectados por este virus: se calcula que a finales de junio del 2020 han contraído la enfermedad 14,6 millones de personas y han muerto más de 606 173 en todo el mundo (los datos se siguen actualizando día a día) (OMS, 2020). En México, el impacto también ha sido muy fuerte en todos los sectores del país: económicos, sociales, educativos, deportivos, culturales, y por supuesto, en nuestro sistema de salud. En la actualidad, a los últimos días del mes de julio (20 de julio del 2020 específicamente), México rebasó los 380 000 casos, específicamente (383 847 casos), con 39 184 muertos y contando (Coronavirus, 2020), rebasando los datos oficiales de China de muertos. Con dichos datos actuales de fallecidos se llenaría totalmente el Auditorio Nacional del país.

Las proyecciones de esta enfermedad se han comenzado a estudiar a profundidad, tanto impactos económicos, sociales, laborales, e incluso familiares. Para Barcena (2020) experta de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), mientras no exista una vacuna probada en el mercado, la proyección de la enfermedad en el mundo puede llegar hasta los treinta millones de personas infectadas, con un impacto económico de recesión mundial en todas las regiones del mundo, especialmente en Latinoamérica. Se proyecta un crecimiento negativo del PIB entre -3% y -4% .

Como consecuencia, el impacto de la pandemia en el sistema de salud del gobierno mexicano ha sido alto y profundo. De hecho, a raíz del cambio de gobierno en México en el 2018 el sistema de salud mexicano ha comenzado a sacar a la luz varios problemas operativos y de servicio que se venían arrastrando y que se han incrementado en estos años del nuevo gobierno de México y potenciados notablemente con la pandemia de la Covid-19 (Herrera, 2020). Por otra parte, según otros autores, la realidad del sistema de salud en México en pleno siglo XXI es difícil y compleja (Robledo, 2019), no solo ante la percepción del ciudadano, sino también para los mismos directivos, empleados de la salud, médicos, enfermeras, especialistas, y cualquier trabajador de la salud (Herrera, 2020). Los médicos, enfermeras, y empleados de salud reportaron varios problemas y fallos comunes en el sistema de salud en México, desde la falta de medicamentos hasta la falta de material quirúrgico, insumos, e incluso equipos específicos médicos (Herrera, 2020).

A pesar de que en gobiernos anteriores se indicaba que se había conseguido la cobertura universal de salud en México, buscando en todo momento una reforma integral para mejorar el desempeño del sistema de salud (Frenk *et al.*, 2007). La realidad del sistema mexicano de acuerdo a Knaul y Frenck (2005) es que, más allá de la cobertura universal de protección en salud en términos de afiliación y acceso, existe una brecha muy grande con respecto a los servicios que se otorgan versus la calidad del servicio. A raíz de tantos problemas operativos que se dejaron de atender durante tantos años por

los gobiernos anteriores, los problemas operativos de los procesos de trabajo emergen día a día, perjudicando la operación de los servicios de salud en los hospitales públicos. Así, esta investigación se enfoca a explorar los problemas de operación tales como retrasos, errores, fallos, burocracia interna, trabajos que ahora se han incrementado con la cantidad de pacientes que han llegado por la pandemia de la Covid-19. En otros países, la literatura ha demostrado que la aplicación de técnicas y herramientas del *kaizen* y del pensamiento *lean* (esbelto) en el sector salud tiene impactos positivos en los procesos de trabajo y servicios públicos (Kollberg *et al.*, 2007; Pedler y Abbot, 2008; Drotz y Poksinska, 2014).

De esta manera, se estableció un propósito de investigación, que es explorar la implementación del *kaizen*, la innovación de procesos y el *jidoka* en hospitales públicos mexicanos que han intentado solucionar estos problemas operativos y actividades de “no valor agregado” antes y después de la pandemia de la Covid-19. La pregunta de investigación que rige este estudio es la siguiente:

- PI-1: ¿Cómo se implementan las técnicas del *kaizen*, innovación de procesos y *jidoka* en la resolución de problemas y eliminación de actividades de no valor agregado de procesos operativos en un hospital en México en medio de la pandemia de la Covid-19?

El *kaizen* es una filosofía de trabajo ancestral acuñada por Maasaki Imai en 1986 en su bien conocido libro *Kaizen: la clave de la ventaja competitiva japonesa* (Imai, 1989; Suárez-Barraza, 2007). La definición de *kaizen* se sustenta en dos ideogramas japoneses: *kai* = “cambio” y *zen* = “bienestar”. En términos sencillos, el principio de mejora continua o el cambio para mejorar y renacer (Newitt, 1996; Lillrank y Kano, 1989). Suárez-Barraza (2007) lo define como “una filosofía de gestión que genera mejoras incrementales en el método de trabajo (o procesos de trabajo), la cual permite reducir despilfarros y por consecuencia mejorar el rendimiento del trabajo y la satisfacción del empleado”. Así, pues, el *kaizen* es una filosofía de vida y de trabajo que ayuda a mejorar los procesos de las empresas de forma incremental y radical, utilizando la participación creativa de los empleados mediante equipos de trabajo (Suárez-Barraza *et al.*, 2011).

Por otra parte, una técnica derivada de la filosofía *kaizen* es la innovación de procesos. Para Harrington (1991, pp. 20–21), este tipo de innovación se define como: “una metodología sistemática desarrollada para ayudar significativamente a la operación de los procesos operativos”. Según la literatura, la metodología de innovación de procesos consiste en identificar y seleccionar un proceso que tenga actividades que no aportan valor (MUDA en japonés), mapearlas mediante diagramas de flujo y analizarlas para finalmente proponer rediseños y mejoras para optimizar tanto el número de actividades como los tiempos de ciclo

(Suárez-Barraza, 2019). Según Taiichi Ohno (1988), existen al menos siete tipos de MUDA en los procesos de una organización. A continuación, se relacionan: (i) muda de sobreproducción; (ii) muda de inventario; (iii) muda de transporte; (iv) muda de movimiento; (v) muda de fallo o error; (vi) muda de espera o demora, y (vii) muda de procesamiento. Con los años, otros autores, como Emiliani *et al.*, (2003), han añadido un octavo MUDA relacionado con la actitud de los trabajadores: el MUDA del factor humano.

Un complemento excelente de la innovación de procesos es el *jidoka*, que se define como “automatización” con toque humano o utilizando el talento de las personas (Chiarini, 2011; Suárez-Barraza, 2019). Se utiliza bajo los enfoques de detener las líneas de producción en caso de un error o una no conformidad. En otros términos, la automatización que parte de las ideas de los trabajadores permite al proceso detenerse si se encuentra una anomalía o un potencial MUDA, impidiendo piezas defectuosas o servicios con errores al ser otorgados al cliente.

El *kaizen* en el ambiente de salud se rastrea hasta los trabajos de Kollberg *et al.*, (2007) con su artículo pionero del *kaizen* en salud en el que hacen énfasis en el hecho de que las técnicas de mejora continua ayudan a elevar notablemente el rendimiento de los procesos y los servicios de salud (específicamente el de Suecia, en este caso). Drotz y Poksinska (2014) también confirman los beneficios de implementar el *lean* y el *Kaizen* en las organizaciones de salud, pues genera efectos positivos en los puestos y roles del personal médico, pasando a los empleados de un estilo burocrático a un enfoque de procesos ágiles y de trabajo en equipo. En Latinoamérica, autores brasileños como Coelho y otros (2015) presentan un caso de estudio de mejora de procesos en el cual la mejora del desempeño del espacio de trabajo total fue de 75 % y la reducción de la espera para dar atención a los pacientes pasó de dos horas a treinta minutos. Coelho *et al.*, (2015) también señalan que los esfuerzos de *lean* y *kaizen* pueden eliminar al menos tres horas diarias de tiempo extralaboral en los hospitales de Brasil.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el propósito de fortalecer la característica de robustez de la investigación, así como de responder la pregunta de investigación planteada del estudio, se decidió seguir una metodología cualitativa enfocada al método del caso de estudio (Yin, 2003). El método del caso de estudio es apropiado para estudios exploratorios cuando el fenómeno es nuevo y poco estudiado (preguntas “cómo” y “por qué”), como es el caso de la aplicación del *kaizen*, la innovación de procesos y el *jidoka* en hospitales públicos que atienden la Covid-19 (Yin, 2017, p. 11). Para ello, se utilizó el criterio de “muestreo teórico” (Glaser y Strauss, 1967; Ritchie y Lewis, 2003) para la selección del caso de estudio.

Este tipo de muestreo no requiere una muestra estadística; por el contrario, se busca que el caso seleccionado tenga un gran potencial de desarrollo y exploración para la observación del fenómeno y una posible construcción de un constructo teórico. A pesar de que el Hospital General Público seleccionado se encuentra en el estado de México, las políticas federales se han transferido paulatinamente a todos los hospitales grandes y medianos de la república mexicana. Es el caso del hospital público "A". Algunos estudios, como el de Soberón-Acevedo y Valdez-Olmedo (2007), han explorado la transferencia exitosa de las políticas federales en el ámbito federal y estatal, por lo que remarcan la importancia de la descentralización de los servicios públicos de salud y el apoyo de presupuestos más independientes a los hospitales de ámbito federal con operación en los estados de la república mexicana. De igual manera, Arredondo (2001) analiza desde principios del siglo XXI la importancia del vínculo federal y estatal en lo que respecta a la salud. Sin embargo, su análisis se centra en la gestión de los hospitales, dejando atrás el tema de los problemas de operación y la calidad en el servicio.

En un estudio más reciente, Hernández-Torres y Alcántara-Balderas (2015) critican fuertemente las brechas entre la cobertura de salud federal y estatal versus la calidad de los servicios de salud que se otorgan en ambos ámbitos. Sustentados en los estudios anteriores, el caso seleccionado cubre la riqueza del muestreo teórico y representa un ejemplo claro y específico del fenómeno planteado en el propósito de esta investigación. En este sentido, el proceso de toma de datos se realizó entre los meses de febrero de 2019 e inicios de marzo de 2020 en un hospital público de México que tiene las siguientes características:

Tabla 1
Características del caso de estudio seleccionado

Caso	Centro de trabajo	Procesos observados	Niveles de mejora continua
Hospital "A"	Hospital General Regional público de la Seguridad Social Federal en México, ubicado en la Avenida de Paseo Tollocán de la ciudad de Toluca, estado de México (1000 camas). Total de empleados: 940.	Gestión de urgencias. Proceso de atención a casos de Covid-19 (área especializada en la pandemia).	- Hospital con certificación de ISO 9000 en varios procesos de atención médica y especialidad desde el 2015. - Inicio del proyecto de aplicación de la filosofía <i>kaizen</i> en febrero del 2019, con equipos <i>kaizen</i> formados. - Planes para certificar en ISO 9000 el proceso de urgencias.

Elaboración propia

El proceso de toma de datos para los casos de estudio se rigió por los siguientes métodos:

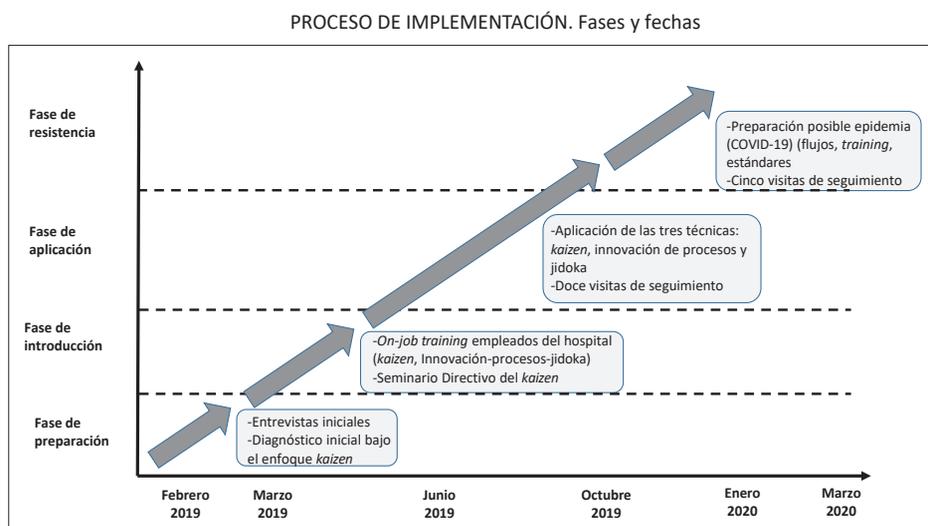
- *Observación directa.* Observar los procesos de servicio en el lugar de trabajo (en el *gemba*, palabra japonesa que significa “lugar”) es clave para comprender los fallos y el MUDA de los hospitales públicos (Imai, 1997; Spear, 2005). Arumugan *et al.* (2012) recomiendan ampliamente la observación participativa cuando se trata de aproximaciones gerenciales, como el *lean* y el *kaizen*. Como parte del protocolo de observación directa de la investigación, se visualizó en particular el proceso de gestión de urgencias y posteriormente la atención a pacientes Covid-19 mientras fue posible visitar el hospital. Se observaron específicamente oficinas administrativas, recepción, escritorio de atención de urgencias, salas de emergencias, cuartos de emergencias, y antes de la pandemia en preparación, también se observaron los pasillos de área especial de Covid-19 y las salas de respiradores con ventiladores especializados para pacientes con esta enfermedad. El protocolo de observación consistió en tres visitas semanales durante los meses de febrero a diciembre de 2019 de dos horas cada día. Por último, un paso que fue preponderante en el resultado de la investigación fue el apoyo de uno de los médicos líderes en el área especial de Covid-19, el llamado “observador auditor” (Meneses-Falcón, 2020).
- *Análisis documental.* Este método consistió en leer y analizar el material seleccionado en forma de documentos que el hospital público “A” proporcionó para su estudio. El acceso se otorgó en los manuales de trabajo, la página web del hospital y su relación con la Secretaría de Salud estatal, manuales administrativos, manuales de operación y su manual de calidad de ISO 9000; para cerrar con los proyectos de mejora documentados.
- *Entrevistas semiestructuradas a profundidad.* Se realizaron diez entrevistas semiestructuradas a profundidad de entre una hora y hora y media. Cada entrevista se sustentó en un guion semiestructurado. Todas las entrevistas tuvieron lugar en el hospital público “A”. En términos prácticos, cada entrevista intentó entender cómo se realizaban las implementaciones de cada fase de la filosofía *kaizen* en el hospital público “A”. En resumen, se entrevistó al director del hospital público “A”, al líder del proyecto de implementación del *kaizen* (uno de ellos líder de un equipo *kaizen*) y al antiguo líder que dirigió la aplicación de ISO 9000 (otro líder *kaizen*). Asimismo, se entrevistó a médicos especialistas en enfermedades respiratorias (dos), un médico especialista en epidemiología experto en influenza, dos técnicos de urgencias y dos enfermeras.

Finalmente, una vez que se recolectaron todos los datos, cada uno de ellos descargó en una base de datos (una hoja de Excel) donde se encontraba cada uno de los métodos y los datos recolectados (Yin, 2003). La idea era mantener “una constante comparación” de ellos (Glaser y Strauss, 1967) y poder identificar códigos comunes de los datos obtenidos (Miles y Huberman, 1994) para así obtener nuestros resultados.

3. RESULTADOS

Caso de estudio: implementación del *kaizen*, innovación de procesos y *jidoka*

Como se señaló en el apartado de la metodología, la investigación se realizó en un hospital público de México. Este centro de salud es un Hospital General Regional público de la Seguridad Social Federal (hospital público "A"), ubicado en la ciudad de Toluca, del estado de México. Cuenta con 1000 camas y 940 empleados. El nivel de aplicación de la filosofía *kaizen* fue de por lo menos un año de trabajo antes de la pandemia mundial. Como se indicó en la tabla 1, el hospital público "A" ha tenido experiencia en sistemas de calidad desde el año 2015 con la certificación de algunos de sus procesos en la norma ISO 9000. De igual manera, desde febrero del 2019 iniciaron su camino en la filosofía *kaizen* para implementar técnicas y herramientas relacionadas con la innovación de procesos y el *jidoka*. En la figura siguiente se muestran las fases de aplicación de la filosofía *kaizen* en los procesos del hospital:



PAPER: Suárez-Barraza, M.F. and Miguel-Dávila, J.A. (2020), "Kaizen-Kata, a problem solving approach to Public Service Health Care in Mexico. A multiple Case Study", Journal: International Journal of Environmental Research and Public Health Manuscript ID: ijerph-784882

Figura 1. Fases de implementación del *kaizen* en el hospital público "A"

Elaboración propia

3.1 Fase de preparación

Como se observa en las fases de implementación (figura 1) de la filosofía *kaizen*, su aplicación se desarrolló entre febrero del 2019 y marzo del 2020, en diferentes períodos.

El proyecto de implementación del *kaizen* se aplicó en cuatro fases, como se muestra en la figura 1. La fase de preparación consistió en la identificación de los problemas o MUDA (término japonés que significa “desperdicio o actividades que no aportan valor”) que se tenían en los procesos de salud del hospital en forma de diagnóstico; la segunda fase —conocida como introducción— consistió en la sensibilización a las técnicas de la filosofía *kaizen* en forma de capacitación; la tercera fase fue la aplicación de las técnicas y herramientas del *kaizen*, para finalizar con la fase de resistencia, es decir, la fase de confrontación del hospital público “A” frente a la pandemia.

Durante la fase de preparación de dirigir al hospital hacia esta filosofía de mejora continua se realizaron tres acciones principales: (i) diagnóstico elemental de la situación actual de cada hospital en términos de desarrollo de aplicación la filosofía *kaizen*; (ii) seminarios de entrenamiento al personal directivo, técnico (médicos y enfermeras) acerca de dicha filosofía, y (iii) la formación de equipos *kaizen* (EK) que realizaron sus primeras sesiones para identificar los problemas operativos a mejorar.

El diagnóstico inicial arrojó que existían tres problemas principales en los procesos del hospital público “A”: (i) fallos y retrasos en el proceso de urgencias, generando largas filas para los pacientes que llegaban a consulta; (ii) falta de estandarización en las actividades de procesos de urgencias, y (iii) falta de orden, organización y control con los equipos y suministros médicos. Por lo tanto, sustentado en diferentes casos de aplicación en otros países en hospitales, se recomendó la implementación de la filosofía *kaizen* para mejorar el rendimiento de los procesos del hospital público “A”. Para ello, se conformaron tres EK que trabajarían con las técnicas y herramientas de esta filosofía para iniciar su implementación: uno dedicado a las 5S; otro a la implementación de la metodología de innovación de procesos, y el último a la aplicación del *jidoka*. Finalmente, al momento de la pandemia (finales de marzo de 2020 hasta ahora), surgieron otros temas problemáticos en el cual el trabajo del *kaizen* realizado previamente ayudó a mitigar, resistir y hacerle frente en términos de operación con el proceso de atención a pacientes con Covid-19.

3.2 Fase de introducción

La segunda fase fue la realización de cuatro seminarios de entrenamiento en la filosofía *kaizen* y la metodología de innovación de procesos y la técnica del *jidoka*. Cada uno de estos cuatro seminarios de entrenamiento fue de diez horas; en total se impartieron cuarenta horas de capacitación. El primero de ellos fue dirigido al personal directivo, administrativo y mandos medios del hospital público “A”, mientras que los otros tres se centraron en el resto del personal, desde médicos, especialistas, enfermeros, enfermeras y por supuesto todo el personal de apoyo, incluyendo al de aseo y limpieza. El propósito de los seminarios fue sentar las bases del conocimiento necesario de la

filosofía *kaizen* y los pasos de aplicación de las metodologías de innovación de procesos y la técnica del *jidoka*, además de, por supuesto, crear la estructura de los EK de manera formal durante los seminarios.

Cada uno de los seminarios se realizó en la sala de capacitación del hospital público "A" siguiendo la idea de mantener el entrenamiento en el sitio de trabajo (*on-job training*) para cualquier recorrido que se pudiera presentar en las áreas de trabajo. En otras palabras, en "la trinchera de la acción". Siguiendo el entrenamiento de cada seminario de la filosofía *kaizen*, cada participante tuvo la oportunidad de contar con el conocimiento necesario de la filosofía japonesa, además de las habilidades necesarias para aplicar la metodología de innovación de procesos o la técnica del *jidoka*, como por ejemplo la construcción de diagramas de flujo y actores, y el análisis de valor de los procesos para identificar el MUDA.

3.3 Fase de aplicación

En la fase de aplicación se presentó la aplicación de la filosofía *kaizen*, la innovación de procesos y la técnica del *jidoka*. Cada uno de los EK trabajó en la implementación de esta filosofía de mejora continua en el hospital público "A". Específicamente existieron tres equipos que trabajaron en la aplicación: el EK-1 se dedicó al trabajo de organización del almacén de equipo, materiales y suministros de salud aplicando la técnica de las 5'S; el EK-2 realizó el mapa de procesos de la situación actual de atención a pacientes de urgencias, detectando el MUDA y optimizándolo, y finalmente, el EK-3 implementó una serie de mecanismos de automatización (*jidoka*) con ideas surgidas del personal médico para mejorar aún más la atención a los pacientes de Covid-19.

De esta manera, de junio a noviembre del 2019 cada uno de los EK trabajó en la implementación del *kaizen* en el hospital público "A". El EK-1 comenzó un trabajo de ordenar, limpiar y organizar el almacén de equipo y materias primas del hospital. Su trabajo se centró en la aplicación de la técnica de las 5'S. En otras palabras, la aplicación de *seiri* (separar lo necesario de lo innecesario), *seiton* (orden visual), *seiso* (limpieza correctiva y preventiva), *seiketsu* (sistematización), y finalmente *shitsuke* (autodisciplina). El EK-1, conformado por el responsable del almacén, el director de compras, el auxiliar de compras y los dos técnicos asignados al almacén, trabajó durante tres meses para validar el material, suministro y medicinas que tendrían que desecharse (*seiri*), por caduco o por encontrarse en mal estado, además de revisar que todo el equipo, materiales y medicinas concordaran con los listados de inventarios del hospital. Una vez concluida la tarea de separación, se compraron nuevos anaqueles y se pensó en un diseño de forma en que los materiales y suministros fueran fáciles de ubicar, fáciles de reponer y fáciles de transportar al momento de ser requeridos (*seiton*). Este proceso se acompañó en todo momento de la limpieza (*seiso*). En la siguiente foto se puede observar el resultado logrado en una parte del almacén.



Figura 2. Aplicación de 5S en el hospital público "A"

Elaboración propia

(*) Nota. Se presentó una imagen "simulada" derivada de la solicitud de privacidad que indicó el hospital público "A".

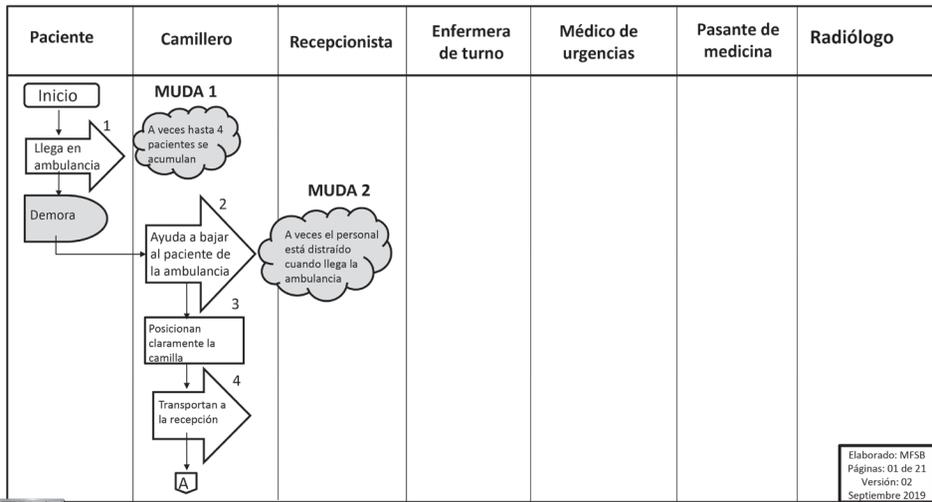
Los procesos de *seiketsu* y *shitsuke* fueron vitales durante la pandemia, ya que el trabajo de organización y orden del almacén fue anterior al brote intenso de la Covid-19. La sistematización, el proceso estandarizado y la rutina de trabajo de orden y limpieza brindaron esa respuesta de mejora que se buscaba, es decir, organización y orden al almacén del hospital. Por lo tanto, cuando el hospital público "A" entró en la "crisis" de la Covid-19, la aplicación de la filosofía *kaizen* en forma de las 5S sirvió de "escudo" ante el ambiente turbulento. En palabras del jefe del área del almacén:

Creíamos que teníamos ordenado el almacén o "la covacha", como le decimos nosotros, pero en realidad estábamos muy lejos de eso. Cuando nos pedían cosas (suministros y materiales médicos) no los encontrábamos, siempre sufríamos con que cuadraran los inventarios y muchas preocupaciones más. Cuando llegó las 5S al hospital, al principio me resistí, incluso para formar el equipo, pero me di cuenta de su importancia después de ordenar "la covacha", porque con la Covid-19 aquí, todo urgía, todo el mundo se volvió loco, pero yo pude siempre, junto con el gerente de compras, cumplir con prácticamente todo lo que nos pedían. Sin eso que hicimos con las 5'S, no lo hubiéramos logrado. (E-HP-A-008)

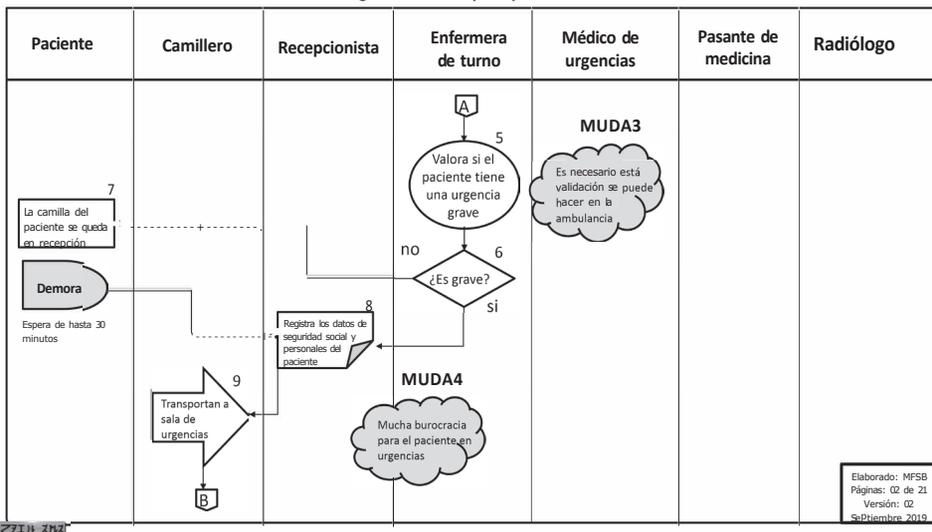
Para el caso del EK-2, la aplicación de la filosofía *kaizen* se desarrolló de manera más compleja, ya que este equipo (EK-2) tenía que mapear todo el proceso de urgencias y encontrar todas aquellas actividades que no agregaran valor, es decir, el MUDA. Por lo tanto, el EK-2 estuvo conformado por todos los actores involucrados en el proceso de urgencias: médicos en turno, enfermeros y enfermeras, camilleros, personal de recepción, y por supuesto, el médico jefe del área. La primera tarea que realizaron fue elaborar el diagrama de flujo con actores del proceso de urgencias en su situación actual. Para ello, utilizaron el apoyo de la metodología de innovación de procesos de

Suárez-Barraza (2019), donde se utiliza la simbología de la *American National Standard Institute* (ANSI) (Instituto Nacional Americano de Estandarización), y con esta metodología en mano comenzaron la observación del *gemba* recorriendo al menos tres veces todo el proceso de urgencias con diferentes tipos de pacientes. El resultado de la observación y del mapeo fue un proceso de 43 actividades. A continuación, se muestra un ejemplo en la siguiente figura:

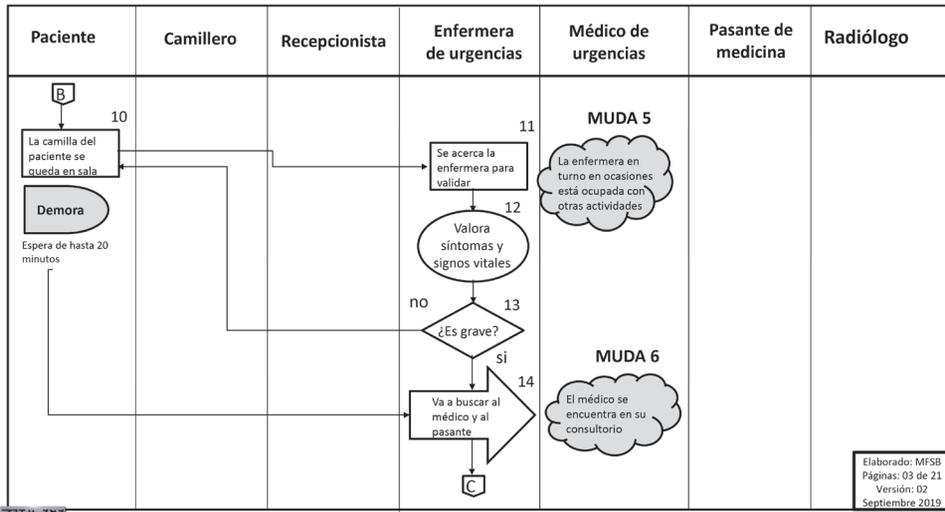
Proceso de urgencias del hospital público "A". Situación actual



Proceso de urgencias del hospital público "A". Situación actual



Proceso de urgencias del hospital público "A". Situación actual



Proceso de urgencias del hospital público "A". Situación actual

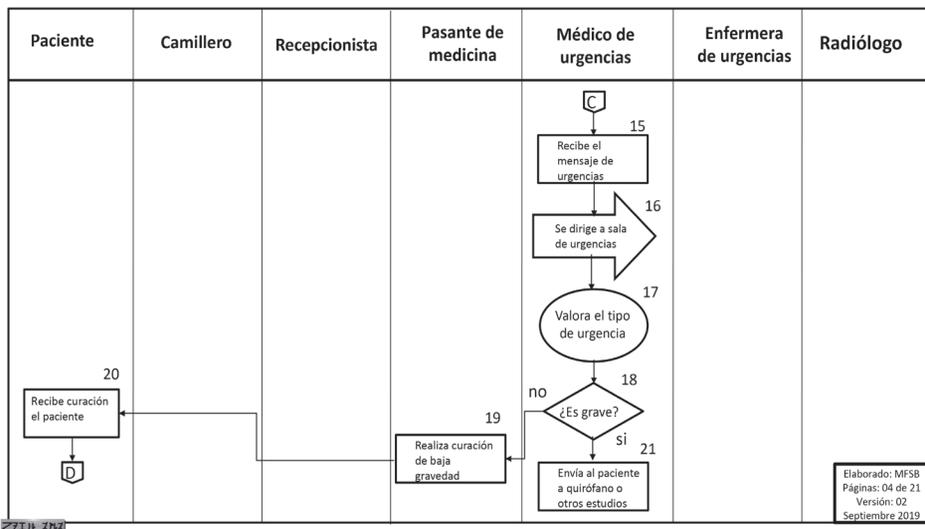


Figura 3. Aplicación de la innovación de procesos en el hospital público "A"

Elaboración propia (tomado del hospital público "A")

(*) Nota. Por cuestiones de privacidad del caso de estudio, solo se muestran cuatro páginas de las veintiuna realizadas en este proceso.

Al recorrer de manera detallada el flujo del proceso de urgencias, los integrantes del EK del hospital público "A" se dieron cuenta de la cantidad de MUDA que aparecía en el flujo y en las actividades del proceso. Tal como se muestra en la figura 3, hasta la actividad 21 se pudieron identificar cinco tipos de MUDA, por lo que se dieron a la tarea de analizar cada una de todas las actividades del flujo hasta su término en la actividad número 43. El resultado de todos los MUDA se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2
Tipos de MUDA identificados en el proceso de urgencias

Proceso del hospital	MUDA detectado	Descripción
Proceso de urgencias	Muda de transporte	- MUDA de espera por la acumulación de ambulancias en la llega de urgencias (MUDA-1)
	Muda de espera	
	Muda de procesamiento	- MUDA de fallo o error y de actitud humana con personal distraído en otras actividades cuando llega la ambulancia (MUDA-2)
	Muda de fallo o error	
	Muda de movimiento	
	Muda de actitud humana	- MUDA de procesamiento por tener una validación de la enfermera en turno de la gravedad de la urgencia cuando se podría hacer desde la ambulancia de inicio con el paramédico (MUDA-3)
	Muda de inventarios	
		- MUDA de procesamiento, exceso de burocracia en el registro del paciente que va a urgencia. El paciente requiere atención, luego se llenarán los datos detallados (MUDA-4)
		- MUDA de espera, el paciente espera en cada momento que se mueve entre las áreas del hospital (MUDA-5 y 6)
		- MUDA de espera, porque la enfermera y el doctor de urgencias no se encuentran en un área cercana al momento en que el paciente llega a urgencias (MUDA-5 y 6)
		- MUDA de procesamiento de la necesidad de estandarizar los protocolos específicos de toma de temperatura, presión sanguínea, y síntomas respiratorios (MUDA-7)
	- MUDA de errores en la etiqueta e identificación del paciente (MUDA- 8)	
	- MUDA de movimientos. Los médicos, enfermeros y ayudantes realizan movimientos innecesarios e incómodos debido al equipo de seguridad (MUDA-9)	
	- MUDA de transporte, al momento en que la enfermera en turno o el pasante vayan a buscar material e instrumentos necesarios para la curación en medio de la urgencia (MUDA-10)	
	- MUDA de fallo o error el momento de realizar una curación mayor por la cantidad de ruido y distracciones en la zona de urgencias (MUDA-11)	
	- MUDA de inventario, fallos de organización y control en el almacén del hospital (MUDA-12)	

Elaboración propia

Asimismo, el EK del hospital público "A" también trabajó en el análisis de "no valor agregado" de las 43 actividades del proceso, por lo que se dio a la tarea de evaluar el proceso en términos de agregar valor, es decir, aquellas actividades que producen una transformación y cumplen con las especificaciones del cliente. En la siguiente figura se muestra el análisis.

No Valor Agregado

PROCESO DE GESTIÓN DE URGENCIAS		
Tipo de actividad	Símbolo	Número
Transporte		8
Decisiones		5
Validación / Verificación		5
Documentos internos		6
Esperas		8
Transporte electrónico		1
Almacenamiento		1
	TOTAL	43

Figura 4. Tabla de actividades de "no valor agregado" del proceso de gestión de urgencias

Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 4, la tabla de actividades de no valor agregado, el proceso de urgencias tiene muchos transportes que van desde que el paciente baja urgencias, va a recepción, a la sala de atención de pacientes de urgencias, los pasillos, el cuarto de recuperación, entre otros más transportes que incluyen el movimiento de enfermeras, doctores y pasantes. El flujo del mismo es complejo, con ocho transportes en todo el proceso. De hecho, todo el proceso se encuentra en un nivel de MUDA teórico del 79 %, es decir, 34 actividades representan un MUDA teórico potencial entre transportes, verificaciones, decisiones, demoras, documentos internos, transportes electrónicos, y almacenamientos. Del total de 43 actividades, 34 actividades pueden representar MUDA, es decir, el 79 %.

Otras dos actividades repetitivas del proceso que representan un MUDA son los seis documentos internos. El EK del hospital público "A" por primera vez pudo constatar el nivel de burocracia generadora de papel en el hospital. Cada formato de control requería autorización de algún funcionario y estaba vinculado en gran parte a las demoras o

esperas del proceso, ocho demoras en las 43 actividades del proceso total. Por lo tanto, la situación del proceso de urgencias, le dio una visión exacta de la complejidad de las actividades del proceso de urgencias al EK que lo estaba analizando. En palabras del líder de la aplicación de la metodología de innovación de procesos:

Yo era escéptico al principio con el esto del *kaizen*, porque uno como médico cree que todo está bien, quizás por el conocimiento que uno adquiere en la carrera universitaria e incluso por el ego. Pero la verdad, una vez que hicimos el diagrama de flujo nos dimos cuenta de que existen muchas actividades y muchos actores, y por supuesto, que tenemos mucho MUDA. Te aseguro que después de esa fotografía de nuestra realidad todo cambió para hacer más conscientes de nuestros errores y fallos. (E-HP-A-003)

Por último, también existen varias verificaciones en el proceso de urgencias: cinco en total de verificaciones y decisiones (ver figura 4), que afectan seriamente el flujo continuo del proceso y, por supuesto, el traslado del paciente. Además, se repiten varias verificaciones de signos vitales y estatus de la gravedad de la urgencia del paciente por varios actores del proceso. El EK determinó que se tendría que analizar cuáles verificaciones y decisiones deberían quedarse como punto de control del proceso de urgencias. Los puntos de control de calidad (verificaciones y decisiones) que se quedaran en el proceso realmente tendrían que aportar valor y no generar demoras y esperas al paciente herido.

Finalmente, el resultado de este análisis de valor brindó el *input* necesario para realizar actividades de innovación o rediseño de procesos. El EK realizó la aplicación de las innovaciones y rediseños en el proceso de urgencias y, posteriormente, en el proceso de atención a pacientes de Covid-19 cuando la pandemia empezaba a surgir en México. Las principales cuatro acciones de innovación y rediseño para eliminar el MUDA encontrado en el proceso (ver tabla 2) se muestran a continuación.

1. El EK del hospital público "A" aplicó la técnica del *jidoka* para eliminar varios MUDA de espera y recortar el tiempo de los transportes del proceso de gestión de urgencias en su situación actual. Uno de los dispositivos que se implementó fue el uso de un "botón de emergencia" colocado en la zona de recepción de urgencias para avisar a médicos, enfermas y pasantes al momento que llegaba cada paciente a esta zona del hospital. El recepcionista, previamente entrenado, cada vez que llegara un paciente a la recepción de urgencias apretaría el llamado "botón de emergencia", y el equipo en turno designado observaría en su dispositivo móvil (tablet o teléfono inteligente) una señal de alarma que le indicaba el momento de irse a la sala de urgencias para atender al paciente canalizado. Tanto fue el éxito del mecanismo anterior que, cuando la pandemia se encontraba en uno de sus picos más altos de contagio (abril del 2020), el mismo equipo *kaizen*, con la idea de un trabajador, conectó un sensor a los ventiladores de Covid-19 para avisar a los médicos en turno que atendían pacientes

con el virus: el momento que se activaba el sensor del ventilador era la señal de que la persona se estaba poniendo en una condición más crítica. En ese momento, el médico de especialidad o la enfermera o enfermero denotaban esta alarma mediante un pequeño foco rojo instalado en su careta de protección. En otras palabras, una vez que el sensor detectaba niveles críticos en el ventilador (mayor potencia por gravedad del paciente), mandaba una señal electrónica que hacía se prendiera el pequeño foco rojo instalado en la careta-máscara de los médicos y enfermeros (ver figura 5). Al prenderse, inmediatamente el personal de salud asignado regresaba a las salas Covid-19. Ambas ideas, tanto el “botón de emergencia” como el sensor y el foco rojo fueron ideas de los propios médicos y enfermeros del hospital público “A”, cumpliendo con el principio del *jidoka* de automatizar con bajo costo y utilizando el talento de las personas.

2. El EK también rediseñó los estándares de operación de registro (protocolo de registro, como se conocía en el hospital público “A”), los estándares de atención en urgencias de toma de signos vitales y de diagnóstico de gravedad. En otras palabras, los puntos de control de calidad. Todo ello se integró con el EK y algunos otros actores del proceso de urgencias (otros médicos, ayudantes, enfermeros, enfermeras).
3. La tercera acción de innovación y rediseño de procesos que implementó el EK fue la mejora del flujo de transporte del proceso, tanto de la gestión de los pacientes de urgencias como de la gestión de la Covid-19. El mapear el flujo del *layout* del hospital observando cómo se movía el paciente de un lado a otro permitió rediseñar el proceso a un flujo continuo y lineal, sin tantas esperas, ni zigzags entre áreas, salas y pasillos. Esta experiencia que tuvo el EK le permitió diseñar el flujo de movimiento previo al proceso de atención a pacientes Covid-19 en medio de la parte crítica de la pandemia de la Covid-19 (ver figura 5).
4. La última acción que realizó el EK del hospital público “A” fue el análisis de los puntos de control con el fin de eliminar los excesivos y fortalecer los que quedaban para asegurar la calidad del proceso. Los puntos de control de calidad del proceso que se quedaron fueron aquellos que mantenían la seguridad del paciente sin generar demoras y esperas que pusieran en riesgo su atención. Por lo tanto, el paramédico realizaba un primer diagnóstico en la ambulancia misma que enviaba por WhatsApp a la enfermera en turno, la cual estaba lista para confirmar el diagnóstico inicial y canalizarlo rápidamente a la sala de urgencias. Lo mismo hacía la enfermera de turno al mandar tanto a médico o enfermera de urgencias para estar listos a la llegada del paciente. El tercer punto de control calidad era el más formal en términos de diagnóstico médico, pero en ese momento, dicha verificación estaba totalmente sustentada en las revisiones previas. Finalmente,

se quedó de igual manera el punto de control de calidad del final del proceso para dar de alta al paciente. Todos y cada uno de ellos sustentados en los estándares de operación rediseñados por el EK del hospital público "A".

Como dice el líder de la implementación de la filosofía *kaizen* en el hospital público "A":

Todo este esfuerzo de prácticamente un año y un mes con el *kaizen* en el hospital se ha visto reflejado en dos cosas desde mi apreciación: seguridad para nosotros y los pacientes, y eficiencia operativa. Ambas nos han ayudado a no cometer errores, estar más alertas en ambos puntos, y sobre todo tener mejores jornadas de trabajo... Mira, yo acabo exhausto con los cubrebocas N95, las gafas de protección, el traje, y por supuesto, la careta-máscara. Mira mi rostro: entre ocho y diez horas de jornada, todo se marca. El *kaizen* nos ha proporcionado la posibilidad de tener un espacio de trabajo seguro y eficiente, libre del tan famoso MUDA. (E-HP-A-002)

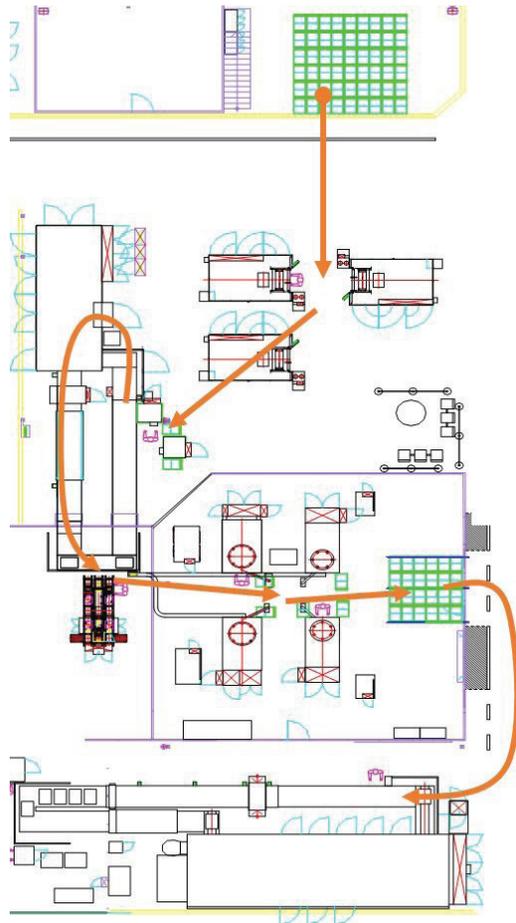


Figura 5. Ejemplo de jidoka y de rediseño del flujo continuo

Fuente: Suárez Gómez, N.I. (2020)

4. CONCLUSIONES/DISCUSIÓN

Sustentado en los resultados de implementación de la filosofía *kaizen* en el hospital público "A", es posible concluir que existió una aplicación adaptada a la realidad de una organización de servicio y en al menos el proceso de urgencia y atención a pacientes con Covid-19 se optimizaron los procesos, eliminando el MUDA. De esta manera, si regresamos a la pregunta de investigación de este estudio: *¿Cómo se implementan las técnicas del kaizen, innovación de procesos y jidoka en la resolución de problemas y eliminación de actividades de no valor agregado de procesos operativos en un hospital en México en medio de la pandemia de la Covid-19?*, en el apartado de resultados se describe el caso a detalle y, por lo tanto, se muestran los resultados logrados con las tres técnicas utilizadas de la filosofía *kaizen* que a continuación se describen:

1. De la *filosofía kaizen* (las 5'S, el entrenamiento en el lugar de trabajo (*on-job training*), la formación de equipos de mejora (EK). Con la aplicación de las medidas, se sensibilizó a prácticamente al 90 % de los trabajadores del hospital público "A", se generó la estructura o la red de equipos de mejora, y por supuesto, se organizó, ordenó y limpió el almacén del hospital en un 100 %, desechando (o reciclando) 150 kg de material inservible y equipo obsoleto o en mal estado.
2. La metodología de *innovación de procesos*, que ayudó a detectar el menos el 79% de MUDA en el proceso de urgencias, rediseñando varias de dichas actividades sin valor agregado para dejar un proceso continuo, eficiente y sin demoras con tan solo veintisiete actividades optimizadas de las 43 iniciales. El rediseño de procesos de urgencias sentó las bases para la mejor operación y un flujo continuo para la atención de pacientes con Covid-19.
3. La obtención de ideas de los trabajadores para eliminar el MUDA del proceso de urgencias de atención del Covid-19 mediante el *jidoka*. Así, pues, se automatizaron al menos dos secciones de ambos procesos que brindaron rapidez, seguridad y confiabilidad al proceso.

Con la implementación de estas tres técnicas de la filosofía *kaizen* es factible indicar que la "exportación" de técnicas de manufactura e ingeniería industrial al sector servicio es viable y puede tener resultados favorables, como lo muestra la evidencia presentada en este caso de estudio. Ahora bien, es importante señalar que en ningún momento esta investigación intenta afirmar que aplicar el *kaizen* en el sector salud es la panacea y solucionará todos los problemas de operación y el MUDA de los procesos, y mucho menos en una pandemia como la del Covid-19, con tantas variables que controlar. Por el contrario, implementar el *kaizen* en el hospital público "A" permitió mejorar algunos de los problemas operativos y MUDA que tenían en un proceso clave o crítico como es el de urgencias, lo que les brindó a los trabajadores de salud del hospital público "A" una luz

en el mar de obstáculos que viven estos hospitales en México, además de hacer frente con mayor rigor y estructura a la pandemia de la Covid-19 por los cambios de rutinas que hubo durante todo un año de implementación del *kaizen* en el hospital público "A".

Por otra parte, la aplicación exitosa en resolver problemas operativos en hospitales públicos con técnicas y herramientas centradas en la filosofía *kaizen* es corroborada con la literatura de otros países, tales como Estados Unidos de América, Suecia, Reino Unido, Japón, Alemania y Egipto, entre otros (Bandyopadhyay, J. y Hayes, G., 2009; Ishijima *et al.*, 2020; Bortolotti *et al.*, 2018). En Latinoamérica, los trabajos de Coelho *et al.* (2015) en Brasil, y de González-Aleu *et al.* (2018) en México, confirman que es posible su implementación en el contexto de nuestros países.

Todos y cada uno de estos autores coinciden en que es posible la aplicación paulatina del *kaizen* y del pensamiento *lean* en el sector salud, cubriendo por supuesto ciertos elementos potenciadores para que esto ocurra con resultados positivos. Algunos de esos elementos se presentaron en este caso de estudio como elementos críticos para obtener resultados positivos: (i) liderazgo activo e involucrado de la alta dirección; (ii) aprender-haciendo; los proyectos de cambio lo deben hacer los mismos actores, los protagonistas, en este caso el personal de salud del hospital; (iii) disciplina operativa en la aplicación de las metodologías y las técnicas de la filosofía *kaizen*; (iv) involucramiento de los mandos medios; (v) capacitación y entrenamiento activo dentro del hospital, a todo el personal, para lograr la sensibilización necesaria hacia su trabajo cotidiano; (vi) finalmente, la creación de EK para la ejecución de los proyectos.

La literatura confirma varios de estos elementos potenciadores señalados anteriormente. Coelho *et al.* (2015), por su parte, indican que involucrar a los mandos medios en los proyectos de rediseño en los hospitales es crítico, y lo mismo concluyen González-Aleu *et al.* (2018) con respecto a elementos como el apoyo de la Alta Dirección del hospital. La utilidad de aprender-haciendo en el *gemba* (en el lugar) también está confirmada por los casos de estudio de Ishijima *et al.* (2020) y Bortolotti *et al.* (2018). Todos y cada uno de estos elementos son corroborados con la evidencia de los datos obtenidos en el caso de estudio analizado.

Por último, como aporte vital a nuestra investigación, realizar una toma de datos en condiciones de pandemia no es nada sencillo; por tal motivo, el apoyo vital del "observador-auditor" fue crucial para validar los resultados en plena pandemia de Covid-19, apoyando al autor principal del artículo. La aplicación de la filosofía *kaizen* sembró el camino del cambio de las viejas prácticas gerenciales en el hospital público "A", y le hizo frente de manera eficiente y segura a la Covid-19, tal como indicó el personal de salud del caso de estudio en sus entrevistas, corroborado por la literatura del tema al incrementar la eficiencia operativa de los procesos de salud (Abadallah y Alkhalidi, 2019).

Finalmente, como limitación de la investigación es factible indicar que los datos obtenidos en este artículo académico no se pueden generalizar por la simple y sencilla razón que apenas se analizó un caso de estudio que atendía Covid-19 y que, además, está en tan solo un estado de la República Mexicana. Faltaría ampliar el estudio con muchos más casos de hospitales públicos dentro de México. Asimismo, este trabajo de investigación puede representar una guía de implementación para otros hospitales públicos mexicanos y de Latinoamérica que tienen contextos similares con o sin pandemia de la Covid-19.

REFERENCIAS

- Abadallah A. B. y Alkhalidi, R. Z. (2019). Lean bundles in health care: a scoping review. *Journal of Health Organization Management*, 33(4), 488-510.
- Arredondo, A. (2001). Federalismo y salud: Estudio de caso sobre el sistema de salud en México. *Forum of Federation*. Recuperado de www.forumfed.org.
- Arumugan, V.; Antony, J. y Douglas, A. (2012). Observation: a lean tool for improving the effectiveness of Lean Six Sigma. *The TQM Journal*, 24 (3), 275-287.
- Bandyopadhyay, J. y Hayes, G. (2009). Developing framework for continuous improvement of patient care in United States Hospitals: a process approach. *International Journal of Management*, 26 (2), 179-185.
- Barcena, A. (2020) Coyuntura, escenarios y proyecciones hacia 2030 ante la presente crisis de Covid-19. *Observatorio COVID-19 para América Latina y el Caribe*, CEPAL, informe del 3 de abril de 2020.
- Bortolotti, T.; Boscarri, S.; Danese, P.; Medina-Suni, H.; Rich, N. y Romano, P. (2018). The social benefits of Kaizen initiatives in healthcare: an empirical study. *International Journal of Operation & Production Management*, 38(2), 554-578.
- Chiarini, A. (2011). Integrating lean thinking into ISO 9000: a first guideline. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(2), 96-117.
- Coelho, S. M.; Pinto, C. F.; Calado, R. D.; Marotta, E.; Romano, E. y Silva, M. B. (2015). Lean Healthcare: process improvement in a cancer chemotherapy unit. *Journal of Innovation and Health Care Management*, 1(1), 1-9.
- Coronavirus (2020). Página oficial de la Secretaría de Salud de México. Recuperado de <https://coronavirus.gob.mx>
- Drotz, E. y Poksinska, B. (2014). Lean in healthcare from employees' perspectives. *Journal of Health Organization and Management*, 28 (2), 177-195.
- Emiliani, M. L. (2003). Linking leaders' beliefs to their behaviors and competencies. *Management Decision*, 41(9), 238-247.

- Frenk, J.; González-Pier, E.; Gómez-Dantes, O.; Lezana, M. A. y Knaul, F. (2007). Reforma integral para mejorar el desempeño del sistema de salud en México. *Salud Pública de México*, 49(1), 23-36.
- Glaser, B. y Strauss, A. (1967). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. New York: Aldine Publishing Company.
- González-Aleu, F.; Van Aken, E.; Cross, J. y Glover, W. (2018). Continuous improvement project within Kaizen: critical success factors in hospitals. *The TQM Journal*, 30(4), 335-355.
- Harrington, H. J. (1991). *Business process improvement: The breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness*. New York: McGraw Hill Professional.
- Hernández-Torres, F. y Alcántara-Balderas, M. (2015). Niveles de evaluación de calidad. En *La calidad de la atención de salud en México a través de sus instituciones. Biblioteca Mexicana del Conocimiento*, 2(1), 11-27.
- Herrera, R. (6 de febrero de 2020). *Supervisa SFP hospitales de Neurología y Pediatría*. Periódico *Reforma*. Recuperado de https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?__rval=1&urlredirect=https://www.reforma.com/supervisa-sfp-hospitales-de-neurologia-y-pediatria/ar1869295?referer=--7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a--
- Imai, M. (1986). *Kaizen-The key to Japan's Competitive Success*. New York: Random House.
- Imai, M. (1989). *Kaizen, la clave de la ventaja competitiva japonesa*. México: CECSA.
- Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen*. New York: McGraw-Hill.
- Ishijima, H.; Nishikido, K.; Teshima, N.; Nishikawa, S. y Abdul Gaward, E. (2020). Introducing the "5'S, Kaizen, TQM" approach into public hospitals in Egypt. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 33(1), 89-100.
- Knaul, F. y Frenk, J. (2005). Health Insurance in Mexico: Achieving universal coverage through structural reform. *Health Affairs*, 24(6), 1467-1476.
- Kollberg, B.; Dahlggaard, J. y Brehmer, P. O. (2007). Measuring lean initiatives in health care services: issues and findings. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 56(1), 7-24.
- Lillrank, P. y Kano, N. (1989). *Continuous Improvement-Quality Control Circles in Japanese Industry*. Ann Arbor M.I.: University of Michigan.
- Meneses-Falcón, C. (2020). Living in the brothel: Participant observation in hidden contexts. *The Social Science Journal*, 1-15. doi: 10.1016/j.soscij.2019.04.010.

- Miles, M. y Huberman, M. (1994). *Qualitative Data Analysis, a method source book*. London: SAGE.
- Newitt, D. J. (1996). *Beyond BPR & TQM - Managing through processes: Is kaizen enough? Industrial Engineering*. London: Institution of Electric Engineers.
- Ohno, T. (1988) *Toyota Production System*. Tokyo: Diamond.
- OMS (2020). Recuperado de https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=Cj0KCQjw3Nv3BRC8ARIsAPh8hgKOrdy-jteo6aA8NgZ_mGV_yLF_JZv8end9HJ6rumY6Pqa4bXJ7u21aAqNNEALw_wcB. Página consultada el 26 de junio del 2020.
- Pedler, M. y Abbott, C. (2008). Lean and learning: action learning for service improvement. *Leadership in Health Services*, 21(2), 87-98.
- Ritchie, J. y Lewis, J. (2003). *Qualitative Research Practices: A guide for social science student and researchers*. Thousand OAK: Sage.
- Robledo, Z. (2019). La salud es un ideal alcanzable cuando se tiene la osadía de hacer historia. *Artículos del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)*, 1(303), 1-2.
- Soberón-Acevedo, G. y Valdés-Olmedo, C. (2007) Evidencias y salud: ¿hacia dónde va el sistema de salud en México? *Salud Pública de México*, 49(1), 5-7.
- Spear, S. J. (2005) Fixing health care from inside, today. *Harvard Business Review*, 83(8), 78-91.
- Suárez-Barraza, M. F. (2007). *Kaizen, la filosofía de mejora continua e innovación incremental detrás de la Administración por Calidad Total*. México: Panorama.
- Suárez-Barraza, M. F. (2019). *Innovación de procesos en las organizaciones, el tercer principio rector del kaizen* [tercera edición]. Toluca: Ágora Medios.
- Suárez-Barraza, M. F.; Ramis-Pujol, J. y Kerbache, L. (2011). Thoughts on Kaizen and its evolution: three different perspectives and guiding principles. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(4), 288-308.
- Suárez-Gómez, N. I. (2020). Dibujos de la innovación de procesos para el Hospital Caso "A".
- Yin, R. (2003). *Case Study Research, Design and Methods*. Thousands Oaks: Sage.
- Yin, R.K. (2017). *Case study research and applications: Design and methods* [6th ed.]. Thousand Oaks: Sage.

ACID MINE DRAINAGE MITIGATION: A REVIEW

DANIEL LAZO*

<https://orcid.org/0000-0003-1757-5444>

Western Australian School of Mines, Curtin University, Australia

Recibido: 16 de agosto / Aprobado: 28 de agosto del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4917>

ABSTRACT: Acid mine drainage (AMD) or acid rock drainage (ARD) refers to the effluents from coal and metal mines. AMD is a common phenomenon which occurs naturally as a process of rock weathering, but is increased in large scale due to human activities such as construction contracts (transportation corridors, dam build, etc.) and mining operations. This phenomenon denotes the acidic water that is produced during exposure of sulphide minerals (mainly pyrite) to air and water through a natural process, and creates sulphuric acid. AMD is a hazard to animals, aquatic life and human beings as it increases the acidity and dissolves metals. Preventing and treating AMD is an important issue in a mine site not only during operation life but also after the mine is abandoned.

Keywords: acid mine drainage / acid rock drainage / tailings / mitigation

MITIGACIÓN DEL DRENAJE ÁCIDO DE LAS MINAS: UNA REVISIÓN

RESUMEN: El drenaje ácido de minas (AMD) o drenaje ácido de rocas (ARD) hace referencia a los efluentes de las minas de carbón y metal. El AMD es un fenómeno común que se produce naturalmente como un proceso de erosión de la roca, pero que aumenta en gran escala, debido a las actividades humanas como las construcciones (corredores de transporte, construcción de presas, etcétera) y las operaciones mineras. Este fenómeno denota el agua ácida que se produce durante la exposición de los minerales de sulfuro (principalmente pirita) al aire y al agua a través de un proceso natural, y crea ácido sulfúrico. El AMD es un peligro para los animales, la vida acuática y los seres humanos, ya que aumenta la acidez y disuelve los metales. La prevención y el tratamiento del AMD es una cuestión importante en una mina, no solo durante la vida de la operación sino también después de que la mina es abandonada.

Palabras clave: drenaje ácido de minas / drenaje ácido de rocas / colas / mitigación

* Correo electrónico: daniel.lazo@postgrad.curtin.edu.au

1. INTRODUCTION

Historically, the acidic effluents from active and abandoned mines were called acid mine drainage (AMD). The term acid rock drainage (ARD) was used for the first time during the 1980s and 90s to denote acidic effluents from locations other than mines. In fact, ARD is the more generic name.

Mining-influenced water (MIW) is a term used for any water that has been affected in its chemical composition by mineral processing operations. MIW covers several different types of water such as residual waters, AMD waters, mineral processing waters and marginal waters (Wildeman and Schmiermund, 2004). The amount of AMD depends on several factors such as the mineralogy of the material, oxygen concentration, etc. and AMD occurs on a natural basis. Mining industries are the source of metals and economic activity, and AMD is a big concern for such industries. Mining operations tend to increase the amount of rock surface exposed to the atmospheric elements (air and water).

In addition, metal and coal deposits contain high levels of sulphide minerals (pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, chalcocite, etc.), which mostly react with water and oxygen, and generate acidic solutions. Elevated levels of heavy metals, acidity and salts have a negative influence on the surrounding area. AMD is acidic water which contains dissolved iron sulphite and other heavy metals with a pH less than 5.

There are two main approaches for AMD treatment: passive and active treatment systems (Skousen *et al.*, 1998; Wolkersdorfer, 2008). Both use different chemical, physical and biological methods to decrease the concentration of metals in AMD, but none has been successfully applied due to the different characteristics and chemistries of each mine site.

Currently, AMD needs to be treated at high expenditure before being discharged into the environment. This inhibits plant growth in the surrounding area of the mine site and avoids the successful reclamation of the mine site after the mine is abandoned. The main objective of AMD mitigation is to recover metals in the most convenient way for commercial and/or industrial utilisation.

There are several cases where mine drainage is not acidic and has dissolved metals in the solution. These mine drainages used to be acidic and have been neutralised in its streams through the discharge area. They are commonly named "neutral mine drainage" or "mining influence water".

2. OCCURRENCE OF AMD NATURALLY

AMD occurs when the sulphide minerals are exposed to the atmospheric elements: water and air. AMD detection is a powerful tool for exploration and thereby an important feature

for mineral deposits. Exposed deposits will generally show a yellow-red layer due to oxide material known as gossan. Some examples are Río Tinto in Spain and Iron Creek in Colorado, which reflect the historical nature.



Figure 1. Example from an old metalliferous mine, South Africa

Source: Akcil and Koldas (2006)

The variables affecting AMD can be classified as:

- **Primary:** They are directly involved in the creation of sulphide oxidation reaction.
- **Secondary:** They influence the alteration and consumption of oxidation products.
- **Tertiary:** They are physical variables which affect the surrounding in the form of topography, climate, etc.

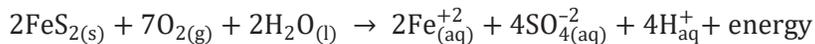
The AMD process is influenced by several variables:

- *Microorganisms:* The presence of some microorganisms strongly increase the AMD rate. Bacteria oxidises sulphur minerals as a source of energy. There are microorganisms which survive in sub-zero degree temperature, contributing to AMD in permafrost regions.
- *Temperature:* Higher temperatures accelerate the oxidation process. In the case of pyrite, oxidation occurs at 30 °C. For each 10-degree increase in temperature, the transformation rate doubles.
- *Mineralogy:* Each sulphide mineral oxidises at a different rate and neutralisation may occur with the presence of other minerals, which could decrease the production rate.
- *Surface area exposed:* Increasing the surface area of sulphide minerals accelerates the oxidation and creation of AMD due to exposure to the atmosphere.

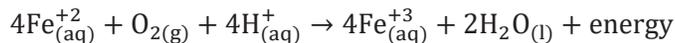
- *Oxygen: AMD rates are accelerated in the presence of abundant oxygen, and formation rates of buried sulphide minerals are lower than those exposed to air.*
- *Water: Wetter areas produced higher rates than those areas where there was no water available. Thus, fresh mineral surface produces more oxidation due to the cycles of wetting and drying.*

After being exposed to the atmosphere, metal sulphides start to oxidise (mainly pyrite, which is iron sulphide). Bacteria and archaea strongly increase the rate of decomposition of metal ions even in abiotic environments. These microorganisms, which have the ability to survive in harsh conditions, live naturally in the rock and keep in low number. *Acidithiobacillus* has an important and determinant role for pyrite oxidation.

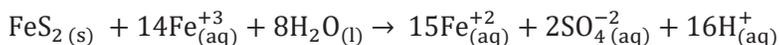
Pyrite oxidation is a multistep reaction and an exothermic process (Skousen *et al.*, 1998; Lottermoser, 2007). The chemistry of ferrous ion and ferric ions is complex and, due to this characteristic, it has inhibited a cost-effective treatment. A general equation can be described as follows:



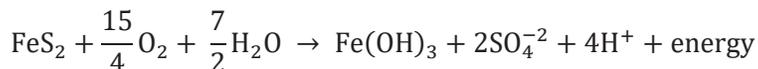
Next, oxidation of sulphide to sulphate solubilises ferrous iron (iron II), which is transformed to ferric iron (iron III). Ferric iron oxidises pyrite under acidic conditions. A general equation is shown below:



Either of these reactions can be accelerated by bacteria, which generate energy from the oxidation and may occur suddenly. The ferric cations produced from the previous reaction oxidise new pyrite and the process goes on:



All of these reactions generate an important effect which releases H⁺, decreases the pH content and holds the solubility of the ferric ion:



3. AMD: ENVIRONMENTAL IMPACT FROM MINING OPERATIONS

AMD generates environmental damage that affects several countries with mining industries. Avoiding the creation or migration of AMD from its source is certainly considered the best choice. Sometimes it is not feasible in several locations: in that case, it is mandatory to compile, treat and discharge MIW.

Metal mine sites create highly acidic outflows when the ore is a sulphide mineral or is associated with pyrite. In these mines sites, the abundant metal ion may not be iron but other ones, such as nickel, copper or zinc. Copper mines are often responsible for AMD due to chalcopyrite, as it is a copper-iron-sulphide mineral.

There are several choices feasible to palliate AMD, which can be divided into either biological or chemical mechanisms that neutralise AMD to carry off metals from solution. Active treatment is a continuous process which requires extended input of resources to hold the process. Passive treatment is a process which requires a little amount of resources during the operation.

At several mine sites, AMD is not generated for several decades, whereas at other mines it is detected within 2-5 years. It is possible for decades or centuries to pass before the first sign of AMD. For this reason, AMD is a serious problem in the long-term perspective due to its influence on the environment.

The introduction of water in underground mining operations is the first step for generating AMD. Underground mining carries out its operations below the water table; therefore, water needs to be constantly pumped out in order to avoid flooding. When the lifetime of the mine is over, water floods the mine due to cease of the pumps. Furthermore, there are other structures which push the trigger of AMD, such as coal spoils, mine waste rock dumps and tailing piles or ponds.

Oxidation of sulphide minerals can have an upward trend by the effects of a group of bacteria called *Acidophilus* (e.g. *Thiobacillus thiooxidans* and *Thiobacillus ferrooxidans*). To generate acid drainage, the system is required to have water and oxygen. The bacteria use water as it serves as a reactant for the oxidation process and mode of transport. Oxygen sustains the bacteria and is a component in the chemical process. Sulphide oxidation finds the most outstanding conditions (moisture levels and unsaturated conditions) in tailing beds and mine-waste profiles.

AMD has the ability to affect the water quality by decreasing the pH and increasing the presence of dissolved metals in surface and groundwater. The grade of environmental impact on the water tables depends on the sensitivity and size of the water body affected. Likewise, it depends on the grade of dilution and neutralisation that occurs. Thereafter, AMD enters the groundwater, being able to have a negative impact on the

health of plants, insects and aquatic animals. The dissolved metals in solution associated with AMD are often more prejudicial to aquatic animals.

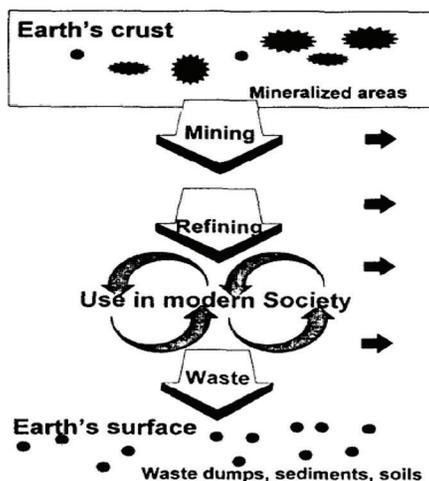


Figure 2. Pathway of metals from mineralised areas in the Earth's crust to their final "resting place" as diffuse pollutants in soils and sediments and stored in waste dumps

Source: Salomons (1995)

AMD can be produced in different areas of mine operations such as underground working drainage, open pit faces, waste rock/spoil dumps, ore stockpiles, tailing storage facilities and heap leach operations. In waste rock dumps, where the process commences immediately, acid generation occurs throughout the dump where there is high permeability to air and water. Tailing dumps have low permeability, and acid generation starts from top of the dam and moves slowly down (Browner, 2014).

Table 1
Table of sources of acid mine drainage

Primary Sources	Secondary Sources
Mine rock dumps	Treatment sludge ponds
Tailings impoundment	Rock cuts
Underground and open pit mine workings	Concentrated loadout
Pumped/nature-discharged underground water	Stockpiles
Diffuse seeps from replaced overburden in rehabilitated areas	Concentrate spills along roads
Construction rock used in road dams, etc.	Emergency ponds

Source: Akcil and Koldas (2006)

4. AVAILABLE METHODS FOR CONTROLLING AMD

4.1 Identification and prediction of AMD

During the early development of a mine project to determine the potential for AMD, it is a common practice to carry out several evaluations. Data acquisition includes:

- Geological modelling
- Geological, geochemical, mineralogical, petrographic descriptions
- Geochemical assessment
- Use of software for oxygen movement and geochemical process

The geochemical assessment helps to determine the area of distribution and variability of important geochemical variables, leaching characteristic and acid generation.

The geochemical assessment includes the following steps:

1. Sampling
2. Static geochemical testing
3. Kinetics geochemical testing
4. Creating models for oxidation, pollutant generation
5. Creating models for material composition

Advances in AMD prediction include new software programs using algorithms, chemical assessment and acid-base accounting. Mining operations, which expose sulphide-bearing rocks, do not always create AMD due to the ore having huge amounts of acid-buffering minerals, i.e. bicarbonate or carbonate, calcite and lime, which are capable of diminishing or neutralising acidic waters. Neutralisation can be explained when baking soda (soda bicarbonate) is mixed with vinegar (weak acid): the baking soda reacts with the vinegar and the acid is neutralised. The prediction of AMD needs a whole understanding of the mineral characteristics, geological mapping, geochemical reactions, etc. because the composition of each ore is unique.

Mining companies must submit an evaluation of the AMD potential as future mines sites develop. Thus, they must supply detailed procedures to prevent or to suppress the formation of AMD in mine sites at all phases of operation.

There are two practical methods to evaluate the possibility of having acid mine drainage (Browner, 2014):

- A. Net acid-producing potential (NAPP): It measures sulphur content and calculates acid production. It also estimates how much sulphuric acid can be consumed

to attack the ore. If acid production is greater than acid consumption, there is a problem of AMD.

- B.** Net acid generation (NAG): Mix the ore with hydrogen peroxide (H_2O_2) and titrated acid is produced with sodium hydroxide. If more than 5 kg of sulphuric acid is produced per tonne, high acid-forming capacity is shown.

4.2 Prevention of acid mine drainage

The most cost-effective method to suppress AMD is the prevention through foresight and mine planning. For example, mine design can be applied in a way that reduces the excavation of sulphide minerals. Several AMD strategies can be carried out if the sulphide mineral excavation is unavoidable.

- **Covering waste rock:** Wrapping the piles of waste rock with a layer of clay, plastic or soil negates contact with rain and oxygen to react with sulphide minerals. The main goal is to minimise the contact of water and have an oxygen barrier. Dry covers ought to hold erosion and provide support to vegetation. Several variables affect the design, such as waste material reactivity, type of waste material and climate conditions. To achieve long-term cover success, it is necessary to have a proactive detection and problem-solving attitude before any environmental impacts. Achieving this goal requires monitoring, repair, maintenance and contingency plans. Best environmental practice requires site-specific adaptation of local characteristics and environmental conditions.
- **Mixing acid-buffering materials with acid-producing materials:** Neutralisation of AMD can be achieved if there is a combination of limestone or calcite (acid-buffering material) and sulphide wastes (acid-producing materials).
- **Storing underwater waste rock:** Underwater storage is the most effective, cost-benefit and reliable method to prevent AMD. It reduces the rate of sulphide mineral oxidation by suppressing oxygen. The oxygen concentration in water is 8.6 mg/L at 25 °C, which is approximately 25,000 times lower than in the air. Several compounds and organic matter can decrease the dissolved oxygen in the water, which would not be available for sulphide oxidation. It is crucial to ensure that all material must be covered by at least 2 meters of water.
- **Sealing and flooding underground mines:** Sealing all the entrances in an underground mine avoids water flows in and out, which can produce water tables contamination. It means that the mine is isolated by sealing all the entrances.
- **Treating sulphide wastes with chemicals:** Organic chemicals have been used to eliminate sulphide oxidising bacteria to decrease the rate of AMD. There is a concern that these chemicals may eliminate beneficial bacteria.

Preventive actions can achieve most effective outcomes when they are used in combination and adapted for each mine site. Furthermore, monitoring the groundwater and surface water would provide an early warning of AMD formation.

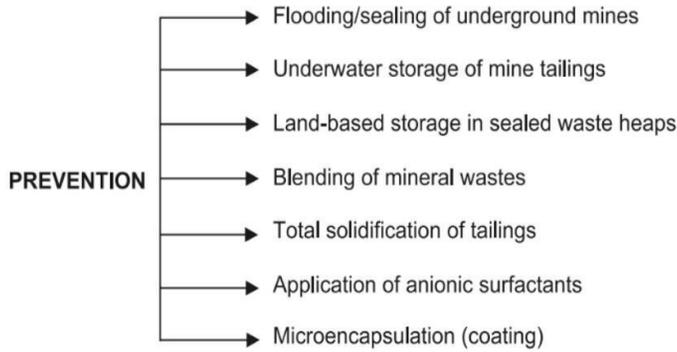


Figure 3. Various approaches that have been evaluated to prevent or minimise mine drainage waters

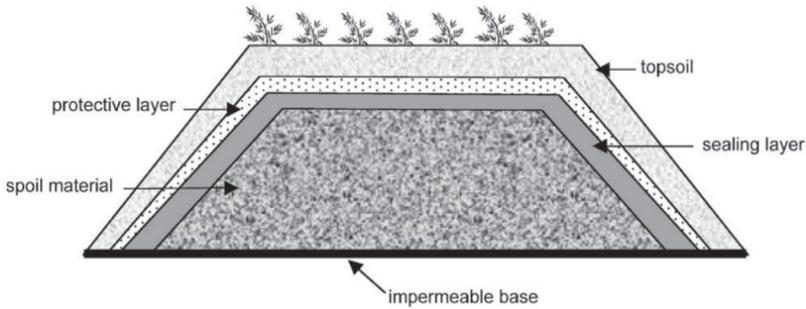


Figure 4. Layout of a "dry cover" for minimising production of mine spoil effluents

Source: Johnson and Hallberg (2004)

4.3 AMD treatment: Conventional methods

When the prevention strategy is unsuccessful for the formation of AMD, there are several methods to capture and treat AMD using water treatment processes. The most widespread method is adding an alkaline mineral (often lime) to the water. Although these methods show a high efficiency rate, they involve high material consumption and operating cost.

AMD treatment can be classified as passive and active (Johnson and Hallberg, 2004):

- Active treatments: They require continuous addition of chemical reagents and monitoring.

- Passive treatment: They need little reagents, no reagents or no active monitoring.

There are several different methods to treat AMD after unsuccessful predictive and preventative methods. The most important methods are explained hereinbelow:

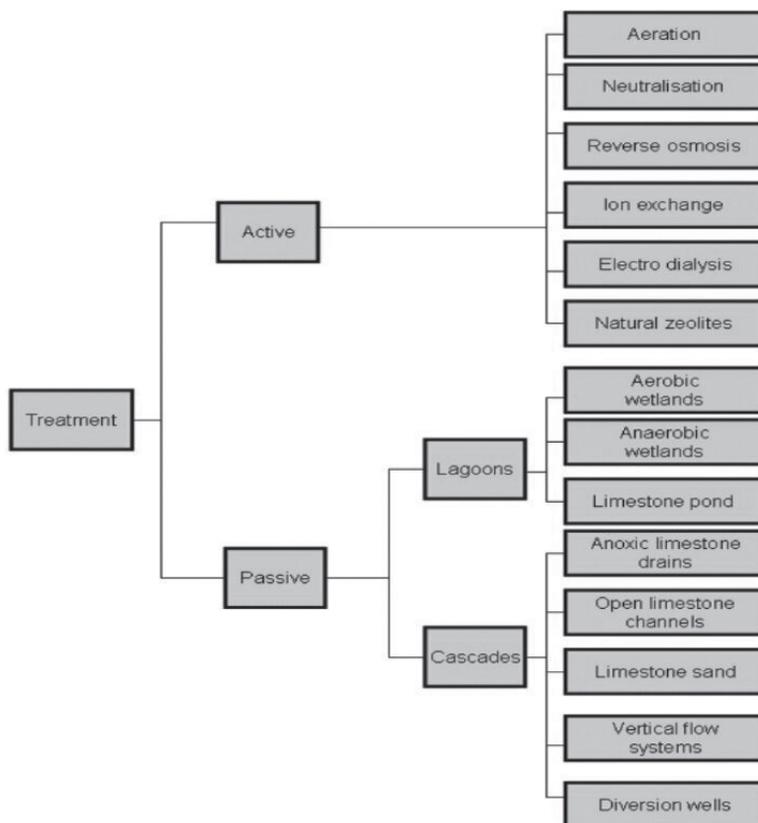


Figure 5. Flowchart of the available processes used for AMD treatment

Fuente: Ali (2011)

4.3.1 Aeration

According to Ackman and Kleinmann (1984), an in-line system is provided for treating AMD, which basically comprises the combination of a jet pump (or pumps) and a static mixer. The jet pump allows the entrance of air into the acid wastewater using a Venturi effect. Thus, it provides aeration of the wastewater, while further aeration is provided by the helical vanes of the static mixer. A neutralising agent is injected into the suction chamber of the jet pump and the static mixer is formed by plural sections offset by 90 degrees. Conventional AMD treatment processes basically comprise four steps: (1) neutralisation, (2) aeration, (3) settling and disposal of sludge, and (4) effluent discharge.

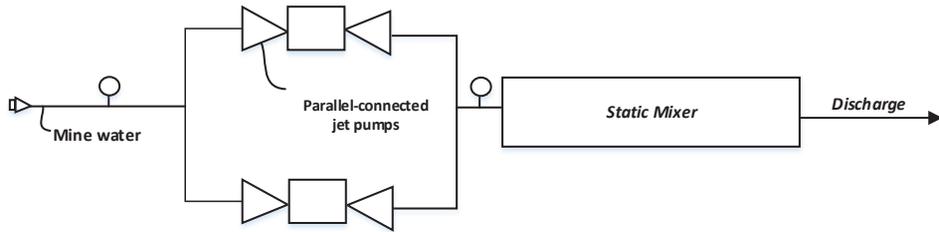


Figure 6. Se acid mine water aeration and treatment system

Source: Ackman and Kleinmann (1984)

4.3.2 Neutralisation

Lime Neutralisation

It is the most common and effective method for treating AMD, and it is used in high-density sludge (HDS) process. In this method, slurry of limes is added to a tank, which is full of AMD and recycled sludge to increase water pH to 9. Most toxic metals change their properties and precipitate at pH 9. Also, air may be introduced to the chemical reaction to oxidise manganese and iron, and improve their precipitation. There are several variations of this process: it depends on the chemistry and volume of AMD, as well as other variables. Most of the time, the products of this process contain unreacted lime and gypsum, which affect the resistance to re-acidification.

Simple lime neutralisation may only need a mixing tank, lime silo and settling pond. This system is unbelievably cheap to build but it is less efficient, as it requires longer reaction times and the discharge has high metal concentrations. It is suitable for non-complicated chemistry in AMD and low scale of streams.

4.3.3 Reverse osmosis

Osmosis occurs when two solutions, which have different concentrations but the same solvent, are separated by a semipermeable membrane. The solvent flows from the more dilute to the more concentrated solution (figure 7). This process continues until the two solutions reach the same concentration or the pressure on the more concentrated solution is increased to a value named the osmotic pressure. Whether a pressure over the osmotic pressure is applied on the more concentrated solution, the solvent can be flown into the more dilute solution.

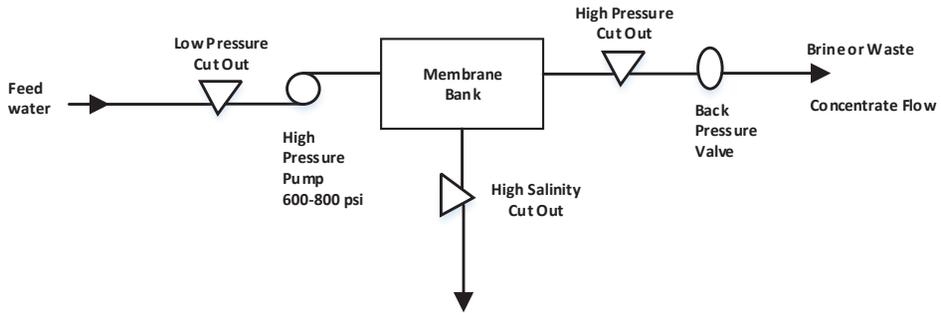


Figure 7. Essential elements of a reverse osmosis system

Source: Federal Water Quality Administration (1970)

4.3.4 Ion exchange

The potential treatment for AMD has been researched based on the cation exchange process (figure 8). This technique is based on an ion-exchange resin, which can remove heavy metals (cationic resins) or sulphates, chlorides and sulphate complexes (anionic resins) from MIW. Figure 8 shows the use of weak-base resins (such as Amberlite IRA-68) operated in the bicarbonate cycle (Pollio and Kunin, 1967).

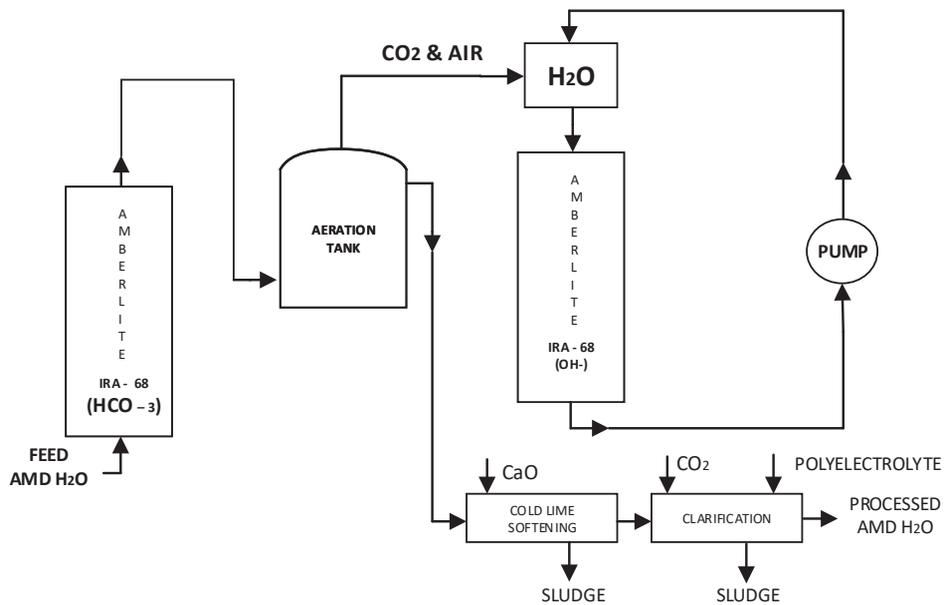


Figure 8. Ion exchange reclamation for AMD waters treatment

Source: Pollio and Kunin (1967)

4.3.5 Electrodialysis

This method allows for the separation of metallic cations and anions; therefore, it achieves the target of removing metals and recovering water. The electrodialysis technique has shown to be an efficient method as it can remove more than 97 % of the contaminants. The formation of precipitates of iron at the surface of the cation-exchange membrane may be a limiting problem of this technique by causing a blockage of the membrane (figure 9).

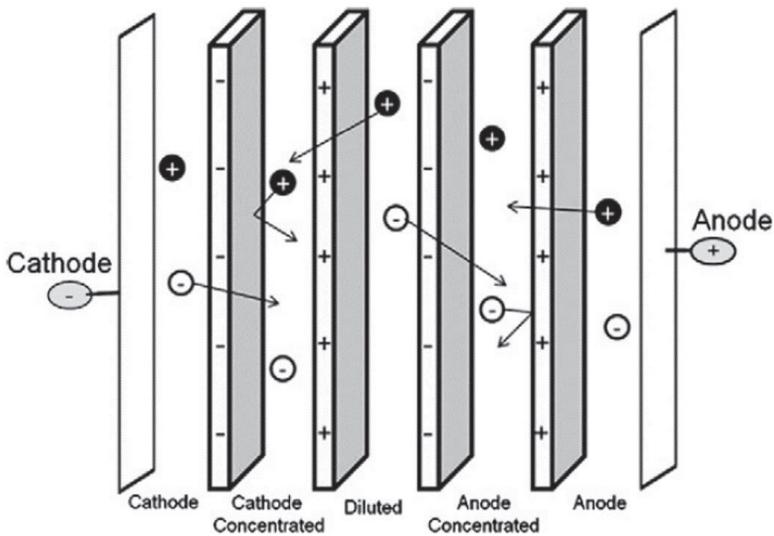


Figure 9. A schematic diagram of the ED process

Source: Cardoso *et al.* (2013)

4.3.6 Natural zeolites

Zeolites are natural alumina silicates with a three-dimensional framework structure bearing AlO_4 and SiO_4 tetrahedral where exchangeable cations are present and counter-balance the negative charge created by its isomorphous substitution (Barrer, 1978; Dyer, 1988). The natural properties of zeolite have gained much attention among researchers. These zeolites offer a combination of ion exchanges and molecular sieve, which can be easily modified (Cincotti *et al.*, 2006).

Preliminary experiments showed that zeolites have the property to remove the heavy metals efficiently from dilute AMD. This natural mineral may be a substitute for other expensive reagents such as limestone, activated carbon, etc. due to its availability and low cost. Adsorption studies showed strong rates for the first 40 minutes and 80 % removal. After this initial strong rate, the rate of adsorption decreases.

4.3.7 Constructed wetlands

In the area of Eastern Appalachia, USA, this method has been developed during the 1980s to mitigate AMD generated by abandoned coal mines. Mostly, wetlands receive water which had been neutralised by limestone. At near neutral pH, metal precipitation occurs from oxidation where carbonates or sulphides are recovered. Anaerobic bacteria are able to convert sulphate ions into sulphide ions. The most important advantage of this method relies on its relatively low cost. The limitation of this process is the metal loads it can deal with (high flows or metal concentrations). It is particularly important that wetland sediments remain all covered and permanently submerged. Aerobic wetlands use oxidation and hydrolysis reactions to treat mine water (Iribar *et al.*, 2000). Figure 10 shows the physical and chemical process contributing to metal retention in wetlands.

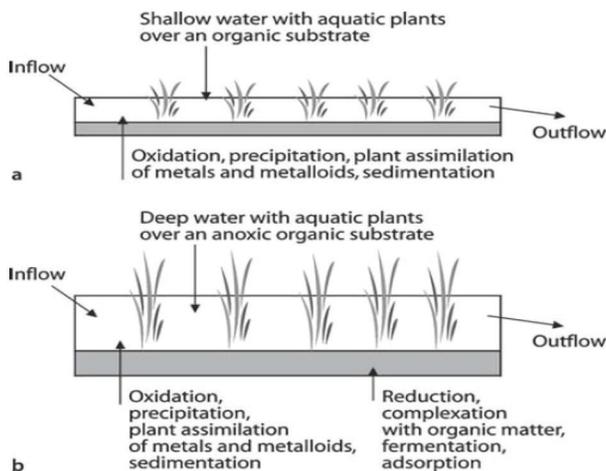


Figure 10. Generalised profiles of (a) aerobic and (b) anaerobic wetlands

Source: Younger *et al.* (2002)

4.3.8 Limestone pond

According to Skousen *et al.* (1995), a pond is constructed on the upwelling of an AMD seep or on an underground water discharge point (figure 11). Limestone is placed at the bottom of the pond and the water flows upward through the limestone. The pond needs to be designed to retain the water for one or two days. If some coating occurs, the limestone should be periodically stirred. More limestone needs to be added if it is exhausted by dissolution.

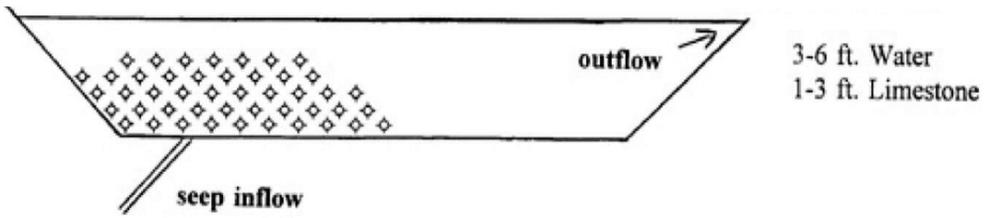


Figure 11. Limestone pond

Source: Skousen *et al.* (1995)

4.3.9 Anoxic limestone drains (ALD)

According to Lottermoser (2007), ALD consists of shallow trenches backfilled with crushed limestone, impermeable sediment and covered with plastic (figure 12). These trenches are sealed from the atmosphere to keep iron dissolved as Fe^{2+} . This avoids oxidation of Fe^{2+} to Fe^{3+} and hydrolysis of Fe^{3+} . The pH can be raised to neutral or alkaline levels. The effluence of anoxic limestone is frequently between pH 6 and 7.

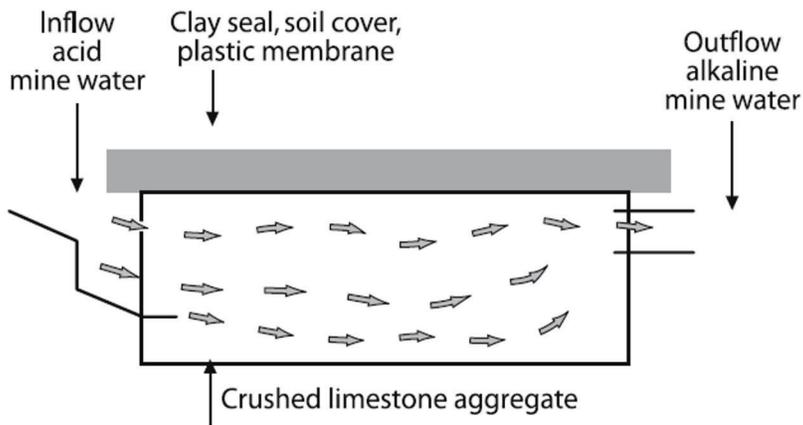


Figure 12. Schematic cross section of anoxic limestone drain

Source: Younger *et al.* (2002)

4.3.10 Open limestone channels

It is another passive treatment where a long channel of limestone can be used to carry acidic effluents to a stream or discharge point (figure 13). The channel can be designed with widths and heights, so the channel influences the amount of water to treat. Sloping

the channel or channel configurations can help to reduce the sediment buildup. More limestone would be needed when the water causes armouring and reduces dissolution rate. From the graph below, small- or large-sized limestone is placed along the sides and bottom of culverts, ditches or stream channels.

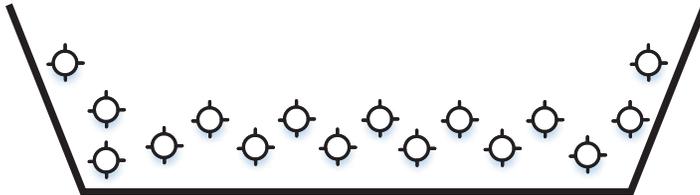


Figure 13. Open limestone channel

Source: Skousen *et al.*, 1995

4.3.11 Limestone sand

Watten *et al.* (1999) designed and constructed a pulse limestone bed (PLB) process to increase the limestone dissolution rates and to avoid the accumulation of solids (figure 14). Water is introduced intermittently through nozzles into limestone sand reactors, which create a repeating cycle of fluidisation, bed turnover and contraction.

4.3.12 Successive alkalinity-producing systems (SAPS)

Alkalinity may be increased in “successive alkalinity-producing systems” where the effluent passed several vertically successive layers of organic matter (figure 15). There is an organic layer which reduces Fe^{+3} to Fe^{+2} and eliminates oxygen in the water. The reduced effluent enters an alkalinity layer of limestone and is discharged afterwards.

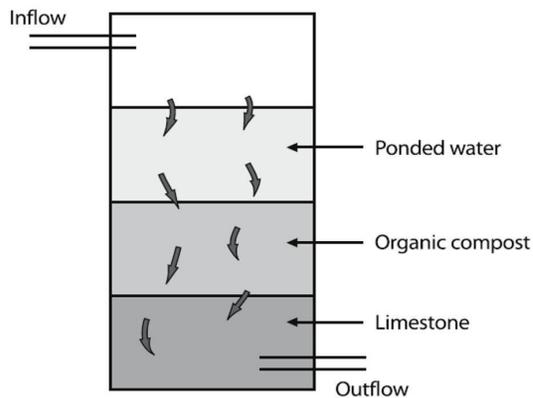


Figure 15. Schematic cross section of successive alkalinity-producing system

Source: Brown *et al.*, 2002

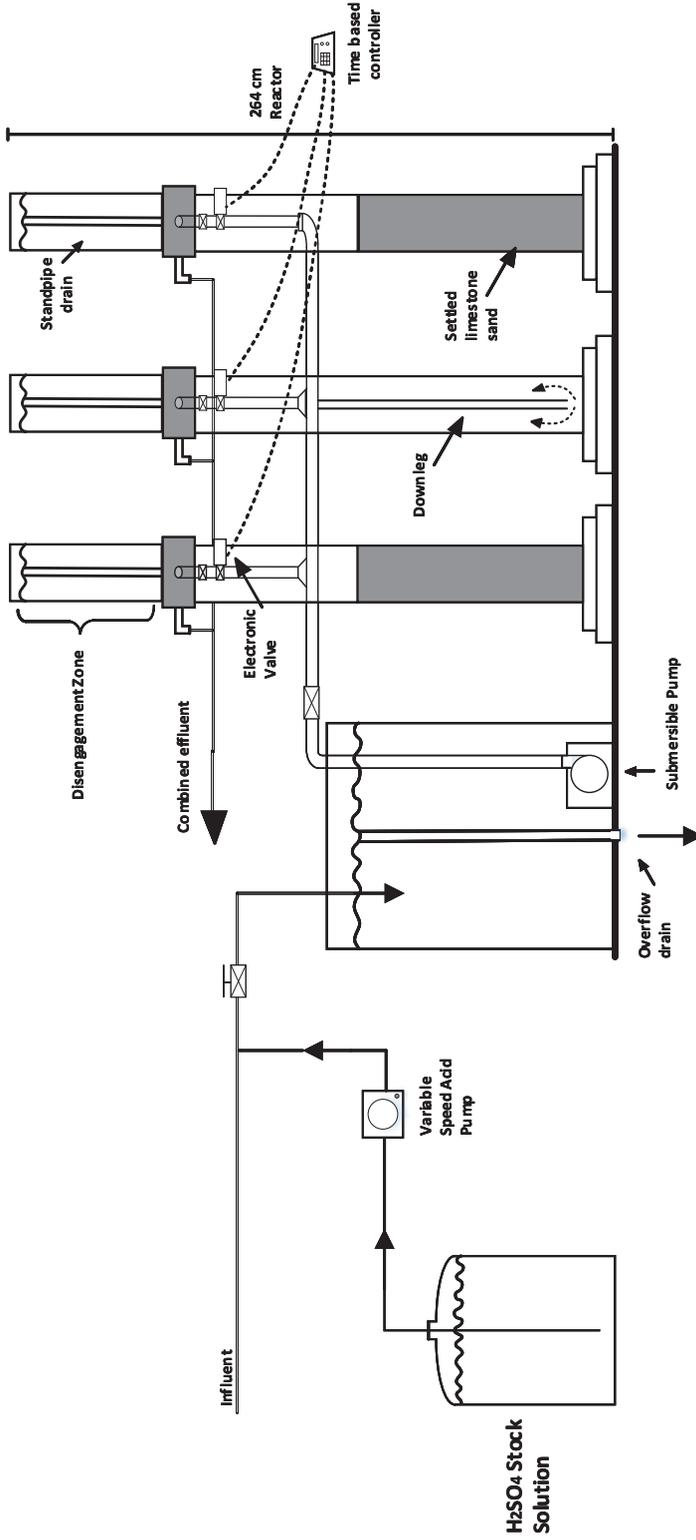


Figure 14. Elevation view of the test system used to evaluate performance of fluidised bed in limestone sands. The centre column is shown without limestone

Source: Watten *et al.* (2005)

4.3.13 Diversion wells

A diversion well is a simple device and consists of a cylinder of metal. This well may be built in or besides a stream. A large pipe enters vertically down the centre. Water is fed into the pipe from an upstream dam. The water flows up through the well and the well is half full-on limestone gravel. The water fluidises the limestone, and the acidic water reacts and is neutralised (figure 16).

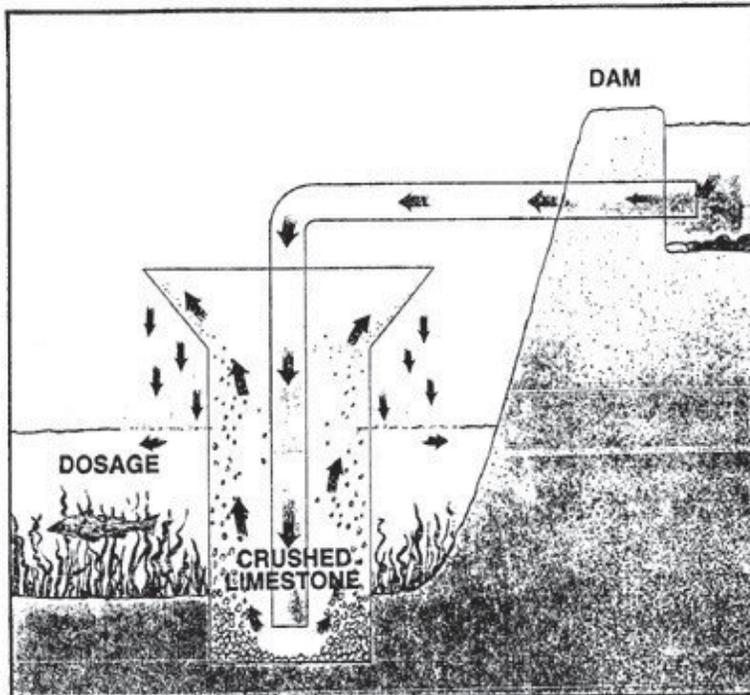


Figure 16. Schematic arrangement of a typical diversion well

Source: Arnold (1991)

4.4 Treatments of AMD: New methods

New technologies have been explored and passive treatment technologies to treat AMD have received interest because of low maintenance and operation cost. The most important technologies are described hereinbelow.

4.4.1 Microbial fuel cell

A metallurgical microbial fuel cell (MFC) is a new method for recovering copper from acid mine drainage. The copper is recovered in its metallic form at the cathode, while

the energy, which is produced for metal reduction, can be recovered from the oxidation of organic material at the anode with possible generation of electric power (figure 17).

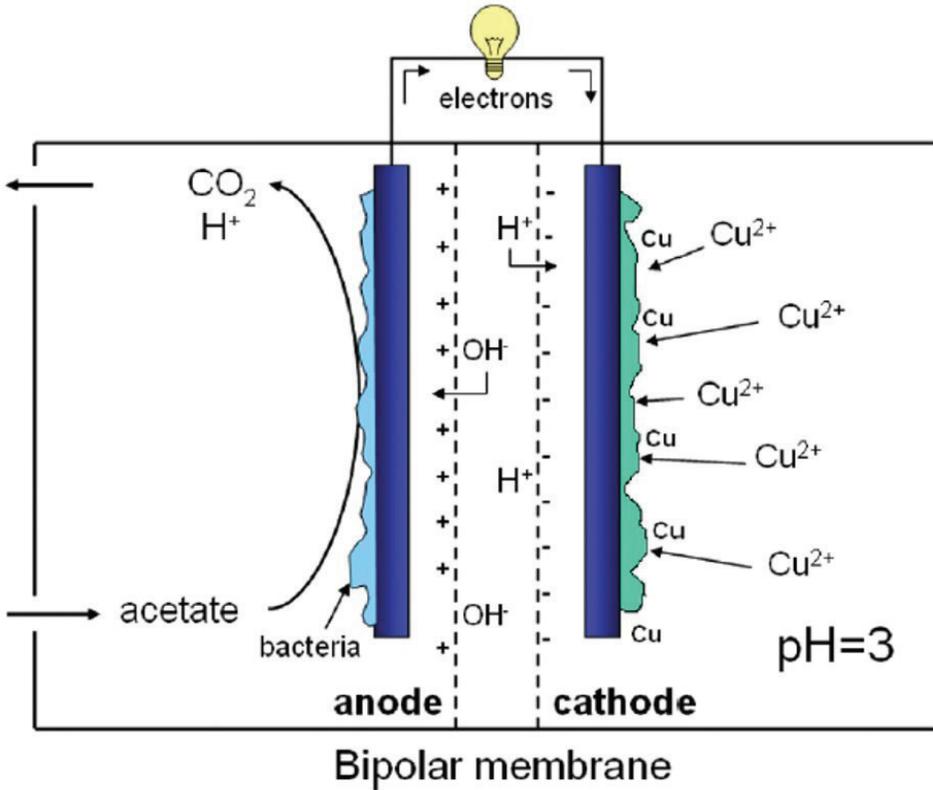


Figure 17. Principle of the MFC with copper reduction and a bipolar membrane as a pH separator
 Source: Ter Heijne *et al.* (2010)

4.4.2 Red mud bauxite residue

Red mud bauxite (RMB) is a solution that is too alkaline to neutralise AMD. Screening tests showed that RMB has an outstanding capacity rate for a short time. Addition of brine increases its long-term capacity and leaching properties. Results have shown a neutral pH was held during the entire test for RMB and a mixture of RMB with brine. The presence of brine slightly lowered the pH compared to RMB alone. RMB alone lost its dissolved properties at the beginning of the test. Most of the alkalinity was lost after few flushes. The addition of brine keeps its neutralisation properties over several cycles of leaching.

5. CONCLUSIONS

Acid mine drainage is a big concern during earth moving (road constructions, mining operations, etc.). Several approaches can be applied to avoid or mitigate AMD: prediction, prevention and treatment. Thus, the most cost-effective approach is prevention. When prevention methods fail, there are several conventional methods for AMD treatment. Lime neutralisation is the most extensively conventional method applied with some drawbacks. It is noteworthy to mention that the chemistry of each site is unique. For this reason, no method has been successfully applied worldwide. Moreover, environmental regulations are quite different in each region. Therefore, each region has its own environmental requirements for AMD mitigation.

- In general, each method needs to achieve the following objectives:
- Lowering the dissolved metal and sulphate concentration
- Raising the pH
- Reducing the volume
- Decreasing the solution

REFERENCES

- Ackman, T., Kleinmann, R. (1984). In-line aeration and treatment of acid mine drainage. Bureau of Mines Report of Investigations.
- Akcil, A., Koldas, S. (2006). Acid Mine Drainage: causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, 14, 1139-1145.
- Ali, M. (2011). Remediation of acid mine waters. Mine Water-Managing the Challenges.
- Arnold, D. (1991). Diversion wells – a low cost approach to treatment of acid mine drainage. Twelfth Annual West Virginia Surface Mine Drainage Task Force Symposium.
- Barrer, R., (1978). Zeolites and clay minerals as sorbents and molecular sieves. *Chemie Ingenieur Technik*, 50(4).
- Brown, M. Barley, B., Wood, H. (2002). Minewater treatment: technology, application and policy. International Water Association Publishing.
- Browner, R. (2014). Acid Mine Drainage class notes. Western Australia School of Mines. Curtin University, Australia.
- Calatayud, M., Buzzi, D., García-Gabaldon, M., Ortega, M., Bernales, A., Tenorio, J., Pérez-Herraz, V. (2014). Sulphuric acid recovery from acid mine drainage by means electro dialysis. *Desalination*, 343, 120-127.

- Cardoso, D. Siqueira, M. Viegas, L. Bernardes, A. Soares, J. (2013). Water recovery from acid mine drainage by electro dialysis. *Mineral Engineering*, 40, 82-89.
- Cincotti, A., Mameli, A., Locci, M.A., Orru, R., Cao, G. (2006). Heavy metal uptake by Sardinian natural zeolites: Experiment and modelling. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45(3), 1074-1084.
- Department of Mines and Petroleum, Western Australia (2009). Acid mine drainage.
- Dyer, A. (1988). *An introduction to zeolite molecular sieves*. London: Wiley.
- Falayi, T. and Ntuli, F. (2014). Removal of heavy metals and neutralization of acid mine drainage with un-activated attapulgite. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1285-1292.
- Federal Water Quality Administration, US Department of Interior (1970). *Treatment of acid mine drainage by reverse osmosis*. Harrisburg, PA, USA.
- Iribar, V., Izco, F., Tames, P. Antigüedad, I., Da Silva, A. (2000). Water contamination and remedial resources at the Troya abandoned Pb-Zn mine. *Environmental Geology*, 39, 800-806.
- Johnson, D., Hallberg, K. (2004.) Acid mine drainage remediation options: review. *Environmental Geology*, 39, 800-806
- Koldas, S. (2000). *Notes of environmental inspection in South African Mines*. Department of Minerals and Energy of South Africa. 125-126.
- Lottermoser, B. (2007). *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. Springer Science and Business Media.
- Luptakova, A., Ubaldini, S., Macingova, E., Fornani, P., Giuliano, V. (2012). Application of physical-chemical and biological-chemical methods for heavy metals removal from acid mine drainage. *Process Biochemistry*, 47(11), 1633-1639.
- Motsi, T., Rowson, N.A., Simmons, M.J.H. (2009). Adsorption of heavy metals from acid mine drainage by natural zeolite. *Int. J. Miner. Process*, 92, 42-48.
- Paradis, M., Duchesne, J., Lamontagne, A. Isabel, D. (2007). Long-term neutralisation potential of red mud bauxite with brine amendment for the neutralisation of acidic mine tailings. *Applied Geochemistry*, 22(11), 2326-2333.
- Pollio, K. and Kunin, R. (1967). Ion exchange process for the reclamation of acid mine drainage waters. *Environ. Sci. Technol*, 1(3), 235-241.
- Salomons, W. (1995). Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention. *Journal of Geochemical Exploration*, 52(1-2), 5-23.

- Skousen, J., Faulkner B., Sterner, P. (1995). Passive treatment systems and improvement of water quality. West Virginia. Division of plant and soil sciences.
- Skousen J., Rose, A., Geidel, G., Foreman, J., Evans, R., Hellier, W. (1998). A Handbook of technologies for avoidance and reclamation of acid drainage. National Mine Land Reclamation Center at West Virginia University. Morgantown, West Virginia.
- Ter Heijne, A., Liu F., Van der Weijden R., Weijma, J., Buisman, C. and Hamelers, H. (2010). Copper recovery combined with electricity production in a microbial fuel cell. *Environmental Science and Technology*, 44(11), 4376-4381.
- Walton-Day, K. (1997). Geochemistry of the processes that attenuate acid mine drainage in wetlands. Virginia: Geoscience World.
- Watten, B., Sibrell, P. and Schwartz, M. (2005). Acid neutralization within limestone sand reactors receiving coal mine drainage. *Environmental Pollution*, 137(2), 295-304.
- Watten, B.J. (1999). Process and apparatus for carbon dioxide pre-treatment and accelerated limestone dissolution for treatment of acidified water. U.S. Patent 5914046.
- Wildeman, T. and Schmiermund, R. (2004). Mining Influenced waters: their chemistry and methods of treatment". *Proceedings America Society of Mining and Reclamation*, 2001-2013.
- Wolkersdorfer, Ch. (2008). *Water management at abandoned flooded underground mines. Water treatment*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Younger, P. L., Banwart S. A. and Hedin R. S. (2002). *Mine water: hydrology, pollution, remediation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA EN EL USO DE FLUIDOS SUPERCRÍTICOS PARA LOGRAR UNA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN LA INDUSTRIA TEXTIL

CHRISTINA ASCENCIO-RAMIREZ

<https://orcid.org/0000-0001-6031-1634>

AGUSTINA MICAELA BURGOS

<https://orcid.org/0000-0001-8716-2042>

KIMBERLY BRIGITTE LOPEZ-CRISOSTOMO*

<https://orcid.org/0000-0001-7939-5305>

Universidad de Lima, Perú

Recibido: 6 de agosto del 2020 / Aprobado: 13 de agosto del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4918>

RESUMEN: Mediante una revisión sistemática de literatura, se buscó determinar el potencial de los fluidos supercríticos en la industria textil para alcanzar una producción más limpia. Para ello, se realizó un análisis integral de los diversos artículos de investigación relevantes, tomando como base aquellos cuyos resultados arrojaron resultados positivos para el medio ambiente en cuanto al uso eficiente de recursos. Se obtuvo entonces que la tecnología que abarca el empleo de fluidos supercríticos es el sustituto perfecto de aquellos subprocesos textiles húmedos dentro de la tintorería que, por su naturaleza, produzcan efluentes contaminados y posean un alto consumo de energía.

Palabras clave: fluidos supercríticos / industria textil / producción más limpia / revisión sistemática de literatura

* Correo electrónico: christina.lizzet@gmail.com, agussburgoss@hotmail.com, kim_1899@hotmail.com

A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW ON THE USE OF SUPERCRITICAL FLUIDS FOR CLEANER PRODUCTION IN THE TEXTILE INDUSTRY

ABSTRACT: A systematic literature review sought to determine the potential of supercritical fluids in the textile industry to achieve cleaner production. To this end, a comprehensive analysis of various important research articles was carried out, taking as a basis those whose results were positive for the environment in terms of efficient use of resources. It was found that the technology that includes the use of supercritical fluids is the perfect substitute for those wet textile subprocesses within the dyeing industry that, by their nature, produce contaminated effluents and have a high-energy consumption.

Keywords: supercritical fluids / textile industry / cleaner production / systematic literature review

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha hecho más frecuente la cuestión de cómo lidiar con los niveles de contaminación ambiental, que cada año van en aumento. Y es, pues, que cada vez que se menciona el tema y se buscan culpables, generalmente se piensa en la industria petrolera o de transporte; sin embargo, se ha dejado de lado un sector que genera altos niveles de aguas residuales y es considerado el segundo mayor contaminante del mundo. Estamos hablando de la industria textil. Justamente, la Organización de las Naciones Unidas (2019) menciona que “la industria de la moda es responsable del 20 % del desperdicio total de agua a nivel global” (párr. 20).

Ante esto surge el empleo de fluidos supercríticos (FSC) como alternativa sostenible ante métodos convencionales, puesto que conlleva una serie de ventajas tales como el hecho de que hace uso de disolventes no tóxicos, como el agua o el dióxido de carbono, o de baja toxicidad, como la acetona y el etanol, en proporciones menores de las empleadas en las técnicas tradicionales.

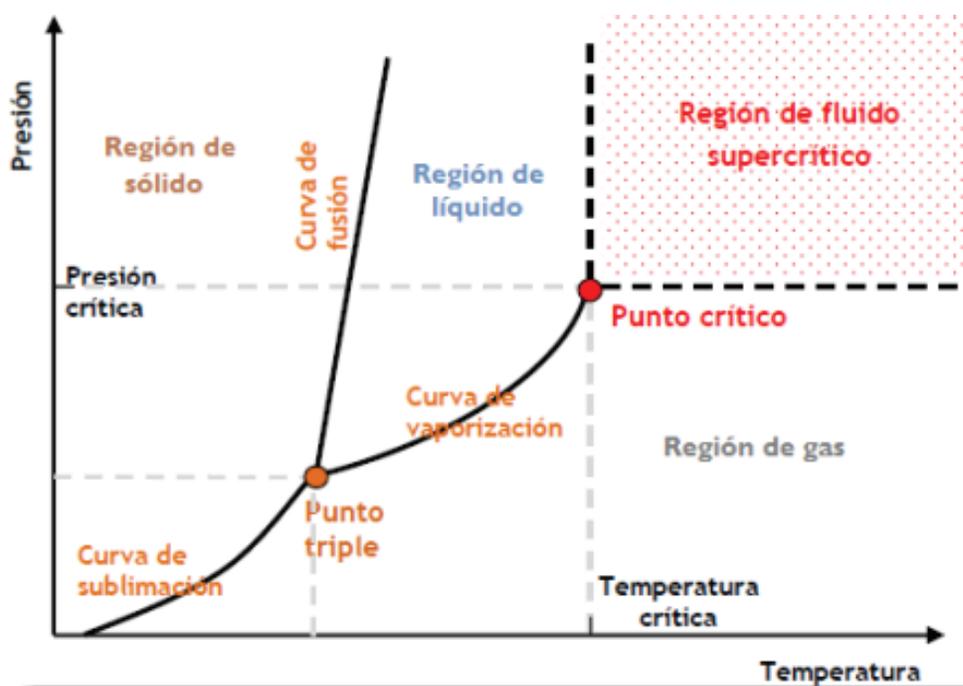


Figura 1. Región de fluido supercrítico

Fuente: Castaños (2015)

De la figura se extrae que un FSC es una sustancia o mezcla de sustancias cuyas condiciones de presión y temperatura son superiores a su punto crítico. Los FSC muestran propiedades fisicoquímicas intermedias entre los líquidos y los gases que son responsables de su alta densidad y difusividad, así como baja viscosidad. Dichas propiedades otorgan a los FSC un elevado poder de penetración dentro de la matriz del soluto al actuar como disolventes (Guerrero, 2017, p. 8).

Ahondando en estas perspectivas, se han encontrado diferentes estudios con respecto a la utilización de FSC para procesos de teñido o blanqueo, entre otros, aplicando diversas metodologías, sustratos textiles, colorantes y muchas otras sustancias. Sin embargo, no existe hasta el momento una recopilación y análisis a profundidad de todos los métodos, variables consideradas y demás ítems dentro de cada investigación de manera transversal.

Cabe señalar en este punto el concepto de producción más limpia, como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial [ONUDI], s.f.).

De este modo, surge el siguiente planteamiento: ¿será posible alcanzar una producción más limpia en la industria textil global al 2020 aplicando la tecnología de los fluidos supercríticos en los procesos textiles? Para responder esto, en el presente trabajo se realizará una revisión sistemática de literatura en el uso de fluidos supercríticos en la industria textil, por lo cual se analizarán diversos artículos de investigación indexados en bases de datos.

2. METODOLOGÍA

Se empleará la base de datos Scopus, por su relevancia internacional, y el Research Engine Google Scholar, debido a la posibilidad de encontrar artículos de buena calidad y en idioma español.

Una vez definidas las bases de búsqueda, se pasó a definir los términos con los que se encontrará la cantidad de artículos iniciales. Se utilizaron los conceptos principales a los que hace referencia la pregunta de investigación. Asimismo, se identificaron distintas formas de escribir los términos, incluyendo abreviaturas y sinónimos. Finalmente, se verificó la inclusión de palabras claves, utilizadas previamente en artículos científicos relevantes.

De este modo, se realizó una búsqueda centrada fundamentalmente en la coincidencia de las palabras utilizadas con el título, palabras claves o resúmenes de los artículos ubicados en las diferentes bases de datos seleccionadas y se obtuvo lo siguiente:

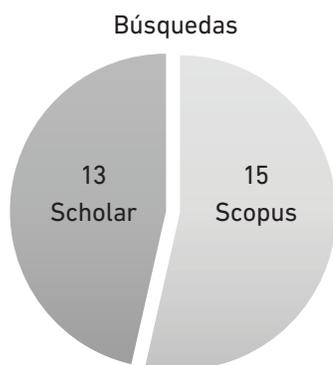


Figura 2. Resultados de Scopus y Scholar

Elaboración propia

2.1 Método para la calificación de referencias a incluir en el estudio

A los resultados se aplicaron los siguientes criterios de selección de artículos:

- Pertenecer a una revista académica indexada.
- Presentar resultados testeados con una metodología definida.
- Estar escrito en inglés o español.
- Pertenecer a los cuartiles Q1, Q2 o Q3.
- Haber sido redactado entre el 2013 y la actualidad.
- Tratar de la producción textil en general y la influencia de los FSC.
- Tener menos de treinta páginas.
- Tener estudios primarios.
- Estar referido a fluidos supercríticos en la industria textil.

Posteriormente, se hizo uso de la herramienta Mendeley; se leyeron en primer lugar los *abstract* de cada artículo para ver si cumplían o no con los criterios de búsqueda y selección presentados. Tras la revisión, los artículos que quedaron sumaban un total de trece, a los que posteriormente se aplicó una evaluación de calidad con el objeto principal de garantizar la integridad y fiabilidad de la información presentada en la revisión sistemática final. Para ello, se emplearon los criterios para la medición de la calidad de un artículo. Estos criterios tuvieron tres posibles respuestas: "Excelente" = 1, "Regular" = 0.5, "Deficiente" = 0. La evaluación de calidad se puede ver a continuación:

Solo se consideraron aquellos estudios con calidad aceptable, es decir, con una puntuación de calidad superior a 3,5 (50 % de la puntuación perfecta) para la posterior extracción y síntesis de datos. Para el detalle de los *papers*, puede revisarse la siguiente tabla:

Tabla 1
Evaluación de criterios por paper

Criterio de calificación	Excelente = 1, Regular = 0,5, Deficiente = 0												
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
El resumen presenta la investigación, la problemática, objetivos, la metodología desarrollada, así como los hallazgos y conclusiones más relevantes.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Describe la problemática observada que da lugar a la investigación y fundamenta la necesidad de solucionarla	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Define claramente el objetivo de la investigación	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
La introducción describe el marco del conocimiento y está fundamentado en referencias bibliográficas relevantes. Identifica las variables y dimensiones de la investigación.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
La metodología esta descrita en forma suficiente, detalla los métodos y técnicas empleadas.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5
Los resultados son expuestos en forma completa.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
La discusión explica el comportamiento de los resultados a la luz de sus tendencias y su comparación con los resultados de otras investigaciones similares.	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5
TOTAL	6,5	6,5	7,0	6,5	7,0	7,0	6,5	7,0	7,0	6,0	6,0	5,5	5,5

Elaboración propia

Tabla 2
Artículos seleccionados para el estudio

n.º paper	Título	Autor(es)
P1	Single-step disperse dyeing and antimicrobial functionalization of polyester fabric with chitosan and derivative in supercritical carbon dioxide.	Abate, Ferri, Guan, Chen, Ferreira y Nierstrasz (2018)
P2	Colouration and bio-activation of polyester fabric with curcumin in supercritical CO ₂ : Part I - Investigating colouration properties.	Abate, Ferri, Guan, Chen y Nierstrasz (2019)
P3	Colouration and bio-activation of polyester fabric with curcumin in supercritical CO ₂ : Part II - Effect of dye concentration on the colour and functional properties.	Abate, Zhou, Guan, Chen, Ferri y Nierstrasz (2020)
P4	Supercritical carbon dioxide as a green media in textile dyeing: A review.	Abou Elmaaty y Abd El-Aziz (2017)
P5	Supercritical Carbon-dioxide Assisted Dyeing of Textiles: An Environmental Benign Waterless Dyeing Process.	Agrawal (2015)
P6	A novel approach for textile cleaning based on supercritical CO ₂ and Pickering emulsions.	Aslanidou, Tsiptsias y Panayiotou (2013)
P7	Waterless bleaching of knitted cotton fabric using supercritical carbon dioxide fluid technology.	Eren, Avinc, Saka y Eren (2018)
P8	Synthesis of a Novel Disperse Reactive Dye Involving a Versatile Bridge Group for the Sustainable Coloration of Natural Fibers in Supercritical Carbon Dioxide.	Fan, Zhang, Yan y Long (2019)
P9	Synthesis of reactive disperse dyes containing halogenated acetamide group for dyeing cotton fabric in supercritical carbon dioxide.	Gao, Cui, Huang, Yang y Lin (2014)
P10	Novel sustainable synthesis of dyes for clean dyeing of wool and cotton fibres in supercritical carbon dioxide.	Luo, White, Thompson, Rayner, Kulik, Kazlauciuonas, He y Lin (2018)
P11	Development of a special SCFX-AnB3L dye and its application in ecological dyeing of silk with supercritical carbon dioxide.	Yan, Zhang, Xiao, Shi y Long (2020)
P12	Optimization of Eco-Friendly Reactive Dyeing of Cellulose Fabrics Using Supercritical Carbon Dioxide Fluid with Different Humidity.	Zhang, Zheng y Zheng (2018)
P13	Supercritical CO ₂ for color graphic dyeing: Theoretical insight and experimental verification.	Zheng, Zhang, Du, Zhao y Ye (2015)

Elaboración propia

3. RESULTADOS

3.1 Descripción y análisis de las referencias en el estudio

Se procedió a distribuir los *papers* en función de un número de páginas equitativo por miembro de trabajo, para luego clasificarlos, como se verá a continuación.

3.2 Clasificación de las referencias en el estudio

Se procedió a la descripción de las similitudes entre referencias, así como las diferencias que pudieran presentar, sistematizando y describiendo los aspectos que contribuyan a responder la pregunta de investigación propuesta en el estudio de investigación.

Propósito

El propósito de los *papers* evaluados se muestra en la tabla 3.

Tabla 3
Propósito de los artículos seleccionados para el estudio

n.º paper	Propósito
P1	Reducir el costo de producción y la contaminación ambiental en los procesos de funcionalización antimicrobiana con el uso de quitosano y derivados aplicando la ruta de teñido en dióxido de carbono supercrítico (scCO ₂).
P2-P3	Verificar el potencial del teñido en scCO ₂ para la coloración de tejido de poliéster con curcumina sin mordiente químico y pretratamiento del tejido, logrando una fabricación sostenible.
P4	Destacar el papel de la tecnología de fluidos de scCO ₂ en los procesos de teñido textil en tejidos sintéticos y naturales, investigando el desarrollo de su alta eficiencia y teñido compacto para ahorrar energía y agua en los procesos de fabricación.
P5	Enfatizar la importancia del uso de scCO ₂ en lugar de agua para teñido de textiles, especialmente los de fibras sintéticas, ya que éste no produce ningún drenaje y puede considerarse como un enfoque de teñido respetuoso con el medio ambiente.
P6	Se propone un novedoso método ecológico para la limpieza de textiles, basado en el scCO ₂ como disolvente y una suspensión acuosa como cosolvente.
P7	Contribuir a alcanzar el hito de la minimización o abolición de los productos químicos y el agua utilizados en procesos textiles acuosos comparando los métodos de blanqueo tradicionales con aquellos en medio supercrítico.
P8	Mejorar las propiedades de coloración del colorante en el scCO ₂ .
P9	Garantizar una buena coloración en tejidos de algodón en medios supercríticos estudiando al grupo funcional acetamina halogenada, capaz de reaccionar con las fibras de algodón y formar enlaces químicos sin tratamiento previo ni cosolventes.
P10	Encontrar una ruta para sintetizar los tintes dispersos azoicos y aplicarlos a un teñido de tejidos naturales utilizando tecnología supercrítica.
P11	Sintetizar un colorante de una solidez especial usando fluido supercrítico para el teñido de textiles, particularmente en el sustrato de seda.

(continúa)

(continuación)

P12	Demostrar que es posible mejorar el teñido en telas de celulosa con fluidos supercríticos haciendo énfasis en el parámetro humedad.
P13	Demostrar que el teñido gráfico con FSC es posible.

Elaboración propia

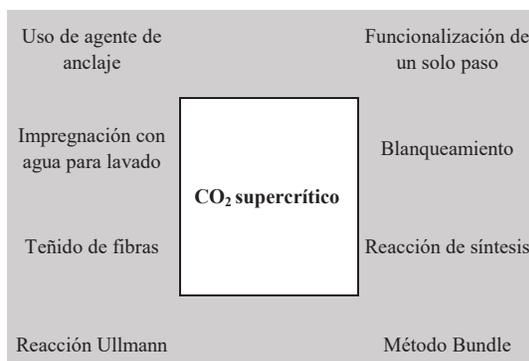
Los autores de estos artículos buscan entonces demostrar el potencial de los FSC en específicos procesos textiles usando diferentes aditivos, ya que cada uno de ellos otorgará distintas propiedades a las telas.

Metodología empleada

Para cumplir el propósito de su investigación, las metodologías encontradas en los diferentes estudios fueron:

Tabla 4

Metodología de los artículos seleccionados para el estudio



Elaboración propia

A continuación, se presenta una breve explicación de cada método:

- *Funcionalización de un solo paso.* Realizar el acabado de la tela en un solo proceso; por ejemplo, si se desea manufacturar una tela de color azul y antimicrobiana, usando un solo equipo se logrará este resultado, pues en él se incorporarán la tela, el pigmento y el agente antimicrobiano a la vez.
- *Impregnación.* Cuando la tela se sumerge a una solución para posteriormente ser escurrida usando de cilindros de presión, método que también se conoce como *foulardado* (Solé, 2016).

- *Uso de agente de anclaje.* Consiste en usar un aditivo que aumente la fijación de otro aditivo en el material textil con el fin de mejorar sus atributos; por ejemplo, un incremento de la humectabilidad en la tela.
- *Reacción de síntesis.* Formación de un nuevo compuesto a partir de dos o más sustancias químicas; este método generalmente se usa en la industria textil para encontrar colorantes que puedan adherirse mejor a las fibras naturales.
- *Método Bundle.* Sistema de teñido donde la tela se dobla en forma de abanico y se empaqueta con otras telas, otorgando un diseño con estilo a la prenda (Zheng et al., 2015).
- *Reacción Ullmann.* Reacción de acoplamiento mediante la cual se unen enlaces carbono-carbono a estructuras aromáticas utilizando polvo de cobre como catalizador (Fan et al., 2019).
- *Blanqueamiento y teñido de fibras.* Tipos de procesos textiles que se explicarán posteriormente.

Variables medidas

Tabla 5
Variables medidas en los artículos seleccionados para el estudio

	Intensidad	Resistencia	Propiedades antimicrobianas	Presión
COLOR	Firmeza	Fuerza	Durabilidad	Temperatura
	Difusión	Nivelación	Protección UV	Tiempo

Elaboración propia

Entre todos estos parámetros y variables, destacan los siguientes:

- *Fuerza del color.* Concentración para el rendimiento del color.
- *Nivelación del color.* Uniformidad con la que se dispersa el colorante en la tela.
- *Firmeza del color.* Solidez del color en el tejido. Indica cuán fuertemente se anclan las moléculas del colorante al sustrato textil.
- *Difusión del color.* Hace referencia a la migración del colorante, es decir, la máxima dispersión del colorante en el sustrato textil. Se obtiene un mejor valor si previamente se han realizado procesos para ayudar a que dicho sustrato absorba mejor el colorante y este se propague a más cantidad de tela. Se conoce también como rendimiento del color.

- *Intensidad de color.* Depende de delta de L en una lectura espectrofotométrica y mide el grado de intensidad de un color. Es directamente proporcional al porcentaje de la tricromía del color (si se quiere más intensidad se añade más colorante).

Asimismo, a lo largo de los *papers* se han medido otras variables en función de lo que se esperaba conseguir. Ejemplo de ello fueron la aplicación del quitosano (como aditivo para funcionalizar) y la curcumina (para teñir y funcionalizar) para aumentar las propiedades del sustrato final en cuanto a propiedades antibacterianas y protección UV. De igual modo se esperaba que estas propiedades tuvieran durabilidad frente a varias lavadas posimpregnación.

Finalmente, se obtuvo que:

Tabla 6
Variables operativas

	Variables operativas óptimas	Impacto en el medio ambiente
P1	Presión: 25 MPa Temperatura: 120 °C Tiempo: 60 minutos	Se reduce la contaminación ambiental en el acabado antimicrobiano de los textiles al usar un compuesto bioactivo natural.
P2	Presión: 25 MPa Temperatura: 120 °C Tiempo: 60 min	Excelentes resultados sin el uso de productos químicos auxiliares que resultan necesarios en el proceso de teñido convencional de tintes naturales.
P3	Presión: 25 MPa Temperatura: 120 °C Tiempo: 60 min	El uso de tinte natural de curcumina no necesita de pretratamiento del sustrato ni de productos químicos en el teñido textil.
P4	Presión: 20 MPa Temperatura: 119,85-129,85 °C Tiempo: 60 min	El scCO ₂ no es tóxico, los tintes se pueden reutilizar y no se requiere ningún otro químico; con ello se ahorra energía y agua en los procesos de fabricación.
P5	Presión: 25 MPa Temperatura: 130 °C Tiempo: 60 minutos	Al teñir la fibra en scCO ₂ , este se comprimió, reciclándose y se utilizó nuevamente para la aplicación de colorante en el sustrato de poliéster, evitando el desperdicio de agua.
P6	Presión: 20 MPa Temperatura: 40 °C Tiempo: 60 minutos	Con el novedoso método para la limpieza de textiles basados en el dióxido de carbono supercrítico como disolvente y una suspensión acuosa como cosolvente se minimizó el consumo de energía y de CO ₂ .
P7	Presión: 18 MPa, Temperatura: 80 °C, Tiempo: 20 min	Durante el blanqueo de prendas se evita el uso de sosa cáustica, estabilizadores de peróxido de hidrógeno y agua, evitando efluentes contaminados.
P8	Presión: 20 MPa, Temperatura: 120 °C, Tiempo: 90 min	Se mejoraron las propiedades de un colorante para teñir en medio supercrítico, facilitando productos que favorezcan el uso del teñido supercrítico.
P9	Presión: 20 MPa, Temperatura: 120 °C, Tiempo: 180 min	Al sintetizar tintes reactivos se amplió el conocimiento necesario para teñir con scCO ₂ sin necesidad de tratamientos previos ni cosolventes.

(continúa)

(continuación)

P10	Presión: 14 MPa, Temperatura: 90 °C, Tiempo: 60 min	Al sintetizar tintes reactivos dispersos, se obtuvo mayor gama de colores de tintes que permiten alcanzar mayor eficiencia en el teñido supercrítico.
P11	Presión: 20 MPa, Temperatura: 130 °C, Tiempo: 60 min	Se amplió el conocimiento para el teñido de seda mediante un tinte especial para medios supercríticos, aumentando la eficacia del sistema.
P12	Presión: 20 MPa, Temperatura: 90 °C, Tiempo: 60 min	Se modificó adicionalmente la humedad al 5 % para aumentar la eficiencia del teñido supercrítico y minimizar desperdicios.
P13	Presión: 24 MPa, Temperatura: 120 °C, Tiempo: 30 min	Se logró una combinación de dos tintes visibles en tela sin el desperdicio de ninguno de ellos por medio del teñido supercrítico, ampliando las posibilidades de aplicabilidad.

Elaboración propia

Tipo de fluido supercrítico empleado

El FSC usado en todos los *papers* es el CO₂ ya que es barato, no tóxico, no inflamable e inerte en condiciones críticas. Tiene la cualidad de hinchar y plastificar las telas con características hidrofóbicas, permitiendo el teñido de las fibras textiles (en especial las artificiales) y la dispersión del colorante sin la necesidad de usar agentes químicos; además, el scCO₂ es reutilizable junto a los tintes sobrantes y no requiere un proceso de secado posterior (Abate *et al.*, 2019).

Subproceso textil

Aquellos subprocesos textiles estudiados a lo largo de los artículos que involucran el uso de fluidos supercríticos se muestran en la figura 3.

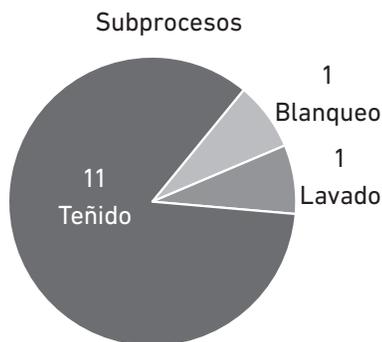


Figura 3. Subprocesos textiles de los artículos seleccionados para el estudio

Elaboración propia

A continuación, se presenta una breve explicación de cada subproceso textil:

- *Teñido supercrítico.* Por medio de equipos de alta presión se impregna un sustrato textil (generalmente en forma de rollo), con colorantes de diversos tipos variando las condiciones de operación en función de estos últimos y del sustrato. Se hace en un solo paso y no requiere químicos auxiliares, mordientes ni el proceso de secado posterior al teñido convencional.
- *Lavado supercrítico.* Se basa en la emulsión *pickering*, que propone emplear partículas sólidas como agentes surfactantes para mezclar dos líquidos inmiscibles estabilizando al mismo tiempo dicha mezcla. Se logra, de este modo, limpiar diferentes tipos de suciedades formando emulsiones *pickering* con una mezcla acuosa de piedra caliza pulverizada y scCO_2 y exponiendo los sustratos a limpiar a dicha emulsión estabilizada. Ejemplos de suciedades estudiadas en el *paper 6* fueron: aceite de oliva, cera de abejas, pegamento de piel de conejo, pasta de remolacha y negro de carbón (Aslanidou *et al.*, 2013).
- *Blanqueo supercrítico.* Es un paso previo al teñido aplicado en tejido de algodón (en el caso del *paper 7*) para la obtención de la coloración blanca deseada. Se realiza añadiendo peróxido de hidrógeno y ofrece resultados similares al blanqueo tradicional sin la necesidad de añadir estabilizadores de peróxido o soda cáustica (Eren *et al.*, 2018).

Sustratos textiles

Los sustratos textiles se dividen en dos tipos: fibras sintéticas y fibras naturales. Las fibras sintéticas, también llamadas artificiales, provienen de compuestos derivados del petróleo. Los más utilizados en la fabricación textil son el tereftalato de polietileno (PET), la poliamida (PA), el poliacrilonitrilo (PAN) y el polipropileno (PP) (Abou y Abd, 2017). De todos ellos, el poliéster (PET), el nylon (PA) y el polipropileno (PP) fueron estudiados en los artículos seleccionados. Por otro lado, las fibras naturales son aquellas que, como su nombre lo dice, provienen de la naturaleza y pueden ser de origen vegetal o animal. Las más conocidas en la industria textil son el algodón, la lana, el bonote, la seda, el abacá, el cáñamo, etcétera. De todos ellos, el algodón, la lana y la seda fueron estudiados en los artículos seleccionados.

Es importante resaltar que las fibras sintéticas son las más usadas en los teñidos con scCO_2 debido a sus características hidrofóbicas, su estructura compacta y alta cristalinidad (Abate *et al.*, 2019); al contrario, las fibras naturales poseen características hidrofílicas, lo cual dificulta al fluido supercrítico romper los enlaces de hidrógeno presentes en la tela (Agrawal, 2015).

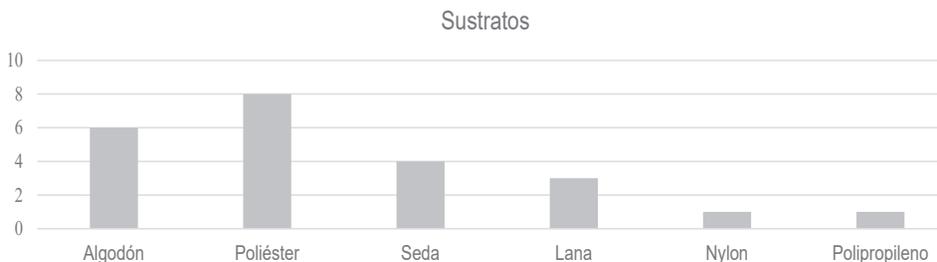


Figura 4. Sustratos textiles de los artículos seleccionados para el estudio

Elaboración propia

Nota. Como se aprecia, los sustratos empleados más comunes son el algodón y el poliéster.

Maquinaria y equipos empleados

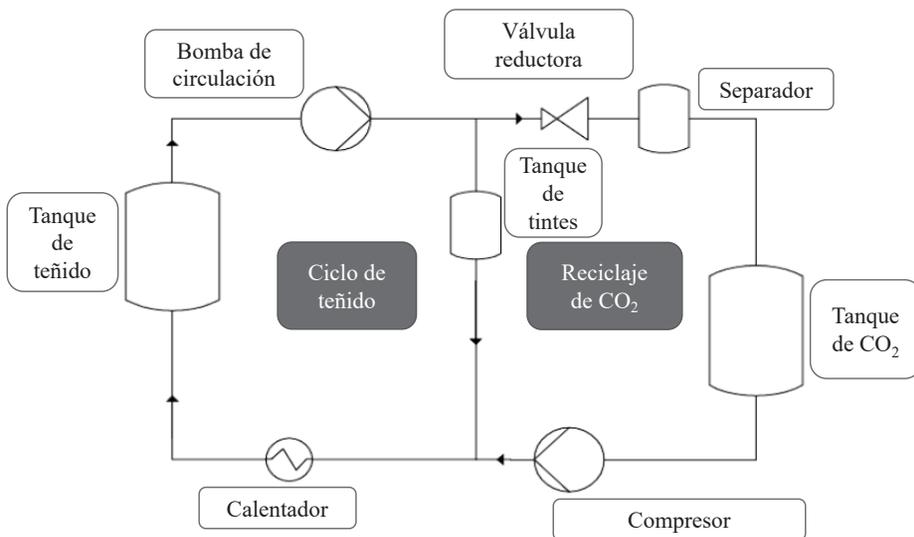


Figura 5. Diagrama de flujo simplificado para el sistema de teñido supercrítico de CO₂

Elaboración propia

En el gráfico 1 se muestra un resumen del sistema de teñido de scCO₂. El equipo de teñido contiene CO₂ líquido precalentado, que recoge el tinte y realiza el teñido del sustrato textil. El tinte es absorbido por la fibra. Cuando se libera la presión, el CO₂ se vuelve gaseoso y pierde su capacidad de disolverse, y los residuos de tinte se separan después de la licuefacción. El CO₂, libre de tinte, vuelve al tanque de recolección después de completar el proceso de teñido. Se detiene la circulación del CO₂, la autoclave de teñido

se despresuriza y el polvo de tinte no utilizado se deposita en el fondo de la máquina. Por lo tanto, el teñido supercrítico no produce ningún drenaje y puede ser considerado como un enfoque de teñido ecológico. Este sistema es aplicable a más subprocesos textiles.

Tintes / aditivos empleados

A lo largo de la evaluación de todos los *papers*, se presentan importantes tintes, blanqueadores o agentes funcionales empleados, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7
Tintes y aditivos empleados en los artículos seleccionados para el estudio

Proceso textil	n.º paper	Tinte	Aditivos
Teñido de fibras sintéticas	P1	Tintes dispersos	Quitosano y derivados
	P2-P3	Curcumina	
	P4	Disperse Blue 79	
	P5	Colorante disperso	
	P6	Colorante disperso	
Lavado de textiles	P6		Ca(OH)
Blanqueamiento	P7		Peróxido de hidrógeno
Teñido de fibras naturales	P8	1-loroantraquinona, N-feniletildiamina,	
	P9	Colorantes reactivo - dispersos	
	P10	Colorantes dispersos	
Teñido de fibras naturales	P11	Colorantes reactivo - dispersos	Sulfato de vinilo
	P12	Colorante reactivo K-2RA	
Teñido gráfico en prendas	P13	Disperse Blue y Disperse Red	

Elaboración propia

Como se indica en la tabla 7, estos tintes y aditivos empleados son diferentes en los diversos *papers* evaluados; por ende, cada uno tiene su importancia y su manera de usarlo correctamente. Asimismo, los colorantes se pueden clasificar de la siguiente forma:

- *Colorantes dispersos (poliéster)*. Son insolubles en agua y poseen una baja solubilidad en ella. Las partículas del colorante se disuelven en su forma monomolecular, y esta solubilidad está muy influenciada por las condiciones del medio, así como por otros factores propios, entre los cuales podemos nombrar el agua, el pH del medio, etcétera, además de las altas temperaturas de trabajo (Fajardo, 2016).

- *Colorantes reactivos (algodón).* Son sustancias de estructuras no saturadas, orgánicas y solubles en agua. Se preparan comercialmente para tener uno o dos átomos de cloro que reaccionen con la celulosa formando enlaces covalentes con los grupos nucleófilos de la fibra. Estas sustancias son solubles en medio ácido, neutro o básico, poseen una estructura molecular no saturada (Peñafiel, 2011).
- *Colorantes reactivos dispersos.* Los tintes reactivos dispersos con una estructura química apropiada son clave para la coloración de las fibras naturales en el medio ecológico libre de agua del $scCO_2$ (Fan y otros, 2019).
- *Colorantes naturales.* En los últimos años se ha reactivado el uso de colorantes naturales para el teñido de fibras textiles debido a la conciencia ambiental mundial y al énfasis que se ha dado a los procesos de producción más limpios y ecológicos. Una de las ventajas más importantes de los colorantes naturales es su compatibilidad con el medio ambiente; es decir, no causan ningún problema ambiental durante la etapa de producción y su uso mantiene el equilibrio ecológico. Muchos de los colorantes naturales tienen también propiedades multifuncionales y han sido considerados como agentes de acabado sostenibles y seguros en el desarrollo de textiles funcionales para una variedad de aplicaciones (Abate *et al.*, 2019).

Resultados

Tabla 8
Principales resultados de los artículos seleccionados para el estudio

n.º paper	Resultados
P1	Reducción de 75-93 % de las bacterias (tasa de reducción bacteriana debe mejorarse para aplicaciones médicas y de higiene).
P2	A 120 °C, 25MPa y una hora de tiempo de teñido, se logró una excelente intensidad, uniformidad y solidez del color en la tela.
P3	Los tejidos mostraron múltiples funcionalidades como las propiedades antibacterianas, antioxidantes, solidez y de bloqueo de los rayos ultravioleta.
P4	La aplicación de $scCO_2$ en el teñido es un éxito para las fibras sintéticas, excepto para el propileno, que necesita más investigación para encontrar tintes adecuados y condiciones de trabajo más fáciles.
P5	Tiempos de teñido más cortos; el poliéster ya no necesita tratamiento previo. Esta tecnología se sigue considerando de última generación y no se encuentra fácilmente a escala comercial en la actualidad.

(continúa)

(continuación)

P6	El proceso de limpieza es más eficiente que otros para diferentes tipos de suciedad. El color de las muestras no se vio afectado. El proceso propuesto puede caracterizarse como un método de limpieza general.
P7	Comparado con el método de blanqueo tradicional sin la adición de estabilizante y sosa, el método con scCO ₂ ofreció valores similares de blancura y a 80 °C mejoró la blancura (30 % y 51 %) para cada tipo de concentración de peróxido.
P8	Fijación de las moléculas de colorante absorbidas de 97,69 % y de 89,76 % para la lana y la seda, respectivamente. El algodón obtuvo una menor eficiencia de fijación de 49,37 %, reflejado en la baja intensidad de color. Se recomienda un proceso optimizado para sintetizar el nuevo tinte diseñado.
P9	La solidez al teñido y al roce cumplieron los requisitos, pero la solidez al lavado puede mejorar. Los tintes 1 y 2 mostraron los valores más altos de fijación. Los colores de la tela teñida con los tintes 2, 4 y 6 eran más profundos. Los tintes con el grupo bromoacetilo tuvieron mejor fijación en el algodón.
P10	A 90°, 140 bar y 60 minutos se produce un tinte uniforme con alta resistencia del color y propiedades de solidez, se obtiene un 99,4 % de fijación para la lana.
P11	Muy buenos comportamientos de adsorción, absorción, fijación y una alta solidez en la coloración. La mayor intensidad de color se alcanzó en la seda.
P12	La intensidad del color de las muestras teñidas mejoró con la variación de humedad del scCO ₂ . Además, se obtuvo una aceptable resistencia al lavado, al frotamiento y a la luz; ergo, se redujo el tiempo de teñido.
P13	A 120 °C y 24 MPa se obtuvo el mejor coeficiente de difusión y el scCO ₂ con alta difusión y solubilidad favoreció la capilaridad de los tintes al interior de las fibras.

Elaboración propia

4. DISCUSIÓN

Pasando a explicar analizar los resultados para dar respuesta a nuestra pregunta de investigación, las referencias bibliográficas evaluadas afirman que el uso de los FSC en la industria textil traería beneficios ambientales y económicos al disminuir la generación de aguas residuales y compuestos químicos en la producción, lo que a la vez permite un ahorro significativo de energía (Abate *et al.*, 2019). Por ello, se aprecia notoriamente que el propósito de los investigadores es comprobar el potencial de los fluidos supercríticos en los diferentes procesos textiles, pues ya que esta es una tecnología relativamente nueva, es necesario verificar que las propiedades otorgadas a la tela cumplan o sobrepasen los requisitos mínimos de calidad y, en caso no se logre, investigar metodologías para la mejora de estos parámetros con el fin de realizar una

producción más limpia. Por ejemplo, en el *paper 8* se menciona que la coloración de las fibras naturales (algodón, lana y seda) mediante dióxido de carbono supercrítico es compleja debido a que estos sustratos tienen una alta afinidad por el agua; por ello, los autores buscan mejorar las propiedades de coloración al emplear un tinte especial en el teñido textil (Fan *et al.*, 2019).

Metodologías. Las más empleadas en los artículos fueron impregnación y reacción de síntesis. Esto se debe a que, para que el material textil obtenga el color deseado, la impregnación es una técnica básica para el teñido de las telas debido a su uso en producciones continuas y efectividad. Asimismo, diversos *papers* analizados se enfocaban en la creación de nuevos tintes para mejorar la eficiencia en el teñido de las fibras textiles y para lograr esto se debe realizar reacciones de síntesis.

Variables. Las más comunes son el tiempo, con un rango de veinte minutos a doce horas; la presión, con un rango de 180 a 250 bares, y la temperatura, con un rango de 40 °C a 140 °C. La mayoría de los estudios analizados converge en el hecho de que se trabaja a distinta temperatura y presión para un mismo tiempo para evaluar aquellas en las que obtiene un resultado óptimo en cuanto al contacto entre el sustrato textil y los tintes, colorantes, blanqueadores o agentes funcionales empleados. Asimismo, cabe resaltar que, según el *paper 2*, el comportamiento del teñido estaba mucho más influenciado por la presión del sistema seguido por la temperatura del proceso (Abate *et al.*, 2019).

Subproceso textil. El más estudiado a lo largo de los artículos fue el teñido supercrítico, ya que demostró ser una coloración anhidra la cual incluye la utilización de menos energía y productos químicos, lo que supone un potencial de hasta un 50 % menos de costos operativos (Eren *et al.*, 2018, p. 2). Sin embargo, otros procesos están siendo estudiados como el blanqueo o el lavado, como procesos de pre y postratamiento de la tela antes de ser teñida por el ahorro que permite en agua dulce.

Sustratos textiles. El algodón resaltó como uno de los más comunes entre los artículos por tratarse de la fibra natural más producida y utilizada con un uso popular en el mundo entero, tal y como lo indica el *paper 7* (Eren *et al.*, 2018). Asimismo, resultó de interés testear en poliéster ya que, según el *paper 2*, el poliéster (PET) es la fibra textil más importante en términos de volumen y valor del producto en el mercado debido a sus importantes propiedades y a su versatilidad en diversas aplicaciones (Abate *et al.*, 2019). También es el material textil más investigado en lo que respecta a la tintura de $scCO_2$, ya que es una fibra hidrófoba de estructura compacta y alta cristalinidad que permite una coloración a altas temperatura y presión.

Fluido supercrítico empleado. Se optó en todos los *papers* por CO_2 , ya que según el *paper 1*, en el estado supercrítico el CO_2 tiene una baja viscosidad y difusividad similar a la de los gases, todo esto combinado con una alta densidad y un poder solvente similar

al de los líquidos (Abate *et al.*, 2018). Estas propiedades ayudan a adquirir un alto poder solvente que puede ser fácilmente ajustado variando la presión y la temperatura del sistema. Adicionalmente, según el *paper* 3, el CO₂ utilizado como solvente proviene de una emisión industrial que es esencialmente barata, abundante, no tóxica y no inflamable, y tiene una temperatura crítica fácilmente alcanzable (31 °C) y una presión crítica de 7,4 MPa (Abate *et al.*, 2020).

Maquinaria. Aquella común a todos los *papers* fue un tanque de teñido con un cilindro hueco perforado dentro del cual se aplica presión y temperatura para obtener scCO₂. Asimismo, se contó con un separador, el cual recupera la mayor cantidad del FSC luego del subproceso respectivo, y recircula el exceso de colorante y otros residuos. En la mayoría de *papers* los instrumentos más usados se destinan al control de temperatura, presión e intensidad de color, ya que de estos depende, en gran medida, la calidad y eficiencia del teñido. Una temperatura o presión incorrecta puede hacer que una tela, que se esperaba fuese de primera calidad, pase a ser de segunda o tercera calidad, debido a que se destiñe o no logró la intensidad de color requerido. Además, según el *paper* 1, después del teñido, el CO₂ y los tintes sobrantes se recuperan y no se necesita ningún paso de secado, lo cual es económico (Abate *et al.*, 2018).

Tintes y aditivos. Al emplearse sustratos como algodón y poliéster, los tintes más comunes fueron reactivos (para el algodón) y dispersos (para el poliéster). Los reactivos son colorantes que permiten mediante una reacción covalente adherirse a la fibra en temperaturas de entre 20 y 100 °C, mientras que los dispersos actúan comúnmente en un medio ácido (4,5) y son poco solubles en agua a 130 °C. Asimismo, se emplearon colorantes naturales que, según el *paper* 3, poseen propiedades multifuncionales y han sido considerados como agentes de acabado sostenibles y seguros en el desarrollo de textiles funcionales para una variedad de aplicaciones (Abate *et al.*, 2020). En este último caso, usando el método de impregnación con FSC, no fue necesario el uso de mordientes (metales pesados para fijar el colorante en métodos tradicionales). Como punto adicional, según el *paper* 4, en el teñido supercrítico se espera que la concentración de tinte requerida para un tono específico sea menor que en métodos de teñido húmedos (Abou y Abd, 2017).

Resultados. Se pudo observar que, al aplicar esta novedosa propuesta de teñido con scCO₂, se obtienen resultados sumamente satisfactorios estando el incremento de la resistencia al lavado y el aumento del rendimiento de color entre los principales hallazgos. Además, se observó la obtención de un tinte uniforme con alta resistencia del color y excelentes propiedades de solidez (cumpliendo los requisitos para prendas de vestir), fijación y profundidad. Otro aspecto que vale la pena resaltar es una importante mejora en la reducción bacteriana, que incluso llegó a un 60 %. Por otro lado, para objetivos de blanqueamiento, se pudo notar un incremento considerable de blancura a la temperatura de 80 °C. Con todo, lo que limitaría la globalización de esta tecnología

(mencionado en el *paper* 5) es la alta inversión de este tipo de sistemas en comparación de los procesos tradicionales; aun así, los beneficios económicos posteriores son importantes, ya que el consumo de agua disminuiría excesivamente, así como la generación de aguas residuales (Abou y Abd, 2017).

Finalmente, se plantea para una futura investigación que se lleven a cabo propuestas con el uso de FSC en los subprocesos textiles de modificación de superficies, desencolado, fijado, esponja, neutralizado y suavizado, pues estos son procesos aún sin mucha exploración y que tienen un alto consumo de agua en la producción de prendas.

5. CONCLUSIONES

- Mediante una revisión sistemática de literatura, se logró verificar que el uso de FSC en los procesos textiles permite alcanzar una producción más limpia en la industria textil.
- Se determinó un panorama del estado para comprender la aplicabilidad de los FSC en la actualidad, detallando maquinarias y métodos validados por los artículos estudiados.
- Se mapearon las fuentes de conocimiento más fiables para dar con la información más confiable luego de aplicar los filtros a la información.
- Como ventaja principal, el uso de fluidos supercríticos en la industria textil permite el ahorro de agua y bajo consumo de energía por ahorrar el proceso de secado. Como desventaja principal, aún hay pocos datos con respecto a la solubilidad de los diferentes tipos de colorante en el scCO_2 .
- Se determinó que es posible alcanzar una producción más limpia en la industria textil global al 2020 aplicando la tecnología de los FSC en los procesos textiles, siendo un aspecto crucial las variables de temperatura, tiempo y presión, las cuales varían en gran medida y necesitar estar predeterminadas según el tipo de sustrato, método, tipo de colorante y subproceso textil a llevar a cabo.
- Se encontró que la razón por que la tecnología supercrítica no se comercializa a gran escala es por los costos altos en los que se debe incurrir en este sistema; sin embargo, los artículos referenciados (gran mayoría publicados recientemente) demuestran el potencial de los FSC y los beneficios económicos que podrán generar su empleo. Además, si los científicos concentran sus esfuerzos en investigar nuevos procesos textiles en los que se pueda dar uso a los FSC, no cabe duda de que se tratará de una tecnología eficiente verde que toda empresa industrial debería pensar en emplear para ser responsables con el medio ambiente.

REFERENCIAS

- Abate, M. T.; Ferri, A.; Guan, J.; Chen, G. y Nierstrasz, V. (2019). Colouration and bio-activation of polyester fabric with curcumin in supercritical CO₂: Part I - Investigating colouration properties. *The Journal of Supercritical Fluids*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104548>
- Abate, M. T.; Ferri, A.; Guan, J.; Chen, G.; Ferreira, J. A. y Nierstrasz, V. (2018). Single-step disperse dyeing and antimicrobial functionalization of polyester fabric with chitosan and derivative in supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 147, 231-240. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.11.002>
- Abate, M. T., Zhou, Y., Guan, J., Chen, G., Ferri, A. y Nierstrasz, V. (2020). Colouration and bio-activation of polyester fabric with curcumin in supercritical CO₂: Part II - Effect of dye concentration on the colour and functional properties. *The Journal of Supercritical*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104703>
- Abou Elmaaty, T. y Abd El-Aziz, E. (2017). Supercritical carbon dioxide as a green media in textile dyeing: A review. *Textile Research Journal*, 88(10), 1184-1212. <https://doi-org.ezproxy.ulima.edu.pe/10.1177/0040517517697639>
- Agrawal, B. J. (2015). Supercritical Carbon-dioxide Assisted Dyeing of Textiles: An Environmental Benign Waterless Dyeing Process. In *International Journal of Innovative Research and Creative Technology*, 1(2), IJIRCT. Recuperado de <http://www.ijirct.org/papers/IJIRCT1201043.pdf>
- Aslanidou, D.; Tsiopstias, C. y Panayiotou, C. (2013). A novel approach for textile cleaning based on supercritical CO₂ and Pickering emulsions. *The Journal of Supercritical Fluids*, 76, 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.02.005>
- Castaños, E. (17 de agosto de 2015). *Cromatografía de fluidos supercríticos*. Recuperado de <https://cienciaonthecrest.com/2015/08/17/cromatografia-de-fluidos-super-criticos/>
- Eren, S.; Avinc, O.; Saka, Z. y Eren, H. A. (2018). Waterless bleaching of knitted cotton fabric using supercritical carbon dioxide fluid technology. *Cellulose*, 25(10), 6247-6267. Recuperado de <https://link-springer-com.ezproxy.ulima.edu.pe/article/10.1007/s10570-018-2004-z>
- Fajardo, O. (16 de octubre de 2016). Productos de limpieza para lavandería industrial. *Conocimiento textil*. Recuperado de <https://conocimiento-textil.blogspot.com/2016/10/tintoreria-textil-tenido-colorantes-dispersos-poliester.html>
- Fan, Y.; Zhang, Y. Q.; Yan, K. y Long, J. J. (2019). Synthesis of a Novel Disperse Reactive Dye Involving a Versatile Bridge Group for the Sustainable Coloration of Natural Fibers in Supercritical Carbon Dioxide. *Advanced Science*, 6(1), 1-14. <https://doi-org.ezproxy.ulima.edu.pe/10.1002/advs.201801368>

- Gao, D.; Cui, H. S.; Huang, T. T.; Yang, D. F. y Lin, J. X. (2014). Synthesis of reactive disperse dyes containing halogenated acetamide group for dyeing cotton fabric in supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 86, 108-114. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.12.006>
- Guerrero Muñoz, N. (2017). *Estudio de un proceso de extracción e impregnación de extractos naturales en telas de poliéster* [tesis de licenciatura, Universidad de Cádiz, España]. Repositorio institucional de la Universidad de Cádiz. Recuperado de <https://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/19740>
- Luo, X., White, J., Thompson, R., Rayner, C., Kulik, B., Kazlauciuonas, A., He, W. y Lin, L. (2018). Novel sustainable synthesis of dyes for clean dyeing of wool and cotton fibres in supercritical carbon dioxide. *Journal of Cleaner Production*, 199, 1-10. <https://doi-org.ezproxy.ulima.edu.pe/10.1016/j.jclepro.2018.07.158>
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (s.f.). *Manual de producción más limpia*. Recuperado de <https://docplayer.es/10773854-Onudi-manual-de-produccion-mas-limpia.html>
- Organización de las Naciones Unidas. (12 de abril de 2019). *El costo ambiental de estar a la moda*. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2019/04/1454161>
- Peñafiel, S. (9 de junio de 2011). *Influencia del suavizado con bases de ácidos grasos en el cambio de matiz en tejidos algodón 100 % tinturados con colorantes reactivos de baja reactividad* [tesis de licenciatura, Universidad Técnica del Norte, Ecuador]. Repositorio institucional de la Universidad Técnica del Norte. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/631>
- Solé, A. (abril de 2016). Procesos de tinción por agotamiento e impregnación. *Asolengin*. Recuperado de <https://asolengin.files.wordpress.com/2016/04/procesos-de-tintura-por-agotamiento-e-impregnacion3b3n.pdf>
- Yan, K.; Zhang, Y. Q.; Xiao, H.; Shi, M. W. y Long, J. J. (2020). Development of a special SCFX-AnB3L dye and its application in ecological dyeing of silk with supercritical carbon dioxide. *Journal of CO₂ Utilization*, 35, 67-78. <https://doi-org.ezproxy.ulima.edu.pe/10.1016/j.jcou.2019.09.004>
- Zhang, J.; Zheng, H. y Zheng, L. (2018). Optimization of Eco-Friendly Reactive Dyeing of Cellulose Fabrics Using Supercritical Carbon Dioxide Fluid with Different Humidity. *Journal of Natural Fibers*, 15(1), 1-10. <https://doi-org.ezproxy.ulima.edu.pe/10.1080/15440478.2017.1302385>
- Zheng, L. J.; Zhang, J.; Du, B.; Zhao, Y. P. y Ye, F. (2015). Supercritical CO₂ for color graphic dyeing: Theoretical insight and experimental verification. *Thermal Science*, 19(4), 1287-1291. <https://doi.org/10.2298/TSCI1504287Z>

**INGENIERÍA
DE NEGOCIOS**

Business Engineering

ESTUDIO PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SERVICIO DE CONGELAMIENTO DE CONCHAS DE ABANICO EN EL PERÚ MEDIANTE LA INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE CONGELACIÓN CRIOGÉNICA

ALBERTO CARLOS

<https://orcid.org/0000-0002-6528-1929>

MARCELO MORÁN*

<https://orcid.org/0000-0002-2984-531X>

Universidad de Lima, Perú

Recibido: 25 de mayo del 2020 / Aprobado: 13 de agosto del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4919>

RESUMEN: Este artículo exhibe los resultados de una investigación enfocada en la viabilidad técnica y comercial para el servicio de congelamiento de conchas de abanico, utilizando el método de congelamiento rápido con nitrógeno. Fueron obtenidos a partir de la identificación de la demanda del proyecto, diseño del servicio, ingeniería del servicio y análisis económico.

Palabras clave: concha de abanico / congelamiento rápido / nitrógeno / plantas de congelación / servicio / congelación criogénica

A STUDY FOR INTRODUCING A SCALLOP FREEZING SERVICE IN PERU THROUGH THE INSTALLATION OF A CRYOGENIC FREEZING EQUIPMENT

ABSTRACT: This article shows the results of a research focused on the commercial and technical viability of a scallop freezing service using the individual quick freezing (IQF) method with nitrogen. The results were obtained from the identification of the project demand, service design, service engineering and economic analysis.

Keywords: scallops / quick freezing / nitrogen / freezing plant / service / cryogenic freezing

* Correos electrónicos: 20130241@aloe.ulima.edu.pe, 20132040@aloe.ulima.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las exportaciones de conchas de abanico han sufrido una caída significativa. Según *Las conchas de abanico, las pepitas de oro del mar peruano* (2017), esto se debe a que áreas de la bahía de Sechura, donde se encuentra la mayor producción de conchas de abanico, no logran cumplir las exigencias de la Unión Europea. Por lo tanto, han sido retiradas del Listado Oficial de Áreas de Producción de Moluscos Bivalvos autorizadas por la Unión Europea, lo cual ha disminuido la exportación de este producto gradualmente desde el año 2014, como se muestra en la tabla 1.

Actualmente, existen varios métodos para el congelado. Por ejemplo, el método por aire forzado donde “usan corrientes de aire a bajas temperaturas y a gran velocidad” (Ballesteros, 2013, p. 30). Sin embargo, es más lento que los otros métodos y causa excesiva pérdida de agua; su aplicación es mayormente usada en frutas y verduras. También existe el método de contacto directo que usa amoníaco o freón como agente refrigerante. “Este sistema consiste en varias placas de paredes dobles, y en su interior se encuentra circulando un refrigerante. El alimento es puesto entre las placas, las cuales presionan el alimento por medio de un sistema hidráulico ligero” (Rodríguez *et al.*, 2007, p. 103). Sin embargo, el amoníaco tiene un olor fuerte que “puede ser dañino si se inhala en concentraciones elevadas [...] Los efectos de la inhalación del amoníaco varían desde la irritación hasta severas lesiones respiratorias, con posibles fatalidades si existe una concentración mayor” (Guevara, 2015, p. 36), son inflamables cuando hay presencia de elementos como el cloro, mercurio y a altas temperaturas se descompone en hidrógeno y nitrógeno, que al mezclarse con el oxígeno forma las condiciones para una ignición o explosión. Por otro lado, el uso del freón, compuesto por clorofluorocarbonos, según la normativa europea F-Gas ha sido restringido, pues “los clorofluorocarbonos (CFC) contribuyen en gran manera a la destrucción de la capa de ozono” (Hernández, 2016, p. 7).

Ante esos problemas identificados, se realizó el estudio para la implantación de un servicio de congelamiento con nitrógeno utilizando el método rápido (IQF - Individual Quick Freezing, por sus siglas en inglés), ya que el nitrógeno líquido puede trabajar en un rango de temperatura de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que permite una congelación rápida y la formación de cristales más pequeños en el producto a congelar y “obtendrá las ventajas de ganar tiempo de vida deteniendo la maduración y mantener en perfectas condiciones” (Loaiza *et al.*, 2016, p. 25). Por lo tanto, para los productores disminuye el riesgo al exportar y les permitiría reducir costos en el flete, ya que tiene como opción la vía marítima. Además, no tiene efectos toxicológicos ni es un gas inflamable, y según la clasificación CEE, no figura como sustancia peligrosa al ser un gas seco e inerte. Sin embargo, si no hay una buena ventilación existe el riesgo de asfixia por desplazamiento de oxígeno y si se encuentra a temperaturas frías, como $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, puede provocar quemaduras si hay contacto. Por lo tanto, dentro del plan de seguridad la implementación de equipos de protección personal (EPP) es fundamental.

Tabla 1

Data histórica de exportaciones de conchas de abanico en toneladas

Producto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Conchas de abanico	6 924	9 436	12 612	10 462	5 820	15 121	12 332	6 178	4 372	3 262

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018)

2. METODOLOGÍA

Para determinar la viabilidad técnica y comercial, se siguió la siguiente metodología de trabajo:

1. *Descripción del servicio.* Se identifican las áreas involucradas, como cliente, servicio al cliente, producción, distribución, y se determina los procedimientos a seguir para el desarrollo del servicio de congelamiento.
2. *Estudio de mercado.* Se hace un análisis del sector industrial para crear estrategias durante su funcionamiento. Después, se busca la demanda de proyecto considerando las exportaciones del Perú y el consumo de conchas de abanico en el mundo como las variables.
3. *Ingeniería del servicio.* Se realiza primero un cuadro comparativo entre las tecnologías de congelamiento y sus agentes refrigerantes disponibles en el mercado. Una vez determinada la mejor tecnología, se explica el proceso de obtención de nitrógeno y el funcionamiento de la cámara frigorífica. Finalmente, se diseña el plan de seguridad y el plano del servicio.
4. *Análisis económico.* En esta etapa se identifica el total de inversión y se realiza el flujo económico para evaluar la rentabilidad del servicio.

3. RESULTADOS

El proyecto consiste en ofrecer el servicio de congelamiento rápido con la implementación de una planta productora de nitrógeno para productos de exportación, con la finalidad de conservar sus propiedades y mantener su calidad.

El servicio se inicia cuando el cliente se contacta con el servicio de atención de la empresa para congelar su producción de conchas de abanico. El servicio de atención al cliente recibe la solicitud y verifica si hay capacidad de atención en la planta. Si no la hay, se comunica la no disponibilidad; en caso contrario, se envía una proforma al cliente. El cliente evalúa la proforma; si acepta, envía las conchas de abanico y el área de producción se encargará de recibirlas y desempacarlas para iniciar el proceso de congelamiento. Una vez terminado el proceso, se empaca y se estampa según la marca del cliente, para enviar

al área de distribución donde el cliente recogerá su pedido y, finalmente, hará el pago del servicio. En la figura 1 se muestra el flujograma del servicio propuesto.

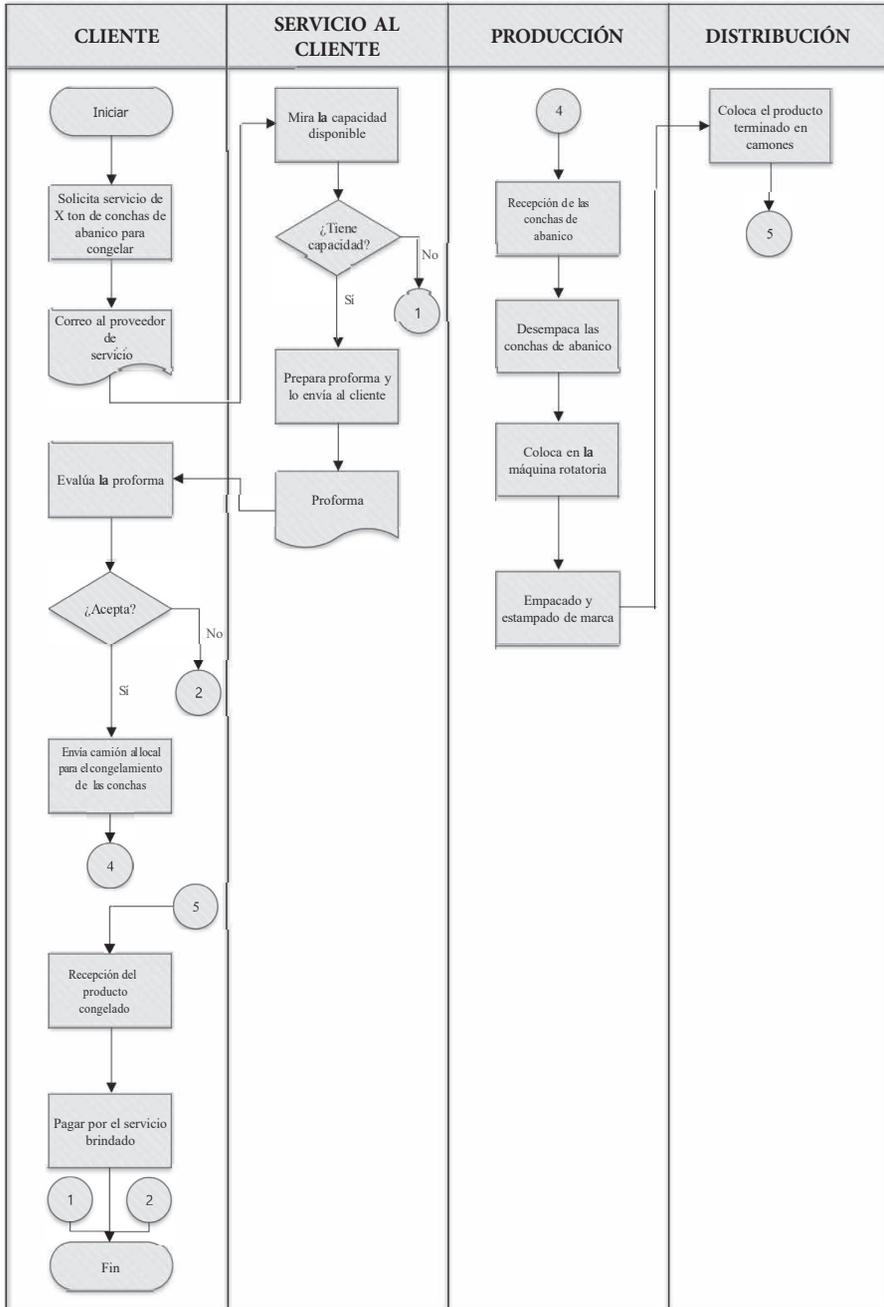


Figura 1. Flujograma para el servicio de congelamiento de conchas de abanico

Elaboración propia

Adicionalmente al servicio de congelado, con la finalidad de alcanzar la fidelización del cliente se ofrecerá lo siguiente:

- Se brinda el empaquetado del producto con la finalidad de dejarlo listo para que el cliente pueda exportar sin problemas. El servicio incluye el etiquetado con el nombre o marca de la empresa que adquiera la prestación.
- Como servicios complementarios, se ofrecerá garantía. Se asegura en devolver el producto congelado de acuerdo con sus especificaciones y se ofrecerá crédito hasta que su producto sea exportado, para demostrar al cliente la confiabilidad del servicio.

Para lograr un posicionamiento en el sector industrial de congelamiento de alimentos y realizar una estrategia competitiva eficiente se realizó el análisis de las cinco fuerzas de Porter mostrado en la figura 2.

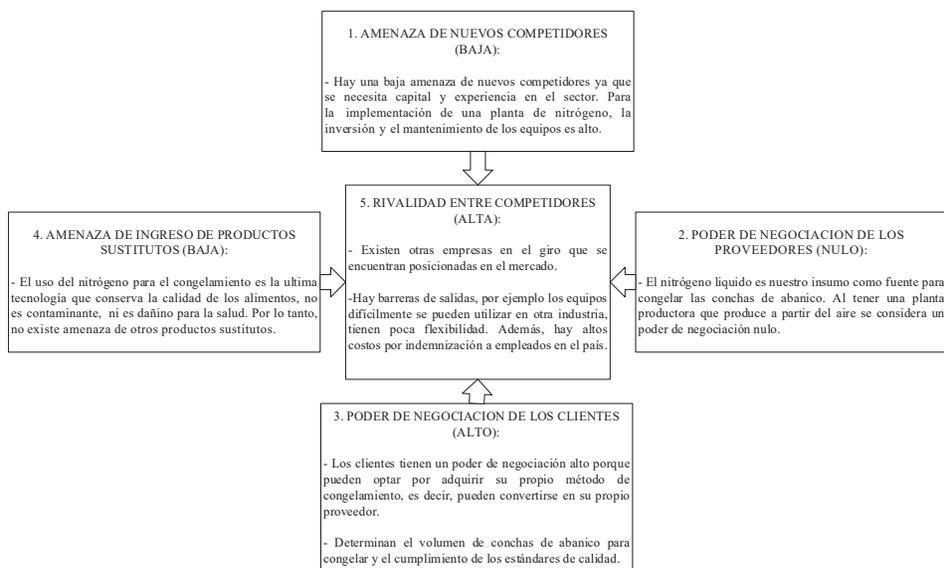


Figura 2. Análisis de las cinco fuerzas de Porter

Elaboración propia

En el estudio de mercado se han considerado la exportación de conchas de abanico y la demanda a analizar, ya que todas estas tienen que estar congeladas para venderse en los mercados internacionales, según el Decreto Supremo n.º 07 (2004) y el Decreto Supremo n.º 004 (2018), controlado por el Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES). Como variable independiente a las exportaciones, se ha considerado el consumo mundial.

Según el Banco Mundial (2013), la tendencia de consumo humano de la acuicultura tiene un crecimiento anual de 0,3 % en promedio global. Además, existe un gran aumento en las inversiones para la acuicultura, sobre todo en tecnologías para mejorar la productividad, que incluyen el uso del agua de manera responsable, el mejoramiento genético en crías, las prácticas en los criaderos y la innovación en la alimentación de los peces (Unión Industrial Bahía Blanca, 2017, párr. 10).

Para la proyección de la demanda se analizó la data histórica de las exportaciones de conchas de abanico mencionada en la tabla 1 y se definió como la variable dependiente para la proyección. No se consideró para la proyección el año 2012, debido a una alta tasa de mortalidad por la presencia de marea roja, ni los años 2014 al 2017, ya que, ocurrieron eventos atípicos que afectaron la producción de las conchas de abanico como el fenómeno El Niño y el mal aprovisionamiento de semillas de conchas de abanico.

También, se analizó la data histórica del consumo de conchas de abanico, como se puede observar en la tabla 2, y se definió como la variable independiente.

Tabla 2
Consumo mundial de conchas de abanico en toneladas

Producto	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Conchas de abanico	116 793	122 649	132 078	136 065	124 091	154 820	158 884	173 752

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018)

Como se mencionó en la “Definición y análisis de mercado”, el consumo de los productos marinos tendrá un crecimiento de 0,3 % anual. Por la tanto, se tiene la siguiente proyección con un ajuste lineal del 2018 al 2024, como se muestra en la figura 3, cuyos datos corresponden a la tabla 3.

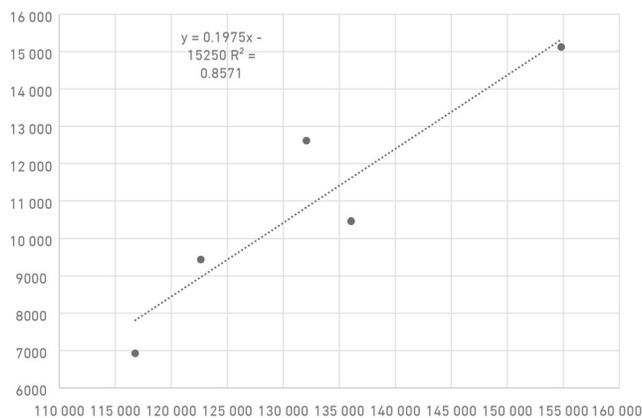


Figura 3. Tendencia de la demanda en toneladas

Elaboración propia

Tabla 3
Proyección de la demanda en toneladas

Año	Producción de nitrógeno (T)
2018	19 375,79
2019	19 479,67
2020	19 583,86
2021	19 688,36
2022	19 793,17
2023	19 898,30
2024	20 003,75

Elaboración propia

Para este cálculo se analizaron tres componentes: la segmentación de la producción de conchas de abanico en el Perú; la intención e intensidad, que se determinaron mediante encuestas a los productores de conchas de abanico; la competencia y su participación de mercado.

Según la evaluación de microlocalización, se obtuvo que Sechura es el lugar apropiado para establecer las operaciones del congelado. Según *Las conchas de abanico, las pepitas de oro del mar peruano* (2018), en la bahía de Sechura (Piura) se produce un 80 % de la producción total de conchas de abanico en el país.

Las empresas identificadas y su respectiva participación en el mercado son las siguientes: IPRISCO S.A.C., abarca un 60 % del procesamiento actual de congelamiento, PERU PEZ S.A. y GAM CORP. procesan un 15 % cada una, y UNITED OCEANS S.A. un 10 %. Al considerar que esta sería una empresa que recién se ha formado, la participación en el mercado sería la menor, es decir, el 10 %.

Además, mediante encuestas realizadas a productores de conchas de abanico se pudo conocer la intensidad y la intención del servicio, lo cual dio como resultado un factor de corrección de 0,49 (intensidad x intención). Con estos datos obtenidos en el estudio se tiene la demanda de proyecto que se muestra en la tabla 4.

Tabla 4
Demanda del proyecto en toneladas

Año	Producción de nitrógeno (T)	Segmentación (Sechura 80 %)	Factor de corrección (Intención x Intensidad)	Demanda Objetivo (T)	Participación (10 %)	Demanda del proyecto (T)
2018	19 375,79	80 %	0,49	7 595,31	0,10	759,53
2019	19 479,67	80 %	0,49	7 636,03	0,10	763,60
2020	19 583,86	80 %	0,49	7 676,87	0,10	767,69
2021	19 688,36	80 %	0,49	7 717,84	0,10	771,78
2022	19 793,17	80 %	0,49	7 758,92	0,10	775,89
2023	19 898,30	80 %	0,49	7 800,14	0,10	780,01
2024	20 003,75	80 %	0,49	7 841,47	0,10	784,15

Elaboración propia

El servicio usará la tecnología de congelamiento rápido con nitrógeno líquido. “El principal efecto de la congelación sobre la calidad de los elementos es el daño que ocasiona en las células el crecimiento de cristales de hielo” (Umaña, 2016, p. 27), es decir, mientras los cristales de congelamiento sean más pequeños —y por ende el congelamiento más rápido—, los tejidos de las conchas no se dañan y sus propiedades se conservan. Es por ello que se considera:

- *Congelamiento por aire forzado.* No se considera oportuno debido a que el congelamiento es más lento; por lo tanto, los cristales que se forman son más grandes y el producto pierde propiedades organolépticas.
- *Congelamiento usando amoníaco o freón.* Si bien tiene un buen consumo energético, los cristales formados a comparación del uso del nitrógeno son grandes y existe mayor pérdida tanto en el peso de congelado y descongelado.
- *Congelamiento usando nitrógeno.* Se considera esta técnica como la óptima; con esta tecnología tenemos una rapidez del congelamiento, provocando así cristales menores y por ende una mejor conservación de las propiedades organolépticas. Por otro lado, al momento de la descongelación, en comparación de otras tecnologías, se puede descongelar la cantidad deseada y no todo un bloque de producto.

En la tabla 5 se hace una comparación más detallada entre los elementos nitrógeno, amoníaco y freón para el congelamiento.

Tabla 5
Cuadro comparativo entre elementos para la congelación de alimentos

VARIABLES	Amoniaco / Freón	Nitrógeno
Temperatura	(-20 °C) / (-50 °C)	(-196°C)
Cristales formados	Grandes	Pequeños
Perdida de peso congelado %	0,5 a 0,24	0,11
Perdida de peso descongelado %	0,8 a 0,7	0,58
Tiempo (min) (en un producto de 200 g)	12,8	8,2
Espacio m ² (procesando 2000 kg/h)	62	19

Fuente: Air Products (2016)

Elaboración propia

5.1 Funcionamiento de una planta de nitrógeno

Para poder ofrecer el servicio, se necesita la producción de nitrógeno líquido, el cual se obtendrá mediante el método de destilación que se detallará a continuación y está representado en un diagrama de flujo como se observa en las figuras 4 y 5.

El aire atmosférico pasa por una filtración preliminar para eliminar todas las partículas gruesas, como el polvo, que puedan poner en riesgo la integridad de los compresores. Luego, el aire se comprime hasta una presión de 5 bares, donde el aire se calentará y deberá ser enfriado hasta una temperatura de 20 °C. Luego, el aire se prefría en un *chiller* y se vuelve a condensar en un tanque de aire (Cerrada, 2017, pp. 22-33). A continuación, pasa a un secador filtro molecular, donde se desecha, gases como CO₂, hidrocarburos y CO. Posteriormente, la corriente de aire se vuelve a comprimir y pasa a la torre de destilación de alta presión; ahí, el proceso consiste en la rectificación de la temperatura y masa y se obtiene la fase gaseosa de nitrógeno; luego, pasa a una torre de destilación de baja presión en esta etapa se enfría, permitiendo la licuación del nitrógeno mediante un *booster*.

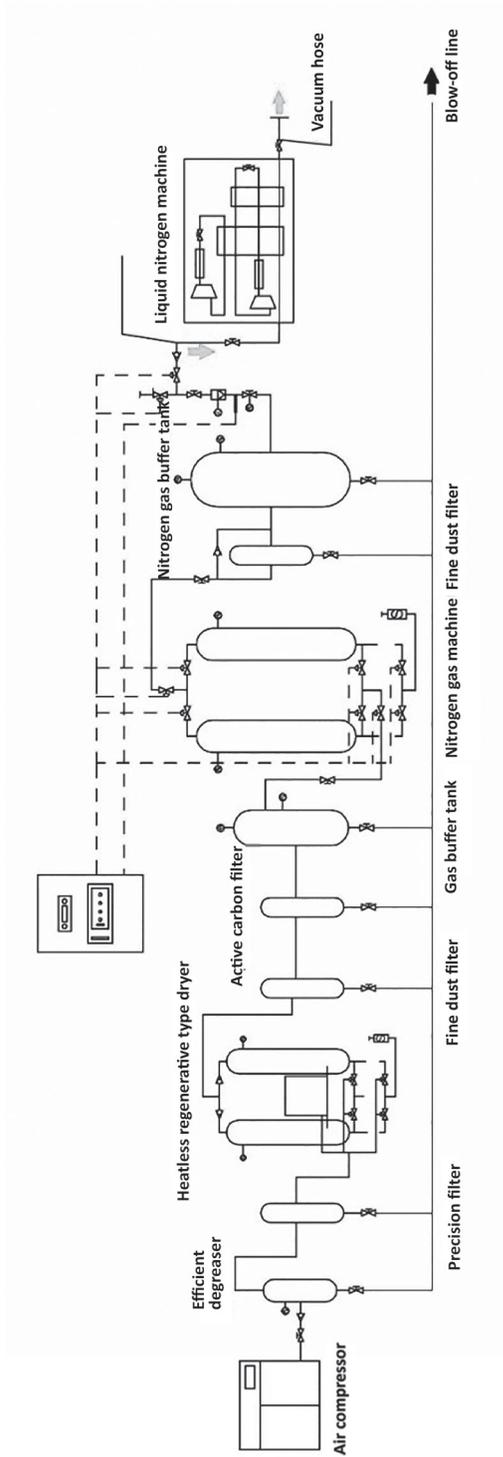


Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de nitrógeno líquido

Fuente: Alibaba (2020)

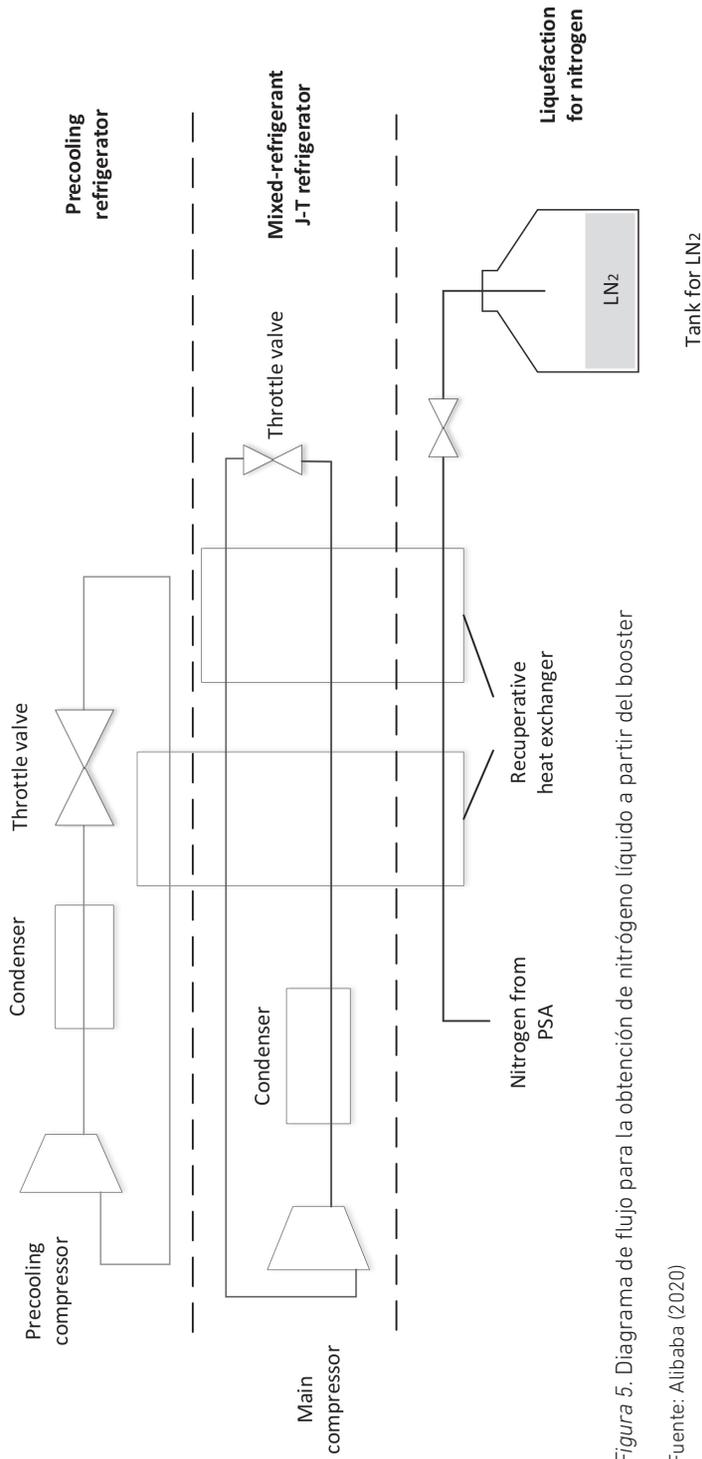


Figura 5. Diagrama de flujo para la obtención de nitrógeno líquido a partir del booster

Fuente: Alibaba (2020)

Después, el nitrógeno líquido producido pasará a una máquina rotatoria o túnel de congelación, cuya función será bañar a las conchas de abanico y de esta forma producir su congelamiento inmediato (método IQF). Este túnel utilizará la tecnología de congelación por aspersión y está compuesto por varias cintas que evitan que los alimentos se peguen entre sí. La caída continuada del producto crea un óptimo resultado del congelamiento IQF. Interiormente contiene ventiladores que dispersan el nitrógeno líquido vaporizado para un mejor rendimiento y pulverizadores que se encargan de cubrir el producto con nitrógeno líquido. Este tipo de diseño permite congelar desde productos marinos hasta frutas o verduras.

Para tener un servicio con atención continua y una política de cero accidentes, es necesario hacer un análisis de seguridad. El estudio inició con el desarrollo de un mapa de riesgos de la planta (tabla 6), donde se identificaron el factor de riesgo, su ubicación y su fuente, para establecer una medida preventiva.

Posteriormente, se identificaron los tipos de fuego (tabla 7) que se pueden ocasionar en la planta y se definen las formas de actuar en caso de que ocurran.

Por último, se realizó la matriz de identificación de peligros y riesgos (tabla 8) para establecer las medidas de control para cada peligro identificado. A continuación, se muestran las tablas mencionadas previamente:

Tabla 6
Mapa de riesgos en el servicio de congelamiento

Factor de riesgo	Ubicación	Fuente	Medida preventiva
Actividad de mantenimiento	Estación de mantenimiento	Maquinas del proceso	Capacitación y utilización de EPP`S
Descarga de bandejas con concha de abanico	Estación de recepción	Bandejas	Capacitación sobre los peligros ergonómicos.
Llenado con hielo a las bandejas	Estación de pesado	Hielo	Proporcionar guantes termoaislantes
Congelamiento de conchas de abanico	Estación de congelado	Ambiente en baja temperatura	Proporcionar vestimenta contra baja temperatura
Colocación de producto congelado en bolsas	Área de envasado	Conchas de abanico congeladas	Proporcionar guantes aislantes
Descarga eléctrica	Lugares con maquinarias	Maquinas en general	Capacitación y colocar conexiones a tierra
Piso mojado	Toda la planta	Hielo y nitrógeno líquido	Proporcionar botas contra agua

Elaboración propia

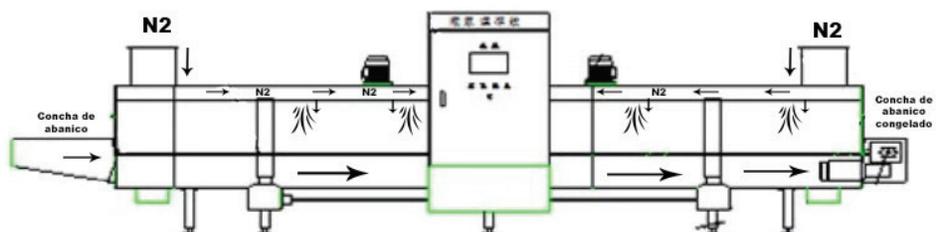


Figura 6. Funcionamiento de túnel de congelamiento

Elaboración propia

Tabla 7

Tipos de fuego

Tipo	Material de origen	Forma de actuación
B (Gases líquidos inflamables)	Combustible	Utilizar dióxido de carbono o espuma fluoroproteínica
C (Materiales energizados)	Máquinas, cableado	Utilizar gas carbónico CO ₂

Elaboración propia

Las capacitaciones serán al inicio de cada jornada y se usarán de manera permanente equipos de protección personal tales como:

- Guantes termoaislantes.
- Botas de hule o calzado impermeable.
- Vestimenta térmica con reflectores.
- Orejeras.
- Lentes de seguridad.

Para el análisis económico se identificó que el total de la inversión es de S/ 1 716 046,50, como se puede ver en la tabla 9. Los activos intangibles incluyen la licencia de funcionamiento, contingencias, capacitaciones, gasto de remodelación de terreno. Los activos tangibles incluyen la maquinaria (planta de nitrógeno, túnel de congelación, estampadora), equipos, mobiliario de oficina y equipamiento.

Tabla 8
Matriz IPER

PROCESO: CONGELAMIENTO DE CONCHAS DE ABANICO												
Actividad	Peligro	Riesgo	PROBABILIDAD					Índice de severidad	Probabilidad x severidad	Nivel de riesgo	Medidas de control	
			Índice de persona expuesta	Índice de procedimientos existentes	Índice de capacitación	Índice de exposición al riesgo	Índice de probabilidad					
Descargar bandejas del camión	Descargar bandejas de 30 kg aprox.	Dolor de espalda, hernias o deformación	1	2	2	3	8	2	16	Moderado	Sí	Capacitación sobre peligros y riesgos ergonómicos. Enseñar técnicas de levantamiento
Traslado de bandejas al área de recepción	Piso mojado	Resbalar y caerse	1	2	2	3	8	1	8	Tolerable	NO	Elaborar programa de limpieza
Control de calidad	Contacto con conchas de abanico	Alergias, infección	1	2	2	3	8	1	8	Tolerable	NO	Lavado constante de manos y uso de guantes
Llenado con hielo a bandejas y pesado	Contacto con hielo	Lesiones musculares en las manos y dedos	1	2	2	3	8	2	16	Moderado	Sí	Proporcionar guantes termoaislantes

(continúa)

(continuación)

Congelado	Exposición a bajas temperaturas	Enfermedades respiratorias y lesiones de músculo	1	2	2	3	8	2	16	Moderado	Sí	Proporcionar vestimenta térmica, orejeras y lentes
Colocación y pesado de bolsas	Manipulación de producto congelado	Enfermedades respiratorias y lesiones de músculo	1	2	2	3	8	2	16	Moderado	Sí	Proporcionar ropa térmica, orejeras, lentes
Almacenado en cámara frigorífica	Apilamiento	Aplastamiento o enfermedades respiratorias	1	2	2	3	8	3	24	Importante	Sí	Proporcionar ropa térmica y capacitación de técnicas de almacenamiento

Elaboración propia

Tabla 9
Desagregado del total de inversión

Tipo	Monto (S/)
Activos intangibles	564 832,38
Activos tangibles (maquinaria y equipos, mobiliaria)	1 032 930,32
Capital de trabajo	118 283,80
Total de inversión	1 716 046,50

Elaboración propia

Los ingresos se obtienen por tonelada congelada. El precio del servicio por tonelada es de S/2600. Dentro de costos y gastos se consideró el costo de materia prima, costo de servicios y alquileres, y costo de personal. Para hallar el costo de oportunidad se utilizó el método CAPM ($COK = R_f + \beta (R_m - R_f)$) y se consideraron los siguientes datos recolectados de Bloomberg, obteniendo el siguiente resultado:

$$R_f^1 = 5,78 \%$$

$$\beta^2 = 1$$

$$R_m^3 = 9,56 \%$$

$$Cok = 5,78 \% + 1 (9,56 \% - 5,78 \%) = 9,56 \%$$

Bajo este escenario, se realiza el flujo económico como se muestra en la tabla 10 y se obtienen los siguientes indicadores (ver tabla 11).

-
- 1 Tasa libre de riesgo.
 - 2 Beta del activo.
 - 3 Rentabilidad del mercado.

Tabla 10
Flujo Fondos Económicos

Rubro	0	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Inversión total	-1 716 046,50							
Utilidad antes de reserva legal	1 007 847,92	1 011 697,32	1 028 187,28	1 044 699,54	1 061 234,16	1 077 791,17	951 846,74	
(+) Amortización de intangibles	24 009,86	22 749,86	22 749,86	22 749,86	22 749,86	22 749,86	22 749,86	22 749,86
(+) Depreciación fabril	204 586,06	204 586,06	204 586,06	204 586,06	204 586,06	204 586,06		
(+) Depreciación no fabril	2 500,00	2 500,00	2 500,00	2 500,00	2 500,00			
(+) Gastos financieros * (1-t)	50 812,14	54 368,99	45 307,49	45 307,49	36 245,99	27 184,49	18 123,00	9 061,50
(+) Valor en libro								404 323,34
(+) Capital de trabajo								118 283,80
Flujo neto de fondos económico	-1 716 046,50	1 289 755,99	1 295 902,23	1 303 330,70	1 310 781,46	1 315 754,58	1 118 664,03	1 506 265,24

Elaboración propia

Tabla 11
Evaluación económica

Van económico	4 716 877,17
B/c	3,75
Tasa interna de retorno económico	73,89 %
Periodo de recuperación (años)	1,50 años

Elaboración propia

El valor actual neto (VAN) es de S/ 4 716 877,17, lo que significa que el proyecto es rentable. Además, el valor de la tasa interna de retorno (TIR) es de 73,89 %, al ser superior al COK calculado (9,56 %); esto nos indica que el proyecto es aceptado por los inversionistas. Respecto del beneficio-costo, por cada sol invertido se gana S/ 3,75. Finalmente, el proyecto tiene siete años de horizonte y el periodo de recuperado es de 1,50 años. Es decir, al segundo año se generan ganancias.

4. CONCLUSIONES

La implantación del servicio de congelamiento de conchas de abanico es viable comercialmente porque existe una demanda en crecimiento, ya que el consumo por los productos marinos está aumentando. Sin embargo, en ocasiones puede verse alterada por factores externos como el fenómeno El Niño o la aparición de bacterias que afecten la producción y conlleve a una caída de las exportaciones. Sin embargo, el proyecto es rentable al tener un VAN positivo, una tasa interna de retorno mayor al costo de oportunidad y un beneficio costo mayor a 1.

También es viable técnicamente, porque existe la tecnología de congelamiento rápido (IQF) con nitrógeno que permite a los productores cumplir con los estándares al momento de exportar los productos congelados y la facilidad de obtener nitrógeno a través del ambiente, gracias a la planta que permite que el servicio funcione de manera continua y segura. Es decir, el riesgo de que se detenga la atención por ausencia de nitrógeno o accidentes es poco probable.

REFERENCIAS

Air Products (8 de junio del 2016). *Cryogenic vs Mechanical Food Freezing* [video]. YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=AHV6SuRhtY8&t=33s>

Alibaba (2020). *Cryo Chains: 50L/hour Automatic Liquid nitrogen generator LN2 production machine for food processing plant*. Recuperado de https://cryochains.en.alibaba.com/product/62322605467-818294438/50L_hour_Automatic_Liquid_

nitrogen_generator_LN2_production_machine_for_food_processing_plant.html?spm=a2700.icbuShop.41413.11.588fa6fdxLLPdZ

- Ballesteros, L. (2013). Enfriamiento por aire forzado. *Mundo HVAC&R*, 8(98), 30-33. Recuperado de <https://www.mundohvacr.com.mx/2013/06/junio-2013/>
- Cerrada Martínez, P. (2017). *Diseño y análisis de una planta de separación de aire* [tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid, España]. Repositorio institucional de la Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <http://oa.upm.es/48874/>
- Decreto Supremo n.º 004 (2018). Modificación del artículo 14 de la Norma Sanitaria de Moluscos Bivalvos Vivos. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/produce/normas-legales/191190-004-2018-produce>
- DecretoSupremon.º07(2004).NormaSanitariadeMoluscosBivalvosVivos.Recuperadode http://www.sanipes.gob.pe/normativas/6_DECRETOSUPREMO007-2004-PRODUCE.pdf
- Guevara Salgado, A. W. (2015). *Desarrollo de un plan de seguridad y salud ocupacional para mantener controlada la fuga de amoníaco y la aplicación de plan de emergencia y contingencia en caso de fugas de amoníaco en empresa empacadora de camarón* [tesis para obtener el título de magíster en Seguridad, Higiene Industrial Salud Ocupacional, Universidad de Guayaquil, Ecuador]. Repositorio institucional de la Universidad de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20993>
- Hernández Torres, G.A. (2016). *El ozono: Impacto del adelgazamiento de la capa de ozono en el territorio antártico* [monografía para obtener el diplomado en Asuntos Antárticos, Universidad de Magallanes, Chile]. Repositorio institucional de la Universidad de Magallanes, Convenio de Desempeño "Gaia Antártica: Conocimiento y Cultura Antártica".
- Las conchas de abanico, las pepitas de oro del mar peruano (21 de diciembre del 2018). *Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/conchas-abanico-pepitas-oro-mar-peruano-253564-noticia/?ref=gesr>
- Loaiza, K.; Erazo, S. y Velez, C. (2016). Congelación de arveja empleando un sistema de congelación individual, IQF/Freezing peas using an individual freezing system, *IQF. Vitae*, 23(1), 330-334. Recuperado de <https://search.proquest.com/openview/ff47819597fb991d3b016a33322121d4/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1806352>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2018). *Visión general del sector acuícola nacional*. Recuperado de http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_peru/es

- Rodríguez Martínez, V.; Cerón Carrillo, T. G. y Vázquez, A. M. (2007). Descripción y aplicaciones de equipos de congelación para la industria de alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de alimentos*, 1(1), 97-107. Recuperado de <https://tsia.udlap.mx/tsia-vol-1-no-1-ago-dic-2007/>
- Umaña Cerros, E. (2016). *Congelación de alimentos por frío*, 27-28. Recuperado de <https://es.slideshare.net/FUSADESORG/conservacion-af-1>
- Unión Industrial Bahía Blanca (2017). Acuicultura: actualidad, tendencias y proyecciones. *Tiempo Industrial*, 101-103.
- World Bank (2013). *Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture*, 44-45. Recuperado de <http://documents.worldbank.org/curated/en/458631468152376668/Fish-to-2030-prospects-for-fisheries-and-aquaculture>

BIBLIOGRAFÍA

- Acedo, J. D. y Flores, J. (2015). Efecto de la temperatura en respuestas fisiológicas de la concha de abanico *Argopecten purpuratus*. *Revista Peruana de Biología*, 22(3), 329-334. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v22i3.11439>.
- Air Products (1 de febrero del 2016). ¿Cómo funciona la congelación criogénica y la congelación superficial de productos IQF? (congelación individual rápida) [video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=kSBlppiLE6U>
- Air Products (5 de noviembre del 2015). ¿Por qué congelar con nitrógeno líquido? [video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=1hj4nzfL8YM>
- García, R., Pinto, A., Rengel, J., Torres, J., González, J. y Pérez, N. (2017). Diseño de una estrategia de control difuso aplicada al proceso de ultra congelación de alimentos/ Design of fuzzy control strategy applied to food process deep freeze. *Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería*, 25(1), 70-84. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v25n1/0718-3305-ingeniare-25-01-00070.pdf>
- Morales Landeo, R. (1986). *Cálculo y diseño de un equipo experimental para la congelación de alimentos mediante nitrógeno líquido* [tesis para optar el título profesional de ingeniero mecánico, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2803>
- Morán Gálvez, M. y Carlos Cuadros, A.E. (2019). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de nitrógeno para el servicio de congelamiento IQF para conchas de abanico*. [tesis para optar el título de ingeniero industrial, Universidad de Lima, Perú]. Repositorio institucional de la Universidad de Lima.

Recuperado de http://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/9619/Moran_Galvez_Marcelo_Andre.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Rudolph Delgado, F. (1989). *Análisis tecnológico del congelamiento con nitrógeno de productos marinos de consumo humano* [tesis para optar el título profesional de ingeniero industrial, Universidad de Lima, Perú]. Repositorio institucional de la Universidad de Lima. Recuperado de http://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/9619/Moran_Galvez_Marcelo_Andre.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Sánchez Cuéllar, L. (2017). *Análisis de la cadena de valor de la concha de abanico en la Bahía de Sechura* [tesis para optar el título de ingeniero pesquero, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria. La Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3273/sanchez-cuellar-luis-alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sanipes (2015). *Plantas de procesamiento primario de moluscos bivalvos habilitadas, 2017*, de SANIPES. Recuperado de <http://www.sanipes.gob.pe/frontend/plantasbivalvos.php>

METODOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA DE PROCESOS UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE INNOVACIÓN

JACQUELINE LIZARBE¹

<https://orcid.org/0000-0002-4213-5267>

MARÍA CLAUDIA AGUILAR²

<https://orcid.org/0000-0002-8765-2647>

Universidad de Lima, Perú

Recibido: 10 de septiembre del 2019 / Aprobado: 13 de agosto del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4920>

RESUMEN: El artículo describe una técnica que utiliza herramientas de innovación para la mejora de procesos con el fin de proporcionar nuevas y mejores formas de aplicar metodologías que actualmente son utilizadas en las empresas, tales como PDCA, Six Sigma, *kaizen* y *jidoka*, entre otras. Para ello, se utilizarán herramientas que involucren a los colaboradores de las organizaciones en los procesos que no estén alcanzando los objetivos estratégicos. Esta metodología consta de seis pasos: los tres primeros están enfocados en la definición, medición y análisis del problema; los tres siguientes son el diseño, las pruebas, y la implementación y control de la solución. Esta herramienta busca que la empresa obtenga resultados disruptivos durante el proceso de análisis e implementación de mejoras, resultante de la aplicación de la metodología descrita en el presente artículo. Mediante el método del caso, se aplica la propuesta a un caso real y se validan los resultados obtenidos de la aplicación.

Palabras clave: Modelo de Procesos de Negocio (BPM) / rediseño / mejora continua / estrategia / innovación

* Correos electrónicos: 1 lizarbe@gmail.com, 2 Maguilar@ulima.edu.pe

A METHODOLOGY FOR PROCESS IMPROVEMENT USING INNOVATION TOOLS

ABSTRACT: This article describes a technique that uses innovation tools for process improvement aimed at providing new and better ways to apply methodologies, such as PDCA, Six Sigma, *kaizen* and *jidoka*, among others, that are currently used in companies. To this end, tools that involve employees of companies whose processes are not reaching the strategic objectives will be used. This methodology consists of six steps: the first three are focused on the definition, measurement and analysis of the problem, while the next three address the design, tests, and implementation and control of the solution. This tool seeks breakthrough results for companies during the process of analysis and implementation of improvements that result from applying the methodology described herein. Using the case method, the proposed methodology is applied to a real case and its results are validated.

Keywords: Business Process Modeling (BPM) / redesign / continuous improvement / strategy / innovation

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Espinoza de Los Monteros (2014), las organizaciones cada vez están más preocupadas por gestionar sus procesos y buscar nuevas formas de mejorarlos, y el Perú no es la excepción. Sin embargo, actualmente las compañías continúan utilizando herramientas y metodologías convencionales para el rediseño o mejora de procesos, tales como Six Sigma, Business Process Management (BPM) y el ciclo PDCA, entre otras. Si bien son metodologías probadas y con las cuales podemos obtener resultados que mejoren los procesos de las organizaciones, estos resultados tienen poca diferenciación frente a las mejoras realizadas en el pasado, pues no permiten la generación de mejoras disruptivas que agreguen valor a los procesos, productos y servicios debido a que no consideran un factor clave: qué realmente quiere el cliente y qué es lo que está dispuesto a pagar. El propósito de este artículo es brindar herramientas que permitan la identificación de problemas y soluciones ante los procesos de la organización que requieran ser mejorados disruptivamente, incrementando su desempeño de manera mucho más eficiente, y con estas mejoras lograr que sus clientes se sientan escuchados.

Según Ospina, el proceso consiste en “la revisión fundamental y el rediseño radical de los procesos para alcanzar mejoras espectaculares en medidas críticas y contemporáneas de rendimiento, tales como costes, calidad, servicio y rapidez” (2006, p. 34). Lo que se busca es mejorar el rendimiento de los procesos mediante la reducción de los costos o el incremento en las ventas por medio de la satisfacción de los clientes o la reducción de los tiempos de operación para la salida al mercado, entre otros aspectos que lleven la compañía a otro nivel. Sin embargo, el no conocer herramientas adecuadas que incorporen técnicas innovadoras que cuestionen lo que el cliente (tanto interno como externo) necesita, quiere y valora, y el no aplicarlas correctamente, puede llevar al fracaso de los objetivos planteados. El problema hoy en las organizaciones es cómo ser más rentables sin dejar de satisfacer las necesidades de sus clientes: “Las empresas específicamente tienen el reto de ser rentables y competitivas en este entorno caótico, donde los clientes cada vez exigen más por su dinero y tienen diversidad de opciones para cubrir sus necesidades en un mundo globalizado” (Carballo-Mendivil, Arellano-Gonzales y Ríos-Vásquez, 2018, p. 63).

Entonces, ¿es posible que las organizaciones tengan resultados disruptivos en el desarrollo de proyectos de mejora de procesos haciendo uso de las herramientas adecuadas? El presente estudio se basará en la experiencia obtenida en la empresa peruana, utilizando herramientas de innovación que permiten diagnosticar problemas en los procesos de las organizaciones y proponer soluciones y mejoras disruptivas que contribuyan a alcanzar los objetivos. Para ello, se va a presentar un modelo teórico con aplicación en un caso real de la industria agroindustrial. Tal como mencionan los autores Serrano Gómez y Ortiz Pimiento (2012), “mejoramiento es adelantar, acrecentar algo,

haciéndolo pasar a un estado mejor”. También se trata de un conjunto de acciones que tiene la finalidad de aumentar la rentabilidad de la organización, mejorando aspectos tales como la calidad, el servicio, los tiempos de respuesta, los costos, etcétera.

Por otro lado, el uso de herramientas de innovación para los procesos de las organizaciones debe ofrecer respuesta a la impredecibilidad de los mercados actuales, así como a las oportunidades que surgen. El mundo de hoy ha cambiado: ahora ya no es predecible y exige cambios constantes en los procesos, servicios y productos que se ofrecen (Robayo Acuña, 2016). El método propuesto tiene las siguientes fases: diagnóstico de los procesos, identificación de posibles oportunidades de mejora, búsqueda de problemas y oportunidades de mejora, ideación de las mejoras, y finalmente, prototipado o prueba de las soluciones propuestas.

Para el diagnóstico de los procesos, dentro de una organización existen algunas técnicas de recolección de información. Uno de los objetivos es mostrar elementos que resulten útiles para las diferentes etapas en la mejora de procesos; por ejemplo, durante las reuniones iniciales de relevamiento de procesos con el personal involucrado en el desarrollo de las actividades, se requiere utilizar una herramienta práctica, ágil y completa que facilite la explicación del proceso de inicio a fin, considerando que se debe mencionar las actividades, los responsables, los recursos necesarios en cada proceso (información, tecnología, personal involucrado maquinaria, etcétera), y la frecuencia. Existen buenas herramientas y gráficas que cumplen con las características mencionadas, tales como el diagrama SIPOC, el diagrama de flujo o el diagrama de recorrido, para mostrar gráficamente el proceso que se está evaluando.

El diagrama SIPOC, por sus siglas en inglés, significa *Suppliers, Input, Process (Actividades), Output y Customer*. Según Gueorguiev (2018), describe a un nivel muy profundo el desarrollo de un proceso, identificando a las personas dentro y fuera de la organización que proveen las entradas en cada parte del proceso, los recursos utilizados, el paso a paso de las actividades que se realizan, los resultados producto de la transformación de cada uno de los recursos que ingresaron al sistema, y finalmente, el cliente interno o externo, aquel que recibe los productos o servicios resultantes de cada parte del proceso. Por ello es uno de los diagramas más usados por las consultoras que trabajan en mejora de procesos. Otro objetivo de la investigación es proporcionar las herramientas adecuadas para que el equipo encargado de la mejora pueda proponer soluciones que hagan procesos más eficientes, basadas en reducir tiempo en las actividades, reducir costos y mejorar la calidad de los productos o servicios, lo que se traduce en un incremento de la productividad.

El flujo que describe el proceso actual (*As Is*) y el futuro (*To Be*) muestra el trabajo realizado para la identificación de mejoras, las cuales son evaluadas con la finalidad de medir el impacto generado sobre el costo que implica realizar los cambios. Estos

flujos pueden ser diagramados utilizando diversas metodologías, tales como diagrama de bloques, diagrama de Operaciones de Procesos (DOP), diagrama de Business Process Management (BPM) o un diagrama de Actividades de Proceso (DAP). Estos diagramas muestran de inicio a fin cómo funcionan los procesos en la organización. El diagrama de bloques, el DOP y el BPM incluyen principalmente actividades de operación, actividades de control y toma de decisiones. Uno de los *softwares* más utilizados para el modelamiento de procesos es Bizagi, sistema que utiliza la metodología BPM para diagramar procesos.

Con el objetivo de mejorar los procesos que se evalúan en las organizaciones y llevar un flujo *As Is* a una versión *To Be*, se requiere identificar los puntos de atención o problemas detectados en los procesos actuales para ser analizados con herramientas estadísticas sobre datos históricos que contengan volumen, frecuencia de las transacciones, periodicidad y costos o ingresos, según el tipo de información que es preciso analizar. Esta información se debe comparar con el resultado del mismo análisis realizado a la propuesta de mejora, con la finalidad de decidir si es la solución correcta para el problema y la organización debe invertir en ella.

Para implementar una propuesta de mejora en el proceso y con las personas que son parte de él, es necesario probarla y verificarla entre dos a cuatro meses, dependiendo de la naturaleza del cambio; si no hay resultados, se consideran opciones que funcionen mejor o, de ser necesario, se desarrollará nuevamente todo el proceso de mejora desde el diagnóstico hasta la implementación de la nueva solución. Los consultores en mejora o rediseño de procesos creen conveniente esperar dos meses con la mejora en funcionamiento en condiciones estándar para comprobar su adecuada implementación.

Las herramientas que se busca proponer en la presente investigación están orientadas a la mejora de procesos de forma radical en empresas de manufactura o de servicios que tengan procesos que agreguen valor al consumidor final, tales como procesos de producción, de atención al cliente, de ejecución de un servicio, de comercialización y ventas, entre otros. Según Harrington (1992), agregar valor es aquello que el cliente pagaría con gusto y que brinda una ventaja competitiva a la organización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se presenta una herramienta propuesta para realizar proyectos de mejora de procesos en organizaciones industriales y de servicios que busquen obtener soluciones disruptivas e incrementales. La presente herramienta consta de seis pasos para la mejora de procesos, que incluyen metodologías de innovación para la obtención de resultados disruptivos.

Primer paso. Identificación del o los procesos a innovar

Se realiza un taller de identificación de los objetivos que se pretende conseguir. Dentro de este taller se deben determinar aquellos que no están siendo alcanzados por problemas en los procesos. Los procesos a mejorar que se identifiquen deben ser priorizados en función de los objetivos estratégicos de la organización, y con ello empieza el trabajo de innovación. El taller se realiza con el modelo Canvas, que permite tener una idea clara del negocio, sus procesos clave y a dónde se quiere llegar. Los colaboradores que forman parte del taller deben tener conocimiento de la estrategia y la visión del negocio. Los resultados del taller deben identificar los procesos en los que hay que trabajar para encontrar una solución o generar una mejora que impacte en el beneficio de la organización, sus clientes y sus colaboradores.

Segundo paso. Identificación de oportunidades de mejora - usuarios del proceso

Conformar equipos de doce a quince colaboradores de diferentes áreas de la organización, aun cuando no tengan ninguna relación con el proceso seleccionado. En la primera sesión del equipo, se aplicará la metodología del Brown Paper, utilizada en consultoras del mundo tales como Synergos y BDO. Esta herramienta servirá para describir los procesos seleccionados y que todo el equipo tenga una clara comprensión de las actividades que se realizan, cómo se realizan y dónde está el “dolor” en el proceso, es decir, que se puedan identificar aquellas oportunidades de mejora que deberán ser los puntos clave en donde se buscará la innovación. Como indica Harrington (1992), se debe obtener el conocimiento del proceso a partir de las actividades que la conforman, elaborando un diagrama de flujo preliminar que permita esquematizar el proceso para su fácil comprensión.

Tercer paso. Definición del problema - cliente (interno y externo)

En esta etapa se aplica el modelo de empatía explicado en el texto *Generación de modelos de negocio* (Osterwalder y Pigneur, 2011). Para lograr el entendimiento de los problemas y “dolores” dentro del proceso evaluado, debemos preguntar “por qué” tantas veces como sea necesario, hasta encontrar los problemas reales en una reunión de empatía con los clientes. Al finalizar, la información recopilada de los clientes debe ser llevada a un taller para definir el problema, utilizando el mapa de empatía en donde se realizan preguntas tales como:

1. ¿Qué piensa y siente el observado?
2. ¿Qué oye el observado?
3. ¿Qué ve el observado?
4. ¿Qué dice y hace el observado en la reunión?

5. ¿Cuáles son los miedos, frustraciones y obstáculos que tiene nuestro observado?
6. ¿Cuáles son los deseos, necesidades y medidas de éxito de nuestro observado?

La metodología ISO 9004 y Harrington proponen que es indispensable la identificación de las causas de los problemas en los procesos con la finalidad de tener un diagnóstico; por ello, las entrevistas a los clientes internos y externos involucrados en el proceso se convierten en la fuente principal para obtener las causas raíces de los problemas que se detecten.

Cuarto paso. Ideando la solución

En un taller de empatía se debe aplicar la metodología de Scamper, que consiste en definir una lista de siete preguntas con el objetivo de estimular la generación de ideas con respecto al proceso seleccionado (Tarapuez y Lima, 2013).

1. ¿Qué podemos sustituir dentro del proceso para solucionar los problemas o dolores encontrados en la etapa de empatía?
2. ¿Qué actividades o recursos podemos combinar para obtener un mejor resultado?
3. ¿Es posible adaptar algo a una parte del proceso?
4. ¿Es posible modificar una actividad?
5. ¿Es posible dar otro uso a un recurso o activo dentro del proceso?
6. ¿Es factible eliminar una actividad, función o recurso?
7. ¿Es factible reordenar o invertir las actividades del proceso?

Dentro del mismo taller se puede también utilizar la técnica de evaluación de cuatro frentes: paradigmas, necesidades del cliente o usuario, tendencias y recursos del interior de la empresa o de terceros. Los paradigmas buscarán encontrar aquellas situaciones o reglas que se asumen como la única forma de realizar las actividades que debemos validar, modificar o eliminar.

Gracias al taller de empatía, se toman las necesidades de los clientes o usuarios con la finalidad de resolverlas e idear oportunidades de mejora. Cada idea propuesta debe ser descrita considerando dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Qué es? ¿Qué necesidad cubre? ¿Para quién es? ¿Quién debe realizarlo? ¿Cómo resolverá el problema?

Según el libro *Generación de modelos de negocio*, de Osterwalder y Pigneur (2011), el proceso de ideación consiste en desafiar las normas para diseñar modelos originales que satisfagan las necesidades desatendidas, nuevas u ocultas de los clientes. En esta etapa surge diversidad de ideas, las cuales finalmente convergen en una propuesta de solución adecuada para los problemas detectados.

Quinto paso. Prototipar la propuesta de solución

Este paso comienza con la creación de un prototipo, para luego realizar pruebas con usuarios o clientes externos del proceso. Si se trata de un cambio de sistema, se puede plantear un esquema manual que muestre cómo funciona. Si se trata de un servicio, se pueden esquematizar los cambios en el servicio de forma gráfica para explicar su funcionamiento. Luego se invita a los clientes, como participantes, para que estos interactúen con los prototipos sin que los responsables de la solución intervengan. Luego se preguntará si se entienden los cambios propuestos, si es lo que realmente estaban buscando y si satisfacen sus expectativas o se deben hacer modificaciones. Si existen modificaciones, estas se realizan y se vuelven a presentar hasta que se llegue a la conformidad de los usuarios. Como mencionan Osterwalder y Pigneur (2011), no se trata de desarrollar ideas que se pretenda realizar sino de explorar ideas nuevas mediante la adición o eliminación de elementos al prototipo que se está testeando ante los clientes internos y externos.

Sexto paso. Implementación de la solución

Si el prototipo ya probado se ajusta a lo esperado y responde a los problemas de los clientes, entonces es el momento de implementar la solución creada. La implementación requiere la modificación de los documentos actuales, tales como procedimientos, funciones, políticas, protocolos, manuales e instructivos, entre otros, y la capacitación de los usuarios involucrados en las modificaciones realizadas. Asimismo, para asegurar el cambio se deberá monitorear que los nuevos procesos estén funcionando en el periodo de dos a cuatro meses que puede durar la estabilización de las nuevas actividades o que permita ajustar el desempeño del proceso con las mejoras aplicadas. Todos los cambios propuestos y aprobados deben estar documentados, de tal forma que puedan ser conocidos por todos los involucrados para que los nuevos usuarios puedan acceder al material y así comprender el funcionamiento del proceso mejorado. Tal como indican Pérez Ortega y Soto Camargo (2005) sobre el seguimiento a las mejoras realizadas, se deben medir mediante indicadores de eficiencia, efectividad y encuestas de satisfacción, entre otros.

El programa de capacitación al personal involucrado debe incluir dinámicas y talleres para que pueda ser fácilmente aprendido y adoptado por todos. En general, todas las metodologías enfocadas en la mejora continua siguen una misma línea para la realización de la mejora de los procesos. Por ejemplo, la metodología de análisis y solución de problemas (MASP) es un proceso que consta de ocho etapas que consiste en la identificación de los problemas y la propuesta de mejoras preventivas y correctivas; sin embargo, la metodología presentada en este artículo pretende ir más allá y se enfoca en descubrir las necesidades insatisfechas de los clientes internos y externos para que la propuesta de solución consiga superar las expectativas del cliente. En la tabla 1 se

muestran las diferencias entre la metodología propuesta y la metodología clásica PDCA de la mejora continua.

Tabla 1
Diferencia entre la metodología propuesta y la metodología clásica PDCA (mejora continua)

Metodología propuesta	Metodología PDCA
Consta de cuatro etapas marcadas: diagnóstico de la situación actual, análisis de la situación actual, diseño de la o las posibles soluciones e implementación de las soluciones aprobadas.	Consta de cuatro etapas: planificar los objetivos del trabajo de mejora, hacer lo que se ha planeado, verificar lo que se ha realizado y la etapa de actuar, donde se corrigen errores.
El diagnóstico incluye el trazado de objetivos que se deben cumplir en el rediseño de los procesos de la organización y su alineación con la estrategia del negocio.	Se definen objetivos para la mejora, pero no están necesariamente relacionados con la estrategia del negocio.
La búsqueda de oportunidades de mejora y la detección de problemas se preocupa por involucrar a colaboradores, involucrados o no en el proceso, que puedan tener diferentes perspectivas sobre él y sobre todo que tengan las habilidades de creatividad necesarias para participar en el proceso.	La detección del problema y de las oportunidades de mejora involucra solo al personal que está directamente relacionado con la ejecución de los procesos, sin considerar colaboradores externos que puedan aportar.
La metodología propuesta involucra también a los clientes externos para la detección de necesidades y requerimientos no cubiertas y la problemática que pudieran presentar.	No involucra al cliente externo en el proceso de mejora.
Utiliza herramientas específicas para la detección de las necesidades, requerimientos y problemas de los clientes internos y externos.	No se utilizan herramientas específicas para captar las necesidades, requerimientos y problemática de los clientes.
El diseño de la solución involucra el desarrollo de prototipos que testeen con el cliente interno y externo el cumplimiento de sus necesidades y requerimientos, así como la solución a sus problemas.	No se realizan prototipos.
Los prototipos realizados son a pequeña escala, incluso a manera de maqueta en primera instancia, para evitar gastos innecesarios antes de las validaciones con los clientes. A partir del primer prototipo realizado se va construyendo la solución final.	Al no haber prototipos luego de la implementación a pequeña o gran escala, se verifican los resultados y se corrige. Las correcciones que resulten pueden ser muy costosas.

Elaboración propia

3. RESULTADOS

Para la realización de la mejora de procesos se utilizaron datos proporcionados por la organización, tales como objetivos de la empresa, metas, indicadores y resultados

obtenidos, mapa de procesos, datos de producción y de ventas relevantes para la identificación de las oportunidades de mejora y análisis de las propuestas de solución. A continuación, se presenta una aplicación práctica de los pasos de la metodología.

CASO: Empresa agroindustrial

PROCESO: Proceso de siembra y cosecha de arándanos

Paso 1. Identificación del o los procesos a innovar

El punto inicial es comprender el modelo de negocio de la empresa y sus lineamientos estratégicos, y a su vez, identificar aquellos objetivos que no se está logrando cumplir a causa de procesos obsoletos o mal definidos por los líderes del negocio. En la tabla 2 se muestran los objetivos de la organización evaluada conforme a su plan estratégico.

Tabla 2
Objetivos estratégicos de la empresa

Frentes	Objetivos
Financiero	Lograr una rentabilidad del 13 % en la colocación de arándanos en el mercado norteamericano.
Procesos	Aumentar la producción de arándanos de primera calidad en un 9 %.
Cliente	Incrementar la fidelidad de nuestros clientes del exterior del país.
Aprendizaje	Capacitar en nuevas técnicas de siembra y cuidado de los cultivos de arándanos a nuestros operarios de campo.

Elaboración propia

Los objetivos estratégicos de la organización deben ser validados con los resultados obtenidos en los últimos dos años para identificar cuáles requieren ser revisados y mejorados. En la tabla 3 se muestra el modelo Canvas de la organización, donde en un solo esquema se puede observar la razón de ser de la empresa, su propuesta de valor y la forma en que puede hacer entrega de esta a sus clientes.

Tabla 3
Modelo de negocio Canvas de la agroindustria

Socios clave	Actividades clave	Propuesta de valor	Relación con el cliente	Segmento de cliente
Naviera Operarios	Logística	Producto con alta calidad de la fruta	Redes sociales corporativas	EE. UU. Asia Europa Nacional
	Siembra		Correo corporativo	
	Cosecha		Servicio de <i>tracking</i> de pedidos	
	Reclutamiento	Cumplimiento de estándares	Canales	
	Recursos clave	Certificación ISO, HACCP y Comercio Seguro	Vía aérea	
	Colaboradores		Vía marítima	
	Maquinaria			
Insumos de cultivo				
Costos clave			Ingresos clave	
Horas máquina			Venta de fruta en el país	
Horas hombre			Venta de fruta al exterior	
Transporte				

Elaboración propia

Para la realización del Canvas se proporcionan valores como: proporción por tipo de segmento de cliente, nivel de satisfacción por cada segmento de cliente, valor en venta por producto, valor de los costos y gastos más importantes de la empresa.

Conforme a los resultados proporcionados por la organización, donde la producción de arándanos de primera calidad solo ha aumentado en un 5 % con respecto al año anterior, se infiere claramente que el objetivo que la empresa no ha alcanzado es el de procesos, ya que no ha logrado aumentar la producción de arándanos de primera calidad en un 9 %. Por ello, se seleccionó como proceso a mejorar la siembra y cosecha de arándanos.

Paso 2. Identificación de oportunidades de mejora - usuarios del proceso

En esta etapa se realizó un taller seleccionando el equipo de innovación ideal para realizar el flujo de procesos utilizando la herramienta *Brown Paper*, diagramando la forma actual como se realizan los procesos de siembra y de cosecha de los arándanos.

En la figura 1 se muestra el flujo de siembra y cosecha de arándanos con la identificación de oportunidades de mejora.

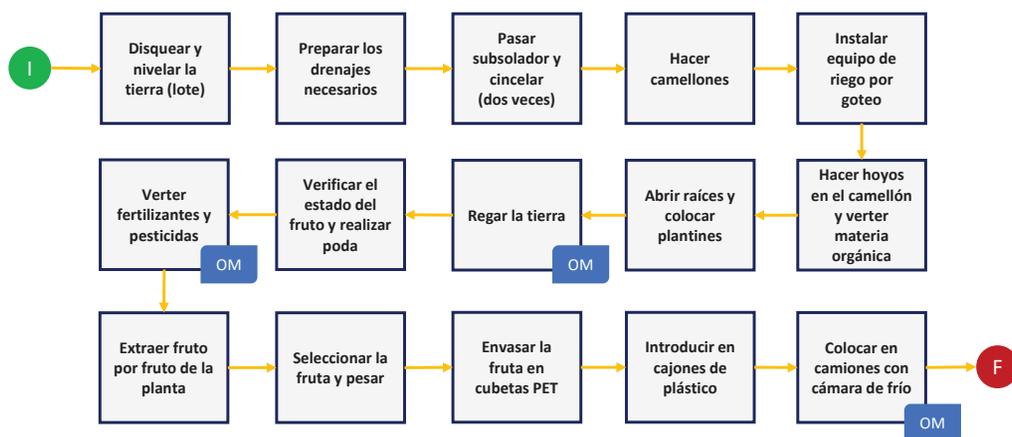


Figura 1. Proceso de siembra y cosecha de arándanos

Elaboración propia

En el flujo se han identificado las oportunidades de mejora (OM) detectadas con *post-its* de color celeste.

Las oportunidades de mejora más importantes encontradas son:

- No es posible predecir con certeza el consumo de fertilizantes y pesticidas en las parcelas al no contar con información histórica de la utilización de estos recursos y de las enfermedades de esta planta durante su cultivo.
- Es difícil conocer el consumo de metros cúbicos de agua para una parcela de arándanos, ya que no se cuenta con información histórica confiable y real para pronosticar la aplicación de este recurso en forma adecuada.
- Se tiene dificultad en coordinar la logística adecuada para la cosecha, pues no es fácil de pronosticar la cantidad de arándano que resultará de los campos.

Paso 3. Definición del problema - clientes (interno y externo)

En este paso se debe primero identificar quién es el cliente principal del flujo de siembra y cosecha de arándanos y el objetivo que se está por alcanzar: aumentar en 9 % la producción de arándanos de primera calidad. Los clientes más importantes de este flujo son:

- Los cosechadores, quienes retiran todos los frutos que han sido cultivados y sembrados.
- Los clientes finales, quienes adquieren los arándanos de la empresa.

Con estos clientes internos y externos se realiza el taller de empatía, y este deberá ser por separado. No es necesario contestar todas las preguntas, pero sí debemos entender qué siente el observado, cuáles son sus preocupaciones y qué es lo que le gustaría mejorar o cambiar.

Para que sea exitoso, el taller debe utilizar el formato que se muestra en la figura 2, lo que permitirá que todos los participantes del taller, tanto los encargados como los clientes, estén alineados con las preguntas que se deben realizar y con las respuestas que se desea obtener.



Figura 2. Mapa de empatía

Fuente: Osterwalder y Pigneur (2011)

Cientes internos/cosechadores

1. ¿Qué piensan y sienten con respecto al proceso de siembra y cosecha de arándanos?

Objetivo. Detallar lo que les importa realmente a los cosechadores con respecto al proceso interno o servicio que se les ofrece: sus preocupaciones, inquietudes y aspiraciones.

- Los cosechadores estarían gustosos de conocer la cantidad precisa de fertilizantes y pesticidas a utilizar en los campos, de tal manera de conservar la mejor calidad posible de los arándanos hasta la cosecha.

- Muestran su preocupación por la calidad del arándano que deben retirar de los campos, ya que de eso depende en gran parte la calidad del producto final.
- Están preocupados por tener una herramienta que agilice el proceso de registro de las cantidades cosechadas de arándano de las distintas calidades.

2. ¿Qué oyen respecto del proceso de siembra y cosecha de arándanos?

Objetivo. Reconocer quiénes son las personas que tienen poder en la decisión y el actuar de los cosechadores, y qué dicen acerca de los procesos internos o del servicio que se les ofrece. Se debe saber qué escuchan los cosechadores de sus amigos, compañeros de trabajo u otros usuarios del proceso.

- El área de calidad de cultivos menciona que, al no tener datos históricos de las enfermedades que ocurren durante el tiempo de cultivo y las cantidades de fertilizantes y pesticidas utilizados para contrarrestar esta situación, no es posible predecir la cantidad más adecuada a verter en los campos para lograr obtener una mejora en la calidad del producto final.

3. ¿Cuáles son los miedos, frustraciones y obstáculos que tienen respecto del proceso de siembra y cosecha de arándanos?

Objetivo. Entender qué limita a los cosechadores de poder interactuar con el proceso o el servicio que se les ofrece, y saber qué obstáculos deben enfrentar para tener un buen resultado en el proceso evaluado o recibir un buen producto.

- Mantener y cuidar la calidad de los cultivos es lo más importante, pero no es sencillo, ya que no se cuenta con información histórica y pronósticos de cultivos anteriores que ayuden a predecir cómo actuar en el presente. Hasta cierto punto es frustrante trabajar a partir de supuestos, mas no de información real.
- Conforme pasan los días de cultivo y los días de cosecha van llegando, todas las herramientas de cosecha deben estar preparadas con anticipación para no tener ningún inconveniente, ya que la calidad del producto disminuye con el paso del tiempo.

4. ¿Cuáles son los deseos, necesidades y medidas de éxito con respecto al proceso de siembra y cosecha de arándanos?

Objetivo. Descubrir qué desean o necesitan los cosechadores para que el proceso evaluado mejore o para que el producto brindado cumpla sus expectativas. Se debe saber cuáles son las medidas que indican el éxito del proceso o del producto evaluado.

- Lo ideal es contar con información histórica de los cultivos y registrar de forma inmediata todas las variables de la siembra, cultivo y cosecha, tales como metros cúbicos de agua, litros de fertilizante, litros de pesticidas, tipos de fertilizantes y pesticidas utilizados y plagas ocurridas, entre otros. Esto permitirá invertir mejor en fertilizantes, pesticidas, etcétera.
- Además, se deberá contar con pronósticos más acertados que indiquen cuánta cantidad de arándano se cosechará, y con ello, poder definir la logística necesaria para el transporte y despacho.

Clientes externos / compradores

1. ¿Qué piensa y siente el observado con respecto al proceso de siembra y cosecha de arándanos?

Objetivo. Detallar lo que les importa realmente a los clientes o compradores con respecto al proceso interno o servicio al cliente que se les ofrece: sus preocupaciones, inquietudes y aspiraciones.

- Los clientes tienen cada vez más exigencias en cuanto a la calidad del arándano que quieren consumir. Entre las características pedidas están: producto fresco, dimensiones estándar y de buen color.
- En cuanto a la presentación, los clientes buscan cada vez más que la forma en la que se envasa el producto sea llamativa a la vista para un público internacional exigente.
- Los clientes están preocupados por adquirir arándanos con menor riesgo de daño en el consumo humano debido a pesticidas o fertilizantes utilizados en los cultivos.

2. ¿Qué oyen con respecto al proceso de siembra y cosecha de arándanos?

Objetivo. Reconocer quiénes son las personas que tienen poder en la decisión y el actuar de los clientes/compradores, y qué dicen acerca de los procesos internos o del producto que se les ofrece. Se debe saber qué escuchan los clientes o compradores sobre sus colaboradores, proveedores, competencia u otros usuarios del producto.

- El cliente está en constante comparación en cuanto a la compra de arándano en el mundo y cuenta con información disponible sobre la producción de estos cultivos en otros países, como Chile, México y Canadá.
- Se debe saber que el cliente puede comparar precios, calidades y presentación de los arándanos de cada país y empresa y está dispuesto a pagar un poco más por adquirir el mejor producto que cumpla con sus exigencias.

3. ¿Cuáles son los miedos, frustraciones y obstáculos que tiene el observado?

Objetivo. Entender qué limita a los clientes o compradores a poder interactuar con el proceso o el producto que se les ofrece, y conocer qué obstáculos se deben enfrentar para tener un buen resultado en el proceso evaluado o recibir un buen producto.

- La calidad del producto final es lo que el cliente considera más importante. La calidad no implica solo cómo se ve el fruto por fuera en cuanto a la presentación ofrecida, que de por sí ya es importante, sino sobre todo asegurar que el producto tenga las características y condiciones de salubridad requeridas para no afectar a los consumidores de mercados tan exigentes como los de Estados Unidos y Europa.

4. ¿Cuáles son los deseos, necesidades y medidas de éxito del observado?

Objetivo. Descubrir qué desean o necesitan los clientes o compradores que se cumpla, que el proceso evaluado mejore y el producto cumpla las expectativas. Se debe conocer cuáles son las medidas que indican el éxito del proceso o del producto evaluado.

- La empresa debe cubrir las necesidades esenciales de sus clientes: cumplir con la calidad del fruto, bajo contenido de fertilizantes y pesticidas, mantener las características organolépticas requeridas para el fruto (color, textura, sabor, olor) y cumplir con los tiempos de entrega.

Con todo ello, podemos indicar que el problema a resolver es mantener y mejorar la calidad del fruto para públicos tan exigentes como el de Estados Unidos y Europa, que son los principales compradores del arándano. Estas características son: organolépticas (color, textura, volumen, sabor y olor) y características de calidad del fruto para el consumo humano (menos pesticidas y fertilizantes sintéticos en el fruto).

Paso 4. Ideando la solución

En esta etapa se realizó el taller de cuatro frentes: paradigmas, recursos, tendencias y necesidades. A continuación, se presentan algunas de las ideas que surgieron en este taller:

1. Paradigmas:

- No es posible tener información histórica de la siembra, cultivo y cosecha.
- No es posible conocer cuántos litros de fertilizantes y pesticidas debemos verter exactamente en los campos.
- No es posible prevenir una plaga en los cultivos.
- No es posible disminuir el margen de error en la cosecha.

- No es posible mejorar la calidad de los cultivos.
2. Recursos:
- Personal de sistemas capacitado.
 - Personal en investigación y desarrollo especializado en pronóstico y cultivos.
 - Herramientas de automatización de cultivos en el mercado.
 - Capacidad de inversión.
3. Tendencias:
- Aplicaciones de registro automático desde los campos de cultivo.
 - Herramientas de *software* que ayudan con pronósticos.
4. Necesidades:

Mejorar la calidad de los productos que resultan de la cosecha.

Preparar con tiempo la logística necesaria para cada cosecha.

Prevenir las enfermedades en los campos para disminuir el uso de pesticidas.

Como producto final del taller, se debe crear la idea o las ideas de mejora al proceso que atienda las necesidades de los campos de cultivo y que mejore la calidad del producto final que es la mayor preocupación de la organización. Para la creación de las ideas de mejora se utiliza la estructura aprendida en esta etapa:

1. ¿Qué es?
- Es una aplicación que permite ingresar directamente del campo la cantidad de metros cúbicos de agua, fertilizantes y pesticidas vertidos en los campos.
 - Es un *software* que permite predecir la cantidad de arándanos a cosechar por cada cultivo.
 - Es un *software* que permite determinar si los cultivos tienen riesgo de contraer una enfermedad durante la etapa de cultivo.
2. ¿Qué necesidad cubre?
- Permite agilizar el proceso de registro de cada elemento que se vierte en los campos y colabora con la obtención de data histórica registrada en el sistema.
 - Se puede obtener un aproximado cercano de la cantidad de arándanos a cosechar por cada cultivo para poder coordinar mejor la logística necesaria.

- Es posible predecir si los campos obtendrán algún tipo de enfermedad que afecte a los cultivos, y con ello poder tomar con tiempo las decisiones respectivas.
3. ¿Para quién es?
- Para el personal de cultivo.
 - Para el personal de cosecha y logística.
 - Para el personal de sanidad y cultivo.
4. ¿Quién debe realizarlo?
- El personal de sistemas en conjunto con el personal de campo.
 - El personal de sistemas en conjunto con el personal de sanidad.
5. ¿Cómo resolverá el problema?
- Ayudará a tener la información registrada a tiempo, permitiendo contar con datos históricos y reales ingresada por el personal de campo de forma rápida y automática.
 - Permitirá estar preparados con la logística para la cosecha.
 - Permitirá predecir las enfermedades en los campos y estar preparados antes de que ocurran y mejorar así la calidad de los cultivos.

Paso 5. Prototipar la propuesta de solución

El equipo generador de ideas en esta etapa realiza un prototipo físico del *software* requerido que cumple con las funcionalidades mencionadas. El prototipo está listo para ser aprobado por todos los participantes del proceso, principalmente los clientes. En esta etapa el objetivo es la iteración. Si algo no funciona y debe ser modificado se modifica el prototipo y se vuelve a probar hasta obtener el prototipo final.

Paso 6. Implementación de la solución

Para poner en práctica este paso es necesario desarrollar el prototipo, probarlo, hacer las modificaciones correspondientes, ponerlo en marcha y monitorear uno o dos meses el funcionamiento del *software* desarrollado, así como proponer indicadores de medición que permitan evaluar el desempeño del proceso con el nuevo *software* implementado.

4. DISCUSIÓN

La metodología propuesta ha sido aplicada en los sectores de agroindustria, pesca y comercio minorista en un total de seis empresas, de las cuales se utilizó el trabajo realizado en una de ellas como caso para la presente investigación, obteniendo resultados

exitosos en cuanto a la mejora y rediseño de sus procesos y logrando el involucramiento de los colaboradores y clientes de la organización.

Las conclusiones más relevantes de la presente investigación son:

- La metodología y herramientas utilizadas por las empresas en la actualidad para la mejora de procesos se han visto modificadas por medio de herramientas de innovación que permiten el aporte y participación de los colaboradores y clientes de la empresa. Como indican Marin, Pardo del Val y Bonavia (2008), los grupos participantes deben pertenecer a diferentes áreas de la empresa, lo que permite compartir conocimientos y puntos de vista complementarios, así como también comprender el trabajo de otras secciones y aprender de las experiencias de los demás.
- Para iniciar una mejora de procesos, se debe analizar la estrategia del negocio y los objetivos que persiguen. Es muy importante conocer las metas planteadas de la organización y priorizar aquellas en la que no se está cumpliendo para detectar los procesos que no están contribuyendo a que se logre la meta.
- Con la finalidad de comprender el proceso que debe ser mejorado, la metodología incluye, como parte de la etapa de definición del problema, la realización de un diagrama de procesos que explique al detalle las actividades que permitan identificar las oportunidades de mejora que afectan a los clientes y colaboradores, y al logro del objetivo de la organización que no haya sido alcanzado.
- La diferencia principal entre una mejora de procesos solo usando herramientas disponibles por la empresa y una mejora de procesos con metodología de herramientas de innovación es que esta última está debidamente estructurada y considera las necesidades, frustraciones y preocupaciones de los clientes, ya sean internos o externos, que interactúan con el proceso que se va a mejorar.
- La tarea de identificar al o los clientes externos del proceso a mejorar tiene un significativo grado de dificultad, debido a que se debe considerar como tal a aquellos participantes que interactúan en el proceso, tales como receptores del resultado de la realización de las actividades del proceso.
- Los talleres de empatía como parte de la etapa de análisis del problema se realizan con los clientes del proceso buscando conocer cómo piensan, cómo se sienten durante el desarrollo del proceso, qué escuchan o ven de sus compañeros, quiénes tienen influencia en ellos y, finalmente, cuáles son sus frustraciones, necesidades y requerimientos.
- Todo lo que se pueda recopilar de los clientes contribuirá al desarrollo de las mejoras en los procesos evaluados y permitirá incrementar la satisfacción de los consumidores finales y clientes internos, según sea el caso.

- Para la generación de las propuestas de mejora como parte de la etapa de idea-ción o diseño de la solución, se debe lograr mantener abierta la mente del equipo de trabajo, utilizando herramientas rompehielos para que se desenvuelvan en el taller sin problema.
- El proceso de generación de ideas es como un embudo. Al inicio surgirá gran cantidad de ideas; ninguna debe ser desestimada. A lo largo de la discusión, y con herramientas como *Scamper* y *4 frentes*, se deberán ir aterrizando las ideas de mejora que se van obteniendo, para finalmente establecer aquellas que cobren mayor relevancia. Finalizado el proceso de generación de ideas, se inicia la etapa de pruebas, que implica realizar prototipos rápidos sobre las ideas que resultaron, las cuales deben ser aprobadas por los clientes del proceso identificado. En este proceso de iteración se debe captar todo aquello que implique mejorar o modificar el prototipo antes de poner en marcha la implementación real del o de las ideas que se están probando.
- Finalmente, todo proyecto de implementación debe culminar con una fase de seguimiento y control que implica el acompañamiento de aquellos que aplicarán la nueva forma de trabajo dentro del proceso y se podrá evaluar el desempeño de las mejoras con los clientes identificados durante la ejecución de la metodología.

REFERENCIAS

- Carballo-Mendivil, B.; Arellano-González, A. y Ríos-Vásquez N. J. (2018). La gestión de procesos esbeltos como principio de mejora. Un caso aplicado a una comercializadora. *3C empresa: investigación y pensamiento crítico*, 7(3), 60-81. doi: <http://dx.doi.org/10.177993/3cemp.2018.070335.60-81/>
- Espinoza de Los Monteros, A. (2014). *REATA: Reingeniería Estratégica de Alta Tecnología Aplicada*. México: Lagares de México.
- Gueorguiev, T. (2018). Improving the Internal Auditing Procedure by Using SIPOC Diagrams. *Journal of Innovations and Sustainability*, 4(2), 35-43.
- Harrington, H. (1992). *Mejoramiento de los procesos de la empresa*. Colombia: McGraw-Hill.
- Marin, J.; Pardo del Val, M. y Bonavia, T. (2008). La mejora continua como innovación incremental: el caso de una empresa industrial española. *Economía Industrial*, 368, 155-167.
- Ospina, O. (2006). *Reingeniería de procesos de negocio*. Colombia: Cuadernos Latino-americanos de Administración.

- Osterwalder, A. y Pigneur, Y. (2011). *Generación de modelos de negocio*. España: Deusto.
- Pérez Ortega, G. y Soto Camargo, A. M. (2005). Propuesta metodológica para el mejoramiento de procesos utilizando el enfoque Harrington y la Norma ISO 9004. *Revista Universidad EAFIT*, 41(139), 46-56.
- Robayo Acuña, P. (2016). La innovación como proceso y su gestión en la organización: una aplicación para el sector gráfico colombiano. *Suma de negocios*, 7(16), 125-140.
- Serrano Gómez, L. y Ortiz Pimiento, N. R. (2012). Una revisión de los modelos de mejoramiento de procesos con enfoque en el rediseño. *Estudios Gerenciales*, 28(125), 13-22.
- Tarapuez, E. y Lima, C. (2013). *Creatividad empresarial*. Bogotá: Ecoe.

BIBLIOGRAFÍA

- Bizagi (2019). *Presentation mode and Presentation actions*. Recuperado de https://help.bizagi.com/process-modeler/en/index.html?presentation_actions.htm
- Escobar, B. y Gonzáles, J. M. (2007). Reingeniería de procesos de negocio: análisis y discusión de factores críticos a través de un estudio de caso. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 16(3), 93-114. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/>
- Fernández Sánchez, E. (2005). Estrategia de innovación. *Revista de investigación en gestión de la innovación y tecnología*, 16, 141-142. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7054350>
- García Gómez, M. C. y Portocarrero, D. C. (2019). Metodologías y herramientas de calidad para el mejoramiento continuo de las organizaciones. *Universidad Santiago de Cali*, 1-13. Recuperado de <https://repository.usc.edu.co/bitstream/20.500.12421/1322/1/METODOLOG%C3%8DAS%20Y%20HERRAMIENTAS.pdf>
- Gavín, A. (2013). *Un caso clásico de innovación: el carro de la compra de IDEO. El Miracielos*. Recuperado de <https://www.elmiracielos.com/innovacion/un-caso-clasico-de-innovacion-el-carro-de-la-compra-de-ideo/>
- Gestión (2012). Es tiempo de cuestionar la estrategia de la mejora continua. *Gestión* (21 de mayo). Recuperado de <https://gestion.pe/impres/cuestionar-estrategia-mejora-continua-11324-noticia/>
- Gómez Fraile, F.; Vilar Barrio, J. F. y Tejero Monzón, M. (2002). *Seis Sigma* [segunda edición]. Madrid: Fundación Confemetal Editorial.
- Kanchev, A. (2018). Improving the Internal Auditing Procedure by Using SIPOC Diagrams. *Journal of Innovations and Sustainability*, 4(2), 35-43. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/326539623_Improving_the_Internal_Auditing_Procedure_by_Using_SIPOC_Diagrams

- Kleinsmann, M.; Valkenburg, R. y Sluijs, J. (2017). Capturing the Value of Design Thinking in Different Innovation Practices. *International Journal of Design*, 11(2), 25-40. Recuperado de <http://www.ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/2771>
- Lahajnar, S. y Rozanec, A. (2016). The Evaluation Framework for Business Process Management Methodologies. *Journal of Contemporary Management Issues*, 21(1), 47-69. Recuperado de https://moj.efst.hr/management/Vol21No1-2016/3-Lahajnar_Rozanec.pdf
- Macías Rodríguez, M. (2017). *El camino para innovar: cómo pasar de la idea al modelo de negocio creando valor para tus clientes*. Barcelona: Deusto.
- Medina León, A.; Nogueira Rivera, D.; Hernández Nariño, A. y Comas Rodríguez, R. (2019). Procedimiento para la gestión por procesos: métodos y herramientas de apoyo. *Ingeniare*, 27(2), 328-342. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000200328
- Nahabedian, L. (2017). *Dynamic Update of Business Process Management*. IEEE. International Conference on Software Engineering Companion (ICSE-C). Buenos Aires: IEEE.
- Pérez Fernández de Velasco, J. A. (2012). *Gestión por procesos* [quinta edición]. Madrid: Esic.
- Qualiex, Blog de la Calidad (13 de junio de 2018). *MASP (Método de análisis y solución de problemas)-parte 1*. Recuperado de <https://blogdelacalidad.com/>
- Razzouk, R. y Shute, V. (2012). What is Design Thinking and Why Is It Important? *Review of Educational Research*, 82(3), 330-348. doi: 10.3102/0034654312457429
- Rincón García, N.; Aguirre Mayorga, H. S. y Caballero Villalobos J. P. (2014). Business Process Management y Seis Sigma en el análisis de procesos: caso de estudio. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 19(67) 447-498. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29031856005>
- Sejzer, R. (2018). *SIPOC: Mapeo de Procesos de Alto Nivel. Ronín Consultoría*. Recuperado de <https://qualityway.wordpress.com/2018/08/23/sipoc-mapeo-de-procesos-de-alto-nivel-por-raul-sejzer/>
- Serrano, L. y Ortiz Pimiento, N. R. (2012). Una revisión de los modelos de mejoramiento de procesos con enfoque en el rediseño. *Estudios Gerenciales*, 28(125), 13-22. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/212/21226279002.pdf>
- Serrano Ortega, M. y Blázquez Ceballos, P. (2014). *Design Thinking* [segunda edición]. Madrid: Esic.

**PROYECTOS
EMPRESARIALES
INDUSTRIALES**

Industrial Business Projects

ELABORACIÓN DE FILETE SIN PIEL DE PAICHE (*ARAPAIMA GIGAS*, CUVIER 1829) AHUMADO A BAJA TEMPERATURA

DAVID JULIÁN ROLDÁN-ACERO
<https://orcid.org/0000-0002-2829-6873>

ANDRÉS AVELINO MOLLEDA-ORDÓÑEZ
<https://orcid.org/0000-0003-2732-0752>

DAVID LUJÁN-TANTARICO
<https://orcid.org/0000-0001-5077-2795>

JUAN RODOLFO OMOTE-SIBINA*
<https://orcid.org/0000-0003-1395-4973>

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

Recibido: 7 de agosto del 2020 / Aprobado: 19 de agosto del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4921>

RESUMEN: El objetivo del trabajo fue elaborar un filete sin piel de paiche ahumado a baja temperatura que cumpla con estándares de calidad, inocuidad y de aceptabilidad, en los aspectos físico-químico y microbiológico. Se siguió un proceso de recepción, lavado, fileteado y cortado, inmersión en salmuera, drenado, ahumado, enfriado, envasado, congelado y almacenado. Los resultados muestran un rendimiento del filete sin piel ahumado a baja temperatura con 75,10 % de humedad y 2,90 % de cloruros de 35,65 %. Presentó 20,0 % de proteína, 2,5 % de grasa y 2,4 % de cenizas. La energía total fue de 102,5 Kcal/100 g de muestra. Los resultados microbiológicos del filete ahumado se encontraron dentro de los límites que recomiendan las normas de calidad para estos productos y confirmaron las buenas condiciones sanitarias en su elaboración.

Palabras clave: ahumado en frío / paiche / salmuera

* Correo electrónico: romote@lamolina.edu.pe, droldan@lamolina.edu.pe, amolleda@lamolina.edu.pe, davidlujan29@gmail.com

PRODUCTION OF COLD-SMOKED SKINLESS PAICHE (*ARAPAIMA GIGAS*, CUVIER 1829) FILLETS

ABSTRACT: This work aimed to produce cold-smoked skinless *paiche* fillets that comply with the quality, safety and acceptability standards regarding physical, chemical and microbiological aspects. The production stages were reception, washing, slicing and cutting, brining, draining, smoking, chilling, packaging, freezing and storage. The results showed that cold-smoked skinless *paiche* fillets had 75.10% moisture and 35.65% of 2.90% sodium chloride. The fillets had 20.0% protein, 2.5% fat and 2.4% ash. The total energy per 100 g of fish was 102.5 kcal. The microbiological results of the cold-smoked fillets met the recommended quality standards for this type of product, and confirmed that good manufacturing practices were used during their production.

Keywords: cold-smoked / *paiche* / brine

1. INTRODUCCIÓN

El paiche (*Arapaima gigas*, Cuvier 1829) es un recurso pesquero tradicional y popular en la cuenca del río Amazonas. Es considerado uno de los peces de agua dulce más grandes del mundo: en su medio natural puede alcanzar hasta tres metros de longitud y 250 kg de peso. Es una especie importante para el poblador amazónico, ya que constituye una fuente de alimentación y contribuye con la generación de ingresos a través de la comercialización de sus productos.

Alcántara y otros (2006) reportan que, a través de diversos estudios efectuados durante los últimos cinco años, tanto en Brasil como en Perú, se ha demostrado que el paiche puede ser cultivado con dietas artificiales con altos niveles de proteína. Los indicadores del cultivo de paiche en estanques y en jaulas flotantes permiten avizorar posibilidades interesantes de desarrollo en la Amazonia peruana, tanto por la gran disponibilidad de ambientes acuáticos como por la versatilidad de alimentación de la especie.

Existen muchas cartas de intención de compra de filete de paiche, tanto de Europa como de los Estados Unidos. Ello es atribuido a la alta calidad de su carne, a la ausencia de espinas y huesos intermusculares, así como al alto contenido de Omega 3, 6 y 9. El paiche tiene una mayor preferencia en su presentación de filetes, muy similar al requerimiento del bacalao en el mercado internacional.

Según Friedrich (1989), el ahumado es un método de conservación que se utiliza para preservar productos como el pescado. El pescado ahumado está considerado un producto delicatessen por su aroma, sabor y color atractivo, para ser consumido en ocasiones especiales, o presentado como una alternativa en la dieta saludable cuando su contenido de sal es menor de 3 % (Vasiliadou, 2005).

Debido a su tamaño, textura y calidad de filete, el paiche es una materia prima óptima para la industrialización a través de procesos sostenibles y sustentables que permitan su uso integral y mayores dividendos para el sector acuícola del país. Ante ello, la investigación tuvo por finalidad obtener un proceso para la elaboración de filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura, que cumpla con las condiciones de calidad e inocuidad para alimentos de consumo humano directo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó paiche (*Arapaima gigas*) proporcionado por la empresa Silver Corporation S.A.C. ubicada en Satipo, Junín. Fue transportado en caja térmica con hielo a temperaturas < 5 °C y posteriormente fue almacenado en el Laboratorio de Procesos Pesqueros de la UNALM. Los insumos fueron: sal de mesa y azúcar. Como fuente de humo se utilizó aserrín de madera (tornillo) y coronta seca. Se utilizó un ahumador modelo canadiense, cerradora de bolsa al vacío, congeladora doméstica Electrolux, cronómetro Casio, termómetro digital de precisión Digitron.

Se registró la longitud total, longitud estándar y peso del paiche entero. La frescura del paiche fue evaluada sensorialmente utilizando la tabla de calidad de Wittfogel, adaptado a especies de agua dulce (Oliva, 2012). El análisis químico proximal de la materia prima y del filete sin piel cortado de paiche ahumado se realizaron utilizando los procedimientos reportados en AOAC (2012). La determinación de cloruros (NaCl) se realizó siguiendo el método NTP-ISO 1841-1:2006. Los ensayos microbiológicos del filete de paiche ahumado se realizaron según los procedimientos descritos por Ingram y otros (1983).

Las muestras experimentales fueron evaluadas sensorialmente mediante pruebas de preferencia utilizando un panel de veinte personas no entrenadas. Los formatos para la prueba de preferencia fueron elaborados según recomendación de Ureña y otros (1999) y los resultados se procesaron según el método estadístico de Friedman (Conover, 1980). El producto final fue evaluado sensorialmente utilizando un panel semientrenado de diez personas. Se utilizó el método no paramétrico de la prueba de Friedman con un nivel de significancia del 5 %. Los resultados obtenidos fueron procesados con el programa estadístico Minitab 17.

El diagrama de bloques de procesamiento experimental para elaborar filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura, basado en lo reportado por Birkeland (2004), se muestra en la figura 1.

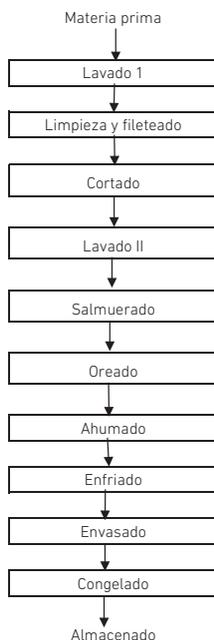


Figura 1. Diagrama de bloques para elaborar filete de paiche ahumado a baja temperatura.

Elaboración propia

El paiche entero y fresco fue lavado, limpiado, fileteado y cortado. El tamaño de corte del filete sin piel de paiche para el ahumado a baja temperatura se determinó considerando los pesos comerciales del filete de trucha ahumada que se presentan en el mercado local de consumo masivo y que varía entre 100 y 200 g. Se ensayaron tres pesos de filete sin piel cortado de 100 g (C_1), 150 g (C_2) y 200 g (C_3). Los filetes sin piel cortados se colocaron en salmuera al 20 %, según recomendación de Ramírez (1978), con 10 % de azúcar, por tiempos de inmersión de 2 min (T_1), 6 min (T_2) y 10 min (T_3). Posteriormente fueron escurridos al medio ambiente y oreado en el ahumador a 30 °C durante 60 a 90 minutos. El proceso de ahumado se realizó entre 30 °C y 35 °C, siguiendo las recomendaciones de Burt (1988) y Codex Alimentarius (2020). Durante este proceso se desarrolló una curva de ahumado y una curva de pérdida de humedad. En el proceso de ahumado, se evaluaron tres tiempos de ahumado efectivo de 60 min (H_1), 90 min (H_2) y 120 min (H_3). Después del ahumado, los filetes cortados se enfriaron a temperatura ambiente (18 °C a 20 °C), envasados en bolsas de polietileno de alta densidad y posteriormente sellados al vacío. El filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura y envasado al vacío fue llevado a congelación a -30 °C. Finalmente se almacenó a una temperatura de -22 °C (Pérez, 2012).

3. RESULTADOS

En promedio, el paiche entero midió 111,15 cm de longitud total, 98,75 cm de longitud estándar y el peso total fue 14,105 kg. Presentó superficie brillante, de consistencia firme y elástica, con escamas fuertemente adheridas, globo ocular plano, pupila negra y córnea plateada amarillenta; las branquias presentaron coloración rojo vinoso, de mucosa clara y con los filamentos marcados. En la cavidad abdominal se encontró peritoneo liso y brillante, órganos de color rojo granate profundo y olor ligero a algas. Estas características según la tabla recomendada por Oliva (2012) dio un puntaje de 20 puntos y fue calificado de calidad extra. En la tabla 1 se observa su composición física del paiche entero.

Tabla 1
Composición física del paiche entero

Componente	Peso (kg)	Rendimiento (%)
Cabeza	1,39	9,87
Vísceras	0,78	5,51
Piel	2,39	16,91
Restos	2,34	16,61
Filetes	7,21	51,1
Total	14,11	100

Elaboración propia

El rendimiento del filete fue de 51,10 %, similar a lo reportado por Alcántara y otros (2006). La tabla 2 muestra los resultados del análisis químico del filete sin piel paiche fresco, los valores encontrados fueron muy similares a lo reportado por Vásquez y otros (2012), Pérez (2012) y Alcántara y otros (2006).

Tabla 2
Composición química proximal de filete sin piel de paiche

Ensayos	Porcentaje (%)
Humedad (g/100 g)	79,2
Proteína (g/100 g) F: 6.25	18,7
Grasa (g/100 g)	1,1
Cenizas (g/100 g)	1
Carbohidratos (g/100 g)	0
Energía total (kcal/100 g)	84,7

Elaboración propia

El contenido de proteína del filete sin piel de paiche (18,70 %) se encontró dentro de los rangos de 16 % a 21 % indicados por la FAO (Stansby, 1962; Love, 1970) para alimentos proteicos. Por su contenido de grasa (1,10 %) fue considerado como especie magra, según reporte de Cortez (1992), para especies amazónicas.

El tamaño del filete de paiche cortado para el ahumado a baja temperatura fue definido por la prueba de preferencia entre las variables consideradas. El análisis estadístico de los resultados demostró que existían diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las variables de peso de filete curados en salmuera al 20 % y 10 % de azúcar. El filete sin piel cortado de paiche con mayor preferencia fue la variable C_2 (150 g) con 57 % de preferencia, seguido de C_1 (100 g) con 24 % y C_3 (200 g) con 19 % (figura 2).

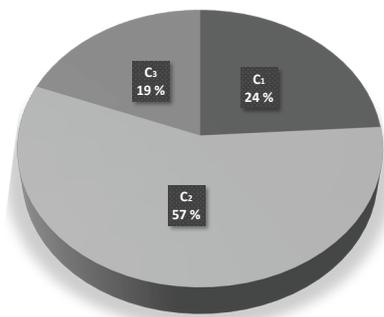


Figura 2. Preferencia de tamaño del filete sin piel cortado en función del peso

Elaboración propia

Se realizó la curva de penetración de cloruros (figura 3) con la finalidad de medir el grado de intensidad de sabor salado en la muestra de filete de 150 g. Se probaron los tiempos T1= 2, T2= 6 y T3= diez minutos en una solución de salmuera al 20 % con 10 % de azúcar.

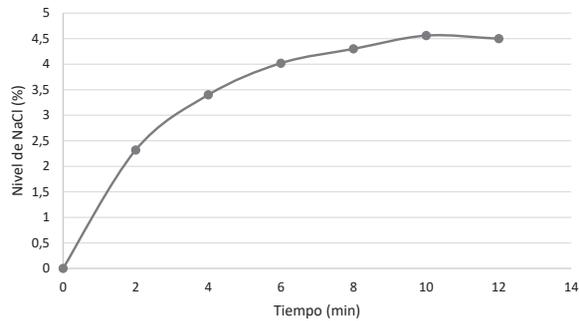


Figura 3. Curva de penetración de sal (NaCl)

Elaboración propia

La figura 3 muestra un rápido ingreso de sal (NaCl) en el filete sin piel cortado de paiche de 150 g durante los primeros minutos y una tendencia constante a partir del décimo minuto. Este resultado fue similar al reportado por Chávez y otros (2012), quien, trabajando con filetes de gamitana en salmuera, reportó que el ingreso de NaCl en el músculo del pescado es rápido durante el primer contacto con el filete y luego se hace más constante hasta su saturación.

El filete sin piel cortado de paiche salmuerao fue ahumado y posteriormente evaluado sensorialmente por un panel, utilizando la prueba de preferencia no paramétrica de Friedman (Conover, 1980). Se utilizó una escala de 1 al 5: Excelente (5), Muy bueno (4), Bueno (3), Malo (2) y Muy malo (1). El análisis estadístico demostró que existían diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos estudiados. El tratamiento de mayor preferencia fue T₂ (inmersión de 6 min y 4,02 % NaCl). Miller y Sikorski (1990) recomiendan entre 1,5 % y 2 % de cloruro como valores apropiados para los filetes de pescado antes del ahumado. La figura 4 muestra los resultados de la evaluación sensorial realizada en los filetes sin piel cortados de paiche ahumados.

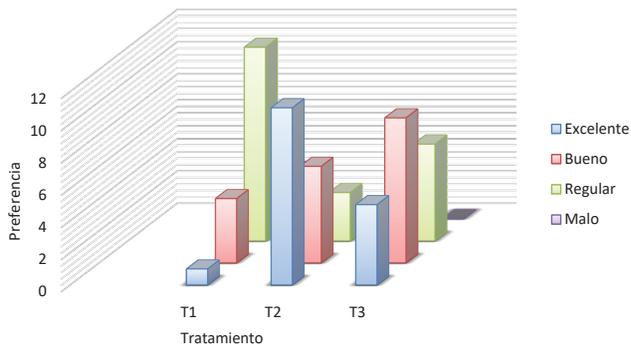


Figura 4. Preferencia de filete sin piel ahumado según el tiempo de inmersión en salmuera al 20 %

Elaboración propia

En el proceso de ahumado se controló la variación de temperatura. La variación de temperatura durante el proceso de ahumado se muestra en la figura 5. El filete sin piel cortado de paiche presentó un brillo característico y agradable que fue atribuido al proceso de ahumado y azúcar utilizado. Wicki (1990) reporta que el azúcar suaviza el sabor salado del producto y le confiere una mejor coloración en la presentación.

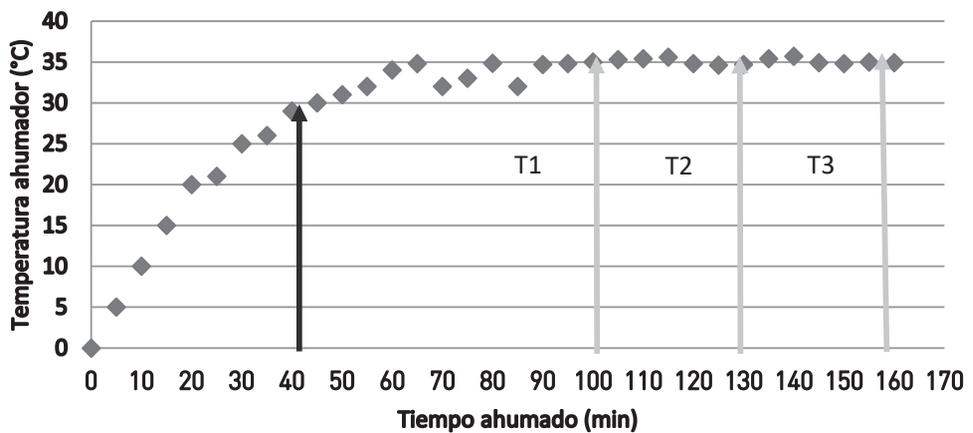


Figura 5. Variación de temperatura en proceso de ahumado de filete sin piel cortado de paiche

Elaboración propia

En la figura 5 se observa que las variaciones de la temperatura durante el proceso de ahumado se mantuvieron cercanas a los 35 °C. El tiempo de secado (oreado) del filete sin piel cortado de paiche fue de cuarenta minutos, durante los cuales se espera que el sustrato se deshidrate para que los compuestos del humo puedan adherirse con mayor facilidad. Después de este tiempo, se añadió humo en el ahumador.

El tiempo de ahumado a baja temperatura efectivo (luego del secado de 40 min) fue de sesenta minutos. La temperatura de ahumado utilizada difiere del tradicional ahumado en caliente donde la temperatura puede superar los 85 °C. Roldán y Medina (2002) mencionan que el ahumado en caliente de anguila puede utilizar temperaturas mayores de 85 °C y durar entre 2,5 y 3,5 horas. Kenneth y Hildebrant (1996) reportan que las primeras horas de proceso de ahumado son una etapa controlada, con poca variación de temperatura, tal como se observa en la curva de temperatura interna reportada para el proceso de ahumado a baja temperatura.

La pérdida de peso del filete sin piel cortado de paiche (figura 6) durante el proceso de ahumado a baja temperatura fue baja (6,3 % al final de proceso); se utilizó una muestra de menor peso como referencia en paralelo (70-80 g) y se notó la misma tendencia, tal como se observa en la figura 8. Esta pérdida de peso fue atribuida al poco tiempo de secado y ahumado efectivo realizado, ya que no generó una elevada pérdida de humedad en las muestras ensayadas. La pérdida de peso por pérdida de humedad es atribuida al proceso de secado y ahumado. Wignall (1991) menciona que, para filetes de anguila ahumada en caliente que se trabaja en Europa, la pérdida normal está alrededor a 20 %.

La evaluación sensorial de las muestras del filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura en diferentes tiempos de ahumado se realizó con un panel semientrenado de diez personas.

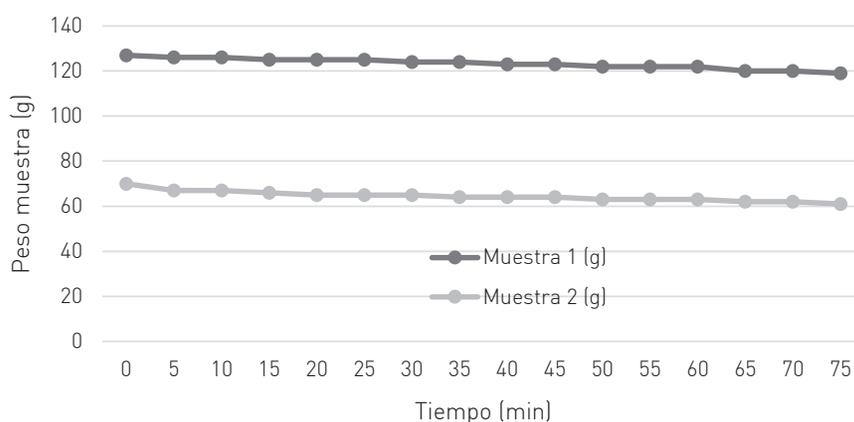


Figura 6. Control de la pérdida de peso del filete sin piel cortado durante el ahumado

Elaboración propia

El análisis estadístico de los resultados obtenidos demostró que existen diferencias significativas entre los tratamientos estudiados y que el tratamiento de mayor preferencia fue el tratamiento H₁ (ahumado por 1 h). La muestra de este tratamiento presentó un mejor balance entre las características de humo y el sabor del filete, lo que fue atribuido a que el ahumado a baja temperatura permitió resaltar y conservar las propiedades organolépticas del filete cortado procesado (figura 7). Al respecto, Durruty y Corti (2013) reportan que el efecto del ahumado en el alimento genera modificaciones de las características sensoriales en el aspecto, aroma y el sabor a ahumado. Esto no solo depende de los componentes del humo, sino también de las reacciones con el sustrato; en este caso, del filete de paiche.

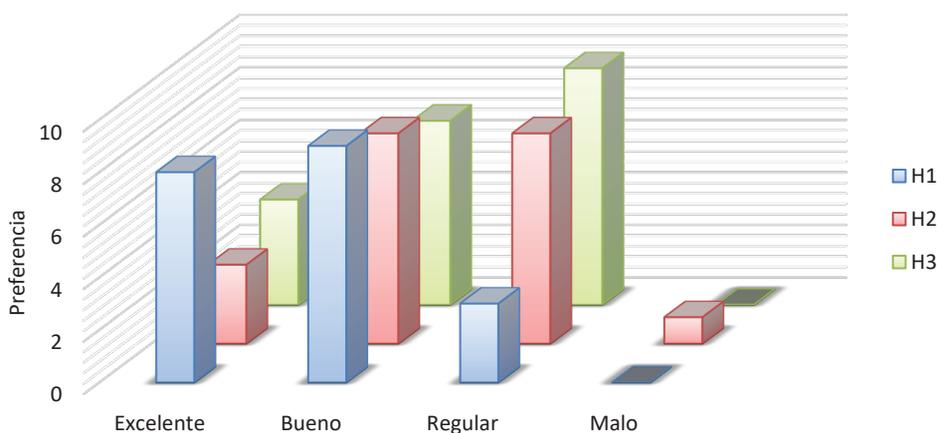


Figura 7. Preferencia del producto ahumado en función del tiempo

Elaboración propia

La aceptabilidad del producto ahumado de paiche se realizó mediante un panel semientrenado de diez personas, utilizando cinco descriptores de calidad: sabor, aspecto, olor, textura y condiciones del vacío. Al aplicar la prueba de Friedman, se obtuvo que la evaluación realizada al producto sellado al vacío no tuvo significancia ($p > 0,05$) con respecto a los demás descriptores evaluados (tabla 3). Los valores promedio para cada descriptor indicaron que su aceptabilidad es mejor calificada en cuanto al olor, textura y sabor.

Tabla 3
Prueba de evaluación sensorial de filetes de paiche ahumado

Atributo de calidad	Tratamiento			p-value
	H1	H2	H3	
Aspecto	L	4,50 ± 0,61	4,17 ± 0,52	*
Olor	4,67 ± 0,83	4,00 ± 0,60	3,33 ± 0,39	*
Sabor	5,00 ± 0,76	5,00 ± 0,61	4,00 ± 0,44	*
Textura	4,83 ± 0,78	4,50 ± 0,59	4,17 ± 0,43	*
Vacío	5,00 ± 0,61	5,00 ± 0,59	5,00 ± 0,61	n.s.

Elaboración propia

La tabla 4 muestra los resultados del análisis químico del filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura. Los resultados de humedad y proteína fueron muy cercanos a lo reportado por Pérez (2012), quien evaluó filetes de paiche ahumado. Ello puede ser atribuido al corto tiempo de secado durante el ahumado, que disminuye el contenido de humedad y permite el aumento el contenido de proteína. Asimismo, el contenido de grasa fue casi el 50 % menos. Este menor contenido puede deberse a las diferentes condiciones de crianza, estado de crecimiento o estación de año que afectan el contenido graso en los filetes de paiche (Salas y Barriga, 2004).

Tabla 4
Composición química del filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura

Ensayos	%
Humedad (g/100 g muestra)	75,10
Proteína (g/100 g muestra) Factor: 6,25	20,00
Grasa (g/100 g muestra)	2,50
Cenizas (g/100 g muestra)	2,40
Carbohidratos (g/100 g muestra)	0,00
Energía total (kcal/100 g muestra)	102,50

Elaboración propia

Fernández y otros (1995) reportaron que el proceso de ahumado afecta al valor nutritivo del pescado principalmente por la reducción de la biodisponibilidad de las proteínas. Sin embargo, considerando que el proceso de ahumado a baja temperatura (próximo a los 35 °C) no implica temperaturas lo suficientemente altas para reducir su valor biológico, simplemente se generan enlaces cruzados o pardeamiento inducidos por el calor, con pérdidas relativamente pequeñas en aminoácidos y, por ende, de proteínas.

Por otro lado, el poco tiempo de exposición al humo permite asegurar que se acentúen las características sensoriales de producto ahumado atribuido a la deposición de fase niebla del humo considerada de baja o nula toxicidad.

Daun (1979) reporta que el uso actual del humo es principalmente como agente saborizante y sus efectos benéficos incluyen la formación de color y sabor característicos. Asimismo, indica que el desarrollo del color es causado principalmente por la acción de los carbonilos en la fase de vapor del humo con los grupos amino primarios en la superficie del alimento como producto de una serie de reacciones enzimáticas similares a la reacción de Maillard.

Los resultados del análisis microbiológico del filete sin piel cortado de paiche ahumado se reportan en la tabla 5. Comparando los resultados microbiológicos con los límites máximos permisibles recomendados por DIGESA (2003), el filete sin piel cortado de paiche ahumado se encuentra libre de microorganismos dañinos para la salud humana.

Tabla 5
Análisis microbiológico de filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura

Ensayos	Recuento
N. aerobios mesófilos viables (UFC/g)	10
N. Staphylococcus aureus (NMP/g)	< 3
N. Clostridium perfringens (UFC/g)	< 10

Elaboración propia

Los valores reportados en el análisis microbiológico y el estado congelado del filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura permitirían un adecuado período de vida útil del producto. Esta vida útil es variable debido a las distintas posibilidades de combinación de factores de conservación utilizados y al grado de deshidratación que presentan, el efecto combinado de la sal, de los constituyentes del humo y del secado que acompaña al proceso de ahumado (Fernández *et al.*, 1995).

El rendimiento del filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura se muestra en la tabla 6 y fue realizado en función del peso de la materia prima entera.

Tabla 6
Rendimiento de filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura

Componente	Peso (g)	Rendimiento (%)
Paiche entero	14,11	100,00
Filete sin piel de paiche	7,20	51,10
Filete sin piel cortado de paiche	5,37	38,05
Recortes de filete sin piel	1,83	12,96
Filete sin piel ahumado de paiche	5,03	35,65

Elaboración propia

El resultado del rendimiento del filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura (35,65 %) fue mayor que el rendimiento promedio (28 %) reportado por IIAP (2000), para filete con piel ahumado para peces de cautiverio (paco, gamitana y boquichico). Esta diferencia puede ser atribuida a la diferente presentación y a que el secado y ahumado efectivo se realizó en poco tiempo.

4. CONCLUSIONES

El proceso para elaborar filete sin piel cortado de paiche (*Arapaima gigas*, Cuvier, 1829) ahumado a baja temperatura fue: recepción - Lavado 1 - Limpiado y fileteado - Cortado - Lavado 2 - Salmuerado (20 % sal y 10 % azúcar) - Oreado (60-90 min) - Ahumado a baja temperatura (35 °C x 1 h) - Enfriado - Envasado - Congelado (-30 °C) - Almacenado (-22 °C).

- El filete sin piel cortado de paiche de mayor aceptación fue el de 120-130 g
- El tiempo de inmersión del filete sin piel cortado de 120-130 g en salmuera de 20 % con 10 % de azúcar fue de seis minutos.
- La concentración de cloruros de mayor preferencia fue la de 4,02 %.
- El tiempo de ahumado efectivo del filete sin piel cortado de paiche a 35 °C fue de una hora.
- La composición química del filete sin piel cortado de paiche ahumado a baja temperatura fue: humedad 75,10 %, proteína 20,00 %, grasa 2,50 %, cenizas 2,4 % y energía total 102,5 kcal/100 g muestra.
- El rendimiento del filete sin piel cortado de paiche ahumados a baja temperatura fue de 35,65 % a partir de la materia prima entera.

REFERENCIAS

- Alcántara, F.; Wust, W.; Rebaza, M. y Del Castillo, A. (2006). *Paiche, el gigante del Amazonas*. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Recuperado de <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/L031.pdf>
- AOAC (2012). *Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemist* Washington, D. C.: Association of Official Agricultural Chemist.
- Birkeland, S. (2004). Effects of cold smoking procedures and raw material characteristics on product yield and quality parameters of cold smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. *Food Research International*, 37, 273-286.
- Burt, J.R. (1988). *Fish smoking and drying: the effect of smoking and drying on the nutritional properties of fish*. London: Elsevier Applied Science.
- Chávez, T.; Araujo, R. y Bernuy, J. (2012). Technical study for the elaboration of cured products from *Colossoma macropomum* (gamitana) using the technique of dry-salted in wet and dry cell battery. *Conocimiento Amazónico*, 3(1), 3-16.
- Codex Alimentarius (21 de mayo del 2020). *Principles and application of the HACCP system*.
- Conover, W. J. (1980). *Practical Nonparametric Statistics*. New York: John Wiley & Sons.
- Cortez, J. (1992). Características bromatológicas de dieciséis especies hidrobiológicas de la Amazonia peruana en época de creciente. *Folia Amazónica*, 4, 115-122.
- Daun, H. (1979). Interaction of wood smoke components and foods. *Food Technology*, 2, 66-70.
- DIGESA (2003). Criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. Normas legales.
- Durruty, M. y Corti, I. (2013). *Análisis físico-químico, sensorial y consumo de productos pesqueros ahumados*. Mar del Plata: Departamento de Metodología de la Investigación de la Universidad FASTA.
- Fernández, S.; Pollak, A. y Vitancurt, J. (1995). *Pescado ahumado artesanalmente - Ensayos tecnológicos*. Montevideo: Programa de Conservación de la Biodiversidad y Desarrollo Sustentable los Humedales del Este (PROBIDES).
- IIAP (2000). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Recuperado de <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/CultivProcesPeces.pdf>
- Ingram, M.; Bray, D.; Clark, D.; Dolman, C.; Elliot, R. y Thetcher, F. (1983). *Microorganismos de los alimentos. Técnicas de análisis microbiológicos*. Zaragoza: Acribia S. A.
- Kenneth, S. y Hildebrand, J. R. (1996). *Smoking Fish at Home Safely*. Ciudad: Pacific Northwest Extension Publication PNW.

- Love, R. M. (1970). *The Chemical Biology of Fishes*. London: Academic Press.
- Miler, K. y Sikorski, Z. (1990). Tecnología de los productos del Mar. Recursos, composición nutritiva y conservación. Zaragoza: Acribia.
- NTP-ISO 1841-1:2006 (18 de mayo del 2020). *Norma Técnica Peruana*. Recuperado de <https://www.deperu.com/normas-tecnicas/NTP-ISO-1841-1.html>
- Oliva, G. (2012). *Elaboración de conservas de tilapia (Oreochromis niloticus) en salsas de sachatamate (Solanum betacea Cav.)* [tesis para optar el título de ingeniero pesquero, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú].
- Pérez, R. (2012). *Procesamiento y productos con valor agregado del paiche (Arapaima gigas)*. Callao: Dirección de Transferencia Tecnológica y Desarrollo para el Consumo (DTTDC).
- Roldán, D. y Medina, C. (2002). Evaluación del comportamiento de filetes de anguila común en el procesamiento de ahumado en caliente. *Anales científicos*, *LIII*, 489-505.
- Salas, A. y Barriga, M. (2004). Aspectos bioquímicos y cambios *post mortem* del filete de paiche (*Arapaima gigas*) almacenado en hielo. *Boletín de investigación del Instituto Pesquero del Perú*, *6*, 27-32.
- Stansby, M. E. (1962). *Fish in nutrition*. London: Fishing News Books Ltd.
- Ureña, M.; D'arriego, M. y Girón, O. (1999). *Evaluación sensorial de los alimentos, aplicación didáctica*. Lima: Ediagraria.
- Vasiliadou, S. (2005). Effect of smoking on quality parameters of farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and sensory attributes of the smoked product. *Eur Food Res Technology*, *221*(3-4), 232-236.
- Vásquez, D.; Córdova, C.; Olórtegui, W.; Cachique, N.; Silva, L. y García, R. (2012), Valor agregado de las especies: *Brycon erythropterum* (sábalo), *Colossoma macropomum* (gamitana), *Arapaima gigas* (paiche) y *Agouti paca* (majas). *Ciencia Amazónica*, *2*(2), 135-141.
- Wicki, G. A. (1990). *El proceso de ahumado como valor agregado en la producción del Catfish Sudamericano (Rhamdia sapo)*. Recuperado de <https://docplayer.es/6675262-El-proceso-de-ahumado-como-valor-agregado-en-la-produccion-del-catfish-sudamericano-rhamdia-sapo-gustavo-a-wicki-introduccion.html>
- Wignall, J. (1991). *Curso Internacional de Tecnología de Productos Pesqueros: El ahumado de pescado*. Santiago de Chile: Fundación Chile.

**CIENCIA
Y TECNOLOGÍA**

Science and Technology

ESTABILIDAD OXIDATIVA DE LOS ACEITES DE *SACHA INCHI* (*PLUKENETIA HUAYLLABAMBANA* Y *PLUKENETIA VOLUBILIS*) Y SU IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

NANCY CHASQUIBOL*

<https://orcid.org/0000-0002-9275-2060>

Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales de la Facultad de
Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú
Instituto de Investigación Científica (IDIC), Universidad de Lima, Perú

KAREN IPARRAGUIRRE

<https://orcid.org/0000-0002-0547-4606>

Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales de la Facultad de
Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

JOSÉ HUAMÁN

<https://orcid.org/0000-0002-3725-0455>

Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales de la Facultad de
Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

RAFAEL ALARCÓN

<https://orcid.org/0000-0003-3315-9467>

Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales de la Facultad de
Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

Recibido: 12 de mayo del 2019 / Aprobado: 9 de junio del 2020

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4922>

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es determinar la estabilidad oxidativa de los aceites de *sacha inchi* (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) sin microencapsular y microencapsulados con diferentes materiales de pared, empleando el método de Rancimat a 70 °C, 80 °C, 90 °C y 100 °C y la técnica de extrapolación lineal en función de los periodos de inducción se estimaron los tiempos de vida útil a 25 °C. Se realizaron los siguientes análisis físico-químicos: índice de acidez, índice de peróxidos, estabilidad oxidativa y humedad.

Palabras clave: aceite de *sacha inchi* / estabilidad oxidativa / método Rancimat / microcápsulas / vida útil de aceites de *sacha inchi*

* Correo electrónico: nchasquibol@ulima.edu.pe

OXIDATIVE STABILITY OF *SACHA INCHI* OILS (*PLUKENETIA HUAYLLABAMBANA* AND *PLUKENETIA VOLUBILIS*) AND THEIR IMPORTANCE IN THE FOOD INDUSTRY

ABSTRACT: This work aims to determine the oxidative stability of *sacha inchi* oils (*Plukenetia huayllabambana* and *Plukenetia volubilis*), both non-microencapsulated and microencapsulated with different wall materials, using the Rancimat method at 70, 80, 90 and 100 °C, and the linear extrapolation technique based on induction periods. Shelf-life values were estimated at 25 °C. The following physical and chemical analysis were carried out: acidity level, peroxide index, oxidative stability and humidity.

Keywords: *sacha inchi* oil / oxidative stability / Rancimat method / microcapsules / shelf life of *sacha inchi* oils

1. INTRODUCCIÓN

Los lípidos, proteínas y carbohidratos, entre otros, son nutrientes importantes por sus beneficios nutricionales y funcionales. Los lípidos (representados mayoritariamente por aceites y grasas) juegan un papel importante en la dieta humana por su aporte en ácidos grasos esenciales y vitaminas liposolubles.

Los aceites vegetales están compuestos por ácidos grasos saturados e insaturados, como los ácidos grasos poliinsaturados o ácidos grasos esenciales (ω -3, ω -6 y ω -9). El cuerpo humano no los biosintetiza; por ello, es necesario obtenerlos mediante los alimentos o en forma de suplementos. Las fuentes más importantes de ω -3 se encuentran en productos hidrobiológicos, semillas vegetales, entre otros (Ancira, 2008).

El aceite de *sacha inchi*, de la especie *Plukenetia volubilis*, es muy valorado por sus cualidades funcionales, debido a su alto contenido de ácidos grasos ω -3 [42,00-48,00 % α -ácido linolénico (Ln)] (Norma Técnica Peruana NTP 151.400, 2014). Además, posee una composición particular de esteroides (estigmasterol > campesterol) y un alto porcentaje de γ - y δ -tocoferoles ($>1,900 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); en comparación con otras semillas oleaginosas (Guillén *et al.*, 2003; Bondioli *et al.*, 2006; Chasquibol *et al.*, 2012; Liua *et al.*, 2014). Es un aceite que se puede consumir crudo o virgen, sin otro procesamiento más que su extracción mediante prensado en frío. Además, es muy apreciado por sus propiedades beneficiosas para la salud (Gorriti *et al.*, 2010; Huamán *et al.*, 2008; Garmendia *et al.*, 2011; Gonzales *et al.*, 2014) por sus singulares características de olor y sabor. El ecotipo *Plukenetia huayllabambana* es otra especie que presenta granos de mayor tamaño y con mayor contenido de ω -3 (55,62 a 60,42 % α -ácido linolénico - Ln) (Chasquibol *et al.*, 2014) que la especie comercial (*Plukenetia volubilis*). Crece en estado silvestre en la provincia de Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas, Perú y existe escasa información científica sobre esta especie (Muñoz *et al.*, 2013).

Los aceites de *sacha inchi*, por su naturaleza química, presentan una alta susceptibilidad a la oxidación que limita su vida útil y ocasiona una pérdida en su valor nutricional, así como la formación de compuestos indeseables; por ello, es necesario utilizar tecnologías industriales como la microencapsulación para mejorar su vida útil y la conservación de su composición química, así como de sus propiedades funcionales.

El proceso de microencapsulación por el método de secado por aspersión (*spray drying*) es una tecnología de empaquetamiento que emplea diferentes materiales de pared (gomas, almidones, proteínas, entre otros) que permiten retardar las reacciones oxidativas e incrementar la vida útil de los aceites, disminuyendo significativamente los efectos del proceso de oxidación lipídica. Existen diferentes métodos para la determinación de la estabilidad oxidativa de los aceites. Uno de los más empleados es el de Rancimat (Cabré y Massó, 2014; Páucar *et al.*, 2015; Rodríguez *et al.*, 2015; Villanueva

et al., 2013), el cual fue empleado en el presente trabajo para determinar el tiempo de vida útil de los aceites de *sacha inchi* (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*) sin microencapsular y microencapsulados.

Según Chasquibol (2017), el proceso de oxidación de los lípidos ocurre fundamentalmente por la existencia de los ácidos grasos insaturados a través de una serie de reacciones en cadena de radicales libres. La autooxidación, es la principal reacción implicada en el deterioro de los lípidos. Existen dos tipos de variables que afecta a la oxidación de los aceites y grasas:

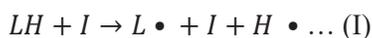
- *Variable extrínseca*. Relacionada con las condiciones de almacenamiento, como temperatura, exposición a la luz y disponibilidad de oxígeno.
- *Variable inherente*. Relacionada con los componentes propios del aceite como los ácidos grasos, triglicéridos y componentes menores (antioxidantes y prooxidantes).

Algunas variables extrínsecas se pueden controlar de manera parcial o total. Por ejemplo, para evitar la exposición a la luz, muchos aceites son envasados en envases opacos o coloreados y se guardan en cajas opacas; para evitar la exposición al oxígeno, se envasa en atmósfera de nitrógeno y se utilizan envases de baja permeabilidad. El objetivo es prolongar la vida útil de los aceites y grasas cuando estos están envasados y mantener la calidad de estos.

La autooxidación es la reacción del oxígeno molecular atmosférico con los ácidos grasos que constituyen los triglicéridos. En el proceso de autooxidación, se denomina período de inducción (PI) o tiempo de inducción al tiempo durante el cual hay una formación escasa o indetectable de peróxidos hasta cuando se produce un incremento brusco en la oxidación.

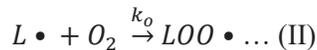
Algunos productos primarios de la autooxidación lipídica son los hidroperóxidos, estos son relativamente inestables e intervienen en numerosas y complejas reacciones de ruptura e interacción, que son las responsables de la producción de muchos tipos de compuestos de distinta naturaleza química y variados pesos capaces de producir aromas biológicamente significativos. La autooxidación es una reacción en cadena de radicales libres y consta de tres etapas: iniciación o inducción, propagación y terminación.

La etapa de iniciación o inducción consiste en la sustracción de un hidrógeno metilénico adyacente a un doble enlace en una molécula lipídica, en presencia de un iniciador (I) para formar un radical alquilo (L) como se muestra a continuación:



La reacción $LH + O_2$, para formar radicales libres, es termodinámicamente impedida por su elevada energía de activación (35 Kcal/mol); por ello, la aparición de los primeros radicales libres necesarios para iniciar la propagación de la reacción se produce por medio de un catalizador.

En la etapa de propagación, el radical alquilo ($L\cdot$) producido en la etapa de iniciación, reacciona con el oxígeno para formar un radical peroxilo ($LOO\cdot$). Este, a su vez, reacciona con un lípido insaturado para formar un hidroperóxido y un nuevo radical libre ($L\cdot$). Este último puede reaccionar con el oxígeno para formar un radical peroxilo, y así sucesivamente, como se muestra a continuación:



Una vez formado el número suficiente de radicales libres (I), la reacción en cadena se propaga al captar átomos de hidrógeno de las posiciones alfa (primer átomo unido al grupo funcional) de los dobles enlaces. Posteriormente, en estas posiciones se produce la adición de oxígeno, dando lugar a la producción de radicales peroxilo $LOO\cdot$ (II), que a su vez captan hidrógeno de los grupos α -metilénicos de otras moléculas para dar hidroperóxidos ($LOOH$) y grupos ($L\cdot$) (III). Estos, a su vez, reaccionan con el oxígeno, repitiéndose la secuencia de reacción.

Finalmente, en la etapa de terminación finaliza el proceso de oxidación, ya sea esta negativa o positiva. Si es negativa, los antioxidantes se han agotado y el proceso de oxidación continuará. Si es positiva, los antioxidantes (actúa como un atrapante de radicales libres) posiblemente han detenido el progreso de la oxidación. La velocidad de la reacción en cadena disminuye tras alcanzar un máximo. Los radicales reaccionan entre sí eliminándose y dando lugar a la formación de productos no radicalarios de estabilidad muy variada, entre los que se encuentran:



Como consecuencia de las reacciones de terminación, aparecen productos oxidados estables y algunos volátiles originados por rotura de las cadenas acídicas. En el período de inducción, el consumo de oxígeno es lento y aumenta rápidamente cuando tiene lugar

la formación de los compuestos de terminación. El proceso de oxidación se muestra en la figura 1.

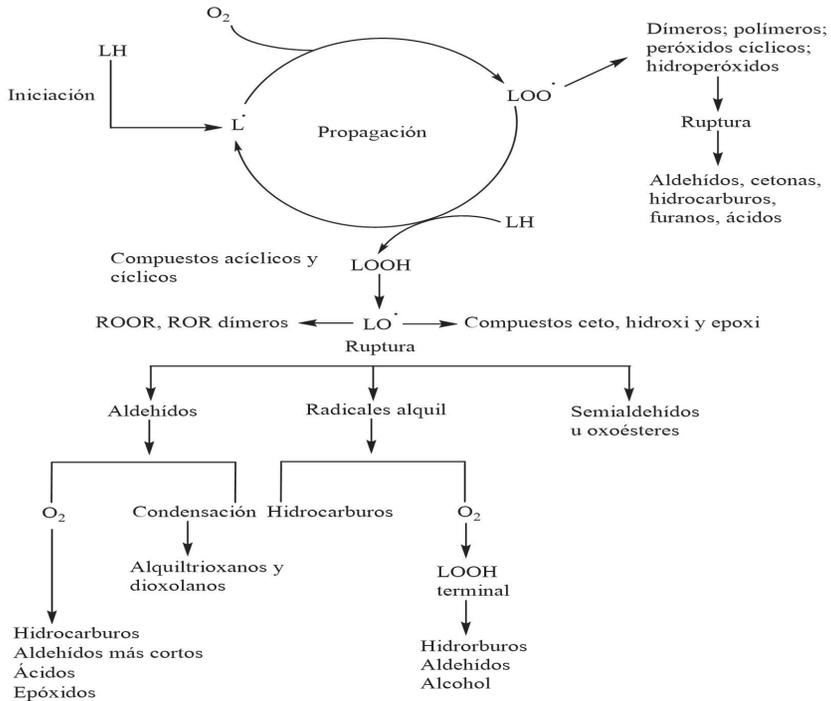


Figura 1. Mecanismo de autooxidación y los productos que se obtienen a partir de los hidroperóxidos

Fuente: Chasquibol (2017)

El presente trabajo de investigación fue uno de los objetivos del proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE "Microencapsulación de aceites de *sacha inchi* (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*) y antioxidantes de la biodiversidad peruana. Contribución al desarrollo de alimentos funcionales conteniendo ω -3 para prevenir enfermedades no transmisibles", del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, con el financiamiento del Banco Mundial y del Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Muestra

Las semillas de *sacha inchi* del ecotipo *Plukenetia volubilis* fueron recolectadas en la ciudad de Tarapoto (región San Martín) y las semillas del ecotipo *Plukenetia huayllabambana* en la provincia de Rodríguez de Mendoza (región Amazonas). La extracción de los aceites de *sacha inchi* se realizó, por prensado hidráulico en frío, en el Laboratorio de Máquinas e Instrumentos de la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Lima. Los aceites se centrifugaron durante treinta minutos en una centrífuga trifásica de 220 V y de 2,9 HP a 3600 rpm en el Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales del Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales (CEIAF). Finalmente, los aceites se almacenaron en frascos de color pardo y a la temperatura de 4 °C para su posterior análisis y microencapsulación.

Las microcápsulas de aceite de *sacha inchi* (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) fueron obtenidas mediante secado por aspersión, empleando el equipo Mini Spray Dryer de marca Büchi modelo B-290. El proceso de microencapsulación y del presente trabajo fue realizado por el equipo de investigación del proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE en el Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales del CEIAF de la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Lima. Se emplearon dos muestras de aceite de *sacha inchi* y diez muestras de aceite de *sacha inchi* microencapsulado para cada uno de los ecotipos. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

2.2 Caracterización fisicoquímica

Humedad

Se pesaron 3,00 g ± 0,01 g de microcápsulas de los aceites de *sacha inchi* en la balanza de humedad Sartorius, modelo MA-30 a 100 °C y 1 atm de presión; las mediciones se realizaron por triplicado.

Rendimiento

El rendimiento de las microcápsulas se obtuvo según la fórmula siguiente:

$$\text{Rendimiento(\%)} = \frac{\text{Microcápsulas obtenidas en el proceso de microencapsulación (g)}}{\text{Peso del material ingresante (g)}} \times 100 \%$$

Índice de peróxido (I.P.)

Se disolvieron 2,00 ± 0,01 g de muestra en una mezcla de ácido acético y cloroformo, se añadió solución de KI saturado, manteniendo las muestras en la oscuridad para que todo

el yoduro se transforme en yodo con el oxígeno procedente de los peróxidos. El yodo formado se valoró con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.01 N. Los resultados se expresaron en meq O_2 /kg aceite (Chasquibol, 2017) y se calcularon empleando la siguiente fórmula:

$$\text{I.P (meq O}_2 \text{ / kg aceite)} = \frac{V \text{ (mL)} \times N \text{ (Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times 1000}{\text{peso muestra (g)}}$$

Donde:

V (mL): Volumen gastado en la titulación (mL)

N: Normalidad corregida del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Las muestras fueron almacenadas en bolsas de aluminio a -5°C , durante 120 días, tiempo en el cual se evaluó el índice de peróxido.

Estabilidad oxidativa

La estabilidad oxidativa del aceite de *sacha inchi* y de sus microencapsulados se realizó en el equipo Professional Metrohm Rancimat (modelo 892), empleándose entre 2,0 g a 3,0 g de muestra y a las temperaturas de 70, 80, 90 y 100°C , con un caudal de aire de 20 L/h. La exposición de las muestras a estas temperaturas y flujo de aire a lo largo del tiempo descomponen a los aceites, desprendiéndose compuestos volátiles que se concentran en los vasos del equipo Rancimat (Chasquibol, 2017). Durante el periodo de inducción (índice de estabilidad oxidativa), ocurre la formación de hidroperóxidos en los aceites, generando la pérdida de calidad y de su vida útil. Los análisis se realizaron por triplicado, los resultados fueron recolectados y procesados mediante el *software* StabNet del equipo Professional Metrohm Rancimat (modelo 892) y mediante la técnica de extrapolación lineal en función de los índices de estabilidad oxidativa o periodos de inducción (PI) según las temperaturas de trabajo. Los valores de tiempo de vida útil de las muestras a 25°C se determinaron empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de vida} = A \times \exp(B \times T)$$

Donde:

A y B: Coeficientes de regresión en base a los PI

T: Temperatura del tiempo de vida establecido (25°C)

Energía de activación (Ea)

Se determinó a partir de la pendiente de la recta que resulta de representar el logaritmo natural de los valores del índice de estabilidad oxidativa (OSI) versus el inverso de la temperatura absoluta (343K, 353K, 363K, 373K). La dependencia de los valores de OSI con respecto a la temperatura termodinámica fue utilizada para determinar la energía de

activación de las reacciones de oxidación de los aceites de *sacha inchi* microencapsulado y sin microencapsular. La energía de activación se determinó empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Ln(OSI)} = \text{Ln}\left(\frac{-\text{Ln}(1-\alpha)}{Z}\right) + \frac{Ea}{RT}$$

Donde:

OSI: Índice de estabilidad oxidativa

R: Constante universal de los gases

Z: Factor preexponencial de la ecuación de Arrhenius

T: Temperatura (unidades en K)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Diseño experimental

En la tabla 1 se muestra el diseño experimental empleado en el presente trabajo.

Tabla 1
Diseño experimental

n.º de muestra	Abreviación	Descripción
1	ASIH	Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia huayllabambana</i> sin microencapsular
2	ASIH + GA	Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia huayllabambana</i> microencapsulado con goma arábica (GA)
3	ASIH + GA + MD	Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia huayllabambana</i> microencapsulados con goma arábica (GA) y maltodextrina (MD)
4	ASIH + GA + MD + WPI	Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia huayllabambana</i> microencapsulados con goma arábica (GA), maltodextrina (MD) y proteína concentrada de suero de leche (WPI)
5	ASIH + Hi-cap	Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia huayllabambana</i> microencapsulado con almidón modificado Hi-cap
6	ASIH + Capsul	Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia huayllabambana</i> microencapsulado con almidón modificado Capsul
7	ASIV	Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia volubilis</i> sin microencapsular
8	ASIV + GA	Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia volubilis</i> microencapsulado con goma arábica (GA)
9	ASIV + GA + MD	Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia volubilis</i> microencapsulados con goma arábica (GA) y maltodextrina (MD)

(continúa)

(continuación)

10	ASIV + GA + MD + WPI	Aceite de <i>sacha inchi</i> <i>Plukenetia volubilis</i> microencapsulados con goma arábica (GA), maltodextrina (MD) y proteína concentrada de suero de leche (WPI)
11	ASIV + Hi-cap	Aceite de <i>sacha inchi</i> <i>Plukenetia volubilis</i> microencapsulado con almidón modificado Hi-cap
12	ASIV + Capsul	Aceite de <i>sacha inchi</i> <i>Plukenetia volubilis</i> microencapsulado con almidón modificado Capsul

Fuente: Proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

3.2 Porcentaje de humedad y rendimiento

En la figura 2, se observa que el porcentaje de humedad de las microcápsulas de los aceites de *sacha inchi* (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) son menores del 10 % establecido para productos deshidratados (Huntington, 2007; Pastuña y otros, 2016). Las microcápsulas con Hi-cap como material de pared son las que presentan menor porcentaje de humedad para ambos aceites a un nivel de confianza del 95 %, comparado con la goma arábica que contiene mayor porcentaje de humedad a un nivel de confianza del 95 %.

En la figura 3, se observa que los porcentajes de rendimiento son menores del 40 %, que es el rendimiento esperado en procesos de microencapsulación en laboratorio. La microcápsula de aceite de *sacha inchi* *Plukenetia huayllabambana* con material de pared ternaria (GA + MD + WPI) fue la que presentó mayor rendimiento (39,88 % ± 1,2 %), con un nivel de confianza del 95 %.

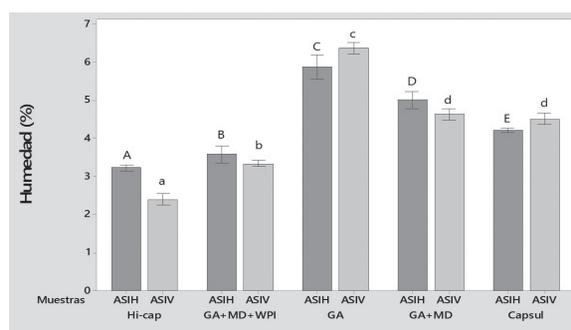


Figura 2. Porcentaje humedad de las microcápsulas de los aceites de *sacha inchi*

Fuente: Proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

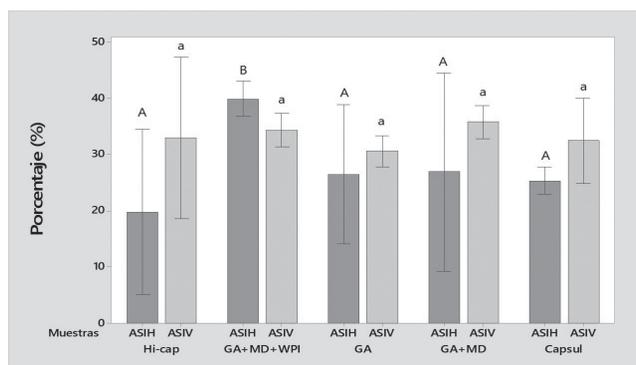


Figura 3. Porcentaje de rendimiento de las microcápsulas de los aceites de *sacha inchi*

Fuente: Proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

3.3 Índice de peróxidos

En la tabla 2 se muestran los índices de peróxidos de las microcápsulas durante el tiempo de almacenamiento. Se observa que, a los setenta días, el índice de peróxido se encuentran dentro de los valores establecidos por la Norma Técnica Peruana de *Sacha Inchi* (Norma Técnica Peruana NTP 151.400, 2014), que establece un valor máximo de 10 meq O₂/kg aceite; mientras que, a los 120 días de almacenamiento, las muestras microencapsuladas con Hi-cap y con la mezcla ternaria (GA + MD + WPI) son las únicas que se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica Peruana de *Sacha Inchi*.

Tabla 2
Índice de peróxidos de las microcápsulas de aceite de *sacha inchi*

Aceites	Material de pared	Días		
		0	70	120
Aceite de <i>sacha inchi</i>	Hi-cap	0,0000 ± 0,0000	0,0000 ± 0,0000	4,9511 ± 0,6601
<i>Plukenetia huayllabambana</i>	GA+MD+WPI	2,9763 ± 0,0102	5,5349 ± 0,0019	9,1192 ± 0,0032
	GA	2,9856 ± 0,0079	8,3026 ± 0,0017	11,0483 ± 0,6575
	GA+MD	3,9148 ± 0,0957	7,3860 ± 0,0019	10,2625 ± 0,0010
	Capsul	6,4563 ± 0,0030	7,8530 ± 0,1269	12,1627 ± 0,6610

(continúa)

(continuación)

Aceite de <i>sacha inchi</i>	Hi-cap	0,0000 ± 0,0000	0,0000 ± 0,0000	4,9546 ± 0,6601
<i>Plukenetia volubilis</i>	GA+MD+WPI	2,9763 ± 0,0102	6,2974 ± 0,5514	9,1219 ± 0,0014
	GA	2,9856 ± 0,0079	6,4546 ± 0,0038	9,1298 ± 0,0070
	GA+MD	3,9148 ± 0,0957	5,6377 ± 0,1727	7,9793 ± 0,0012
	Capsul	6,4563 ± 0,0030	9,8995 ± 0,0099	12,1667 ± 0,6508

Fuente: Proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

3.4 Estabilidad oxidativa

Los altos grados de insaturaciones presentes en el aceite de *sacha inchi* están asociados con un menor índice de estabilidad oxidativa. La estabilidad oxidativa se define como la resistencia a la oxidación bajo condiciones establecidas y se expresa como el periodo que corresponde al tiempo desde que la oxidación procede lentamente hasta un inesperado incremento en la reacción oxidativa que es llamado *periodo de inducción* (PI) (Velasco *et al.*, 2009).

El PI indica la iniciación de la formación de hidroperóxidos que contienen dobles enlaces *trans* conjugados, y el tiempo de estabilidad de los aceites de *sacha inchi* indica la formación de compuestos orgánicos aromáticos de cadena corta (como aldehídos, cetonas, alcoholes, y ácidos grasos de cadena corta) que son perjudiciales para la salud (Sherwin, 1978). Los periodos de inducción y los tiempos de estabilidad tienden a duplicarse por cada 10 °C de aumento en la temperatura debido a la elevada insaturación de los aceites de *sacha inchi*, como ha sido comprobado en otros trabajos de investigación (Villanueva *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2015). Los tiempos de inducción de los aceites de *sacha inchi* sin microencapsular y microencapsulado obtenidos en el equipo Rancimat a las temperaturas de trabajo 70 °C, 80 °C, 90 °C y 100 °C se muestran en la tabla 3.

Los resultados de la tabla 3 se emplearon para determinar el tiempo de vida útil de los aceites sin microencapsular y microencapsulados a la temperatura de 25 °C (punto rojo en la recta verde), obtenido mediante el *software* StabNet del equipo Rancimat (figura 4). El tiempo de vida útil extrapolada a 25 °C (tabla 4), al igual que los PI, se encuentran en una línea de tendencia exponencial debido a que la velocidad de oxidación es exponencialmente proporcional a la temperatura y la vida útil de los aceites disminuye logarítmicamente con el aumento de la temperatura (Frankel, 1998). Además, el elevado porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados en los aceites de *sacha inchi* influyen en su estabilidad oxidativa. por consiguiente, el tiempo de vida útil extrapolada a 25 °C (tabla 4) fue mucho mayor a 1000 horas para los microencapsulados con Hi-cap para ambos aceites, mientras que los tiempos de vida más bajos fueron con el material de pared Capsul.

Tabla 3

Tiempo de inducción de los aceites de *sacha inchi* sin microencapsular y microencapsulados

Aceites	Muestras	Tiempo de inducción (h)			
		70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia huayllabambana</i>	Hi-cap	82,75 ± 0,74	34,08 ± 0,70	17,11 ± 0,40	8,66 ± 0,14
	GA+MD+WPI	62,14 ± 3,23	27,72 ± 0,96	14,22 ± 0,70	6,81 ± 0,12
	GA	31,10 ± 1,09	13,86 ± 1,20	4,94 ± 0,47	2,48 ± 0,29
	GA+MD	33,26 ± 4,85	14,13 ± 0,16	5,64 ± 0,15	2,90 ± 0,06
	ASIH	71,31 ± 3,01	32,46 ± 0,90	18,40 ± 0,85	9,28 ± 0,78
	Capsul	43,76 ± 1,78	21,21 ± 0,08	12,60 ± 2,09	5,81 ± 0,16
Aceite de <i>sacha inchi Plukenetia volubilis</i>	Hi-cap	95,32 ± 2,48	40,31 ± 1,27	18,36 ± 0,36	8,89 ± 0,29
	GA+MD+WPI	84,62 ± 2,95	37,65 ± 0,90	18,66 ± 0,25	9,70 ± 0,15
	GA	78,00 ± 1,57	38,61 ± 1,49	18,70 ± 0,61	9,26 ± 0,17
	GA+MD	74,53 ± 0,99	32,06 ± 0,40	16,41 ± 0,33	8,18 ± 0,11
	ASIV	41,76 ± 6,31	19,38 ± 2,93	9,23 ± 0,28	4,60 ± 0,35
	Capsul	34,45 ± 11,03	16,23 ± 0,30	10,08 ± 1,79	6,59 ± 0,01

Fuente: Proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

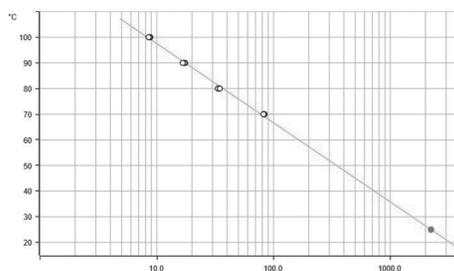


Figura 4. Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de *sacha inchi Plukenetia huayllabambana* microencapsulado con Hi-cap como material de pared

Fuente: Proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

Tabla 4
Tiempo de vida útil extrapolada a 25 °C de los aceites de sachá inchi sin microencapsular y microencapsulado

Aceites	Material de pared	Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C
Aceite de <i>sachá inchi</i>	Hi-cap	2232 h = 0,25 años
<i>Plukenetia huayllabambana</i>	GA+MD+WPI	1614 h = 0,18 años
	GA	1507 h = 0,17 años
	GA+MD	1457 h = 0,16 años
	ASIH	1388 h = 0,15 años
	Capsul	838,3 h = 0,09 años
Aceite de <i>sachá inchi</i>	Hi-cap	3464 h = 0,39 años
<i>Plukenetia volubilis</i>	GA+MD+WPI	2019 h = 0,23 años
	GA	1918 h = 0,21 años
	GA+MD	1895 h = 0,21 años
	ASIV	1105 h = 0,12 años
	Capsul	341,2 h = 0,03 años

Fuente: Proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

3.5 Energía de activación (Ea)

Según Blaine y Savage (1992) y García-Ochoa y otros (1989), la adición de los radicales de oxígeno a los ácidos grasos se produce en los dobles enlaces entre los átomos de carbono, siguiendo cinéticas de primer orden. Además, el efecto de la temperatura en los valores del índice de estabilidad oxidativa obtenidos por el método de Rancimat puede ser estudiado aplicando tanto la ecuación empírica como el modelo cinético (Navas, 2010). Se puede obtener la energía de activación de la reacción con el fin de poder comprender mejor el proceso de oxidación de los aceites vírgenes como es el caso de los aceites de *sachá inchi*. Para hallar la energía de activación, se empleó el diagrama de la inversa de la temperatura absoluta versus el logaritmo natural de los índices de estabilidad oxidativa de los aceites de *sachá inchi* sin microencapsular y microencapsulados (figura 5).

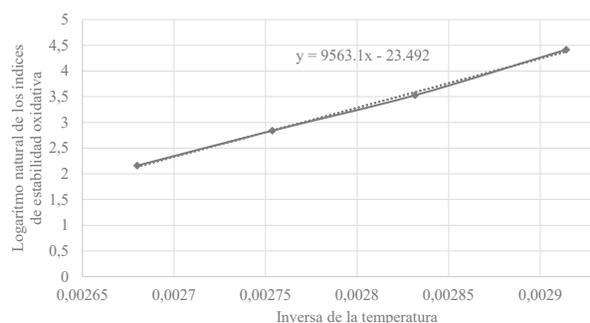


Figura 5. Gráfico de la inversa de la temperatura absoluta y el logaritmo natural de los índices de estabilidad oxidativa de los aceites de *sacha inchi* sin microencapsular y microencapsulados.

Fuente: Proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

Los resultados de las energías de activación se indican en la tabla 5. Se observa que la energía de activación es mayor en las microcápsulas para ambos aceites, con excepción del material de pared Capsul. La energía de activación para el aceite de *sacha inchi* (*P. huayllabambana*) fue de 71,20 KJ/mol, mientras que para el aceite de *sacha inchi* microencapsulado con goma arábiga fue de 91,78 KJ/mol. Para el aceite de *sacha inchi* (*P. volubilis*) su energía de activación fue de 78,35 KJ/mol, mientras que para el aceite de *sacha inchi* microencapsulado con Hi-cap fue de 84,18 KJ/mol.

Tabla 5
Energía de activación de los aceites de *sacha inchi* sin microencapsular y microencapsulados

Material de pared	EA (kJ/mol)	
	Aceite de <i>sacha inchi</i> <i>Plukenetia huayllabambana</i>	Aceite de <i>sacha inchi</i> <i>Plukenetia volubilis</i>
Hi-cap	79,51	84,18
GA+MD+WPI	77,73	76,71
GA	91,78	75,74
GA+MD	87,76	77,75
Sin microencapsular	71,20	78,35
Capsul	69,97	58,06

Fuente: Proyecto n.º 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

4. CONCLUSIONES

El porcentaje de humedad de las microcápsulas de aceite de *sacha inchi* (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) cumple con los requisitos de productos deshidratados y porcentaje de rendimiento obtenido por el método de *spray dryer*.

Las microcápsulas formuladas con material de pared Hi-cap se mantienen estables durante el tiempo de almacenamiento, porque el valor del índice de peróxidos se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa peruana.

El proceso de microencapsulación protege a los aceites del proceso de oxidación, aumentando su tiempo de vida útil a la temperatura de 25 °C. El aceite de *sacha inchi* *Plukenetia huayllabambana* de 1388 h aumentó su tiempo de vida útil a 2232 h en los aceites microencapsulados con material de pared Hi-cap, mientras que el aceite de *sacha inchi* *Plukenetia volubilis* de 1105 h aumentó su tiempo de vida útil a 25 °C a 3464 h en los aceites microencapsulados con material de pared Hi-cap.

La energía de activación para el aceite de *sacha inchi* (*P. huayllabambana*) fue de 71,20 KJ/mol, aumentando a 91,78 KJ/mol para el aceite microencapsulado con goma arábiga, mientras que para el aceite de *sacha inchi* (*P. volubilis*) su energía de activación fue de 78,35 KJ/mol, aumentando a 84,18 KJ/mol para el aceite microencapsulado con Hi-cap.

La determinación de la estabilidad oxidativa para los aceites de *sacha inchi* y para otros aceites vegetales debe establecerse como un parámetro de calidad importante para asegurar el tiempo de vida bajo determinadas condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad, entre otros), manteniendo sus características nutricionales, funcionales y sensoriales.

REFERENCIAS

- Ancira, R. (2008). *Omega 3: los secretos curativos del eslabón perdido de la salud*. México, D. F.: Editorial Kindle.
- Blaine, S. y Savage, P. (1992). Reaction Pathways in Lubricant Degradation, 3, Reaction Model for n - Hexadecane autoxidation. *Industrial & engineering chemistry research*, 31(1), 69-75.
- Bondioli, P. y Della Bella, L. (2006). Alpha linolenic acid rich oils. Composition of *Plukenetia volubilis* (*sacha inchi*) oil from Peru. *Rivista italiana delle Sostanze Grasse*, 83(3), 120.
- Cabré, P. y Massó, A. (2014). Determinación de la estabilidad a la oxidación de aceites y grasas por el método Rancimat. Barcelona: Massó Analítica.
- Chasquibol, N. (2017). Caracterización, análisis sensorial y estabilidad oxidativa del aceite de *sacha inchi* (*Plukenetia huayllabambana*). Autenticidad de aceites comerciales de *sacha inchi*. Lima: UNMSM.

- Chasquibol, N.; Chellah, D.; Yacono, J.; Guinda, Á.; Moreda, W.; Gómez-Roca, R. y Pérez Camino, M. (2014). Characterization of Glyceridic and Unsaponifiable Compounds of *sacha inchi* (*Plukenetia huayllabambana* L.) Oils. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(41), 10162-10169. doi:10.1021/jf5028697
- Chasquibol, N.; Moreda, W.; Yácono, J. C. y Pérez-Camino, M. C. (2012). *Preliminary characterization studies on sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) seeds and oils grown in San Martín, Peru*. 20th International Symposium on Plant Lipids ISPL.
- Chasquibol, N.; Yacono, J.; Pérez Camino, M.; Del Águila, C. y Moreda, W. (2014). *Specific markers of the addition of other seed oils to commercial extra virgin sacha inchi oils*. 12th Euro Fed Lipids Congress. European Federation for the Science and Technology of Lipids. Montpellier, Francia.
- Frankel, E. N. (1998). *Lipid oxidation*. Dundee, Scotland: Oily Press.
- García-Ochoa, F.; Romer, A. y Querol, A. (1989). Modeling of the Thermal n-Octane Oxidation in the Liquid Phase. *Industrial and Engineering Chemical Research*, 28(1), 43-48.
- Garmendia, F.; Pando, R. y Ronceros, G. (2011). Efecto del aceite de *sacha inchi* (*Plukenetia volubilis* L.) sobre el perfil lipídico en pacientes con hiperlipoproteinemia. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 28(4), 628-632.
- Gonzales, G. F. y Gonzales, C. (2014). A randomized, double-blind placebo-controlled study on acceptability, safety and efficacy of oral administration of *sacha inchi* oil (*Plukenetia volubilis* L.) in adult human subjects. *Food and Chemical Toxicology*, 65, 168-176.
- Gorriti, A.; Arroyo, J.; Quispe, F.; Cisneros, B.; Condorhuam M.; Almora Y. y Chumpitaz, V. (2010). Toxicidad oral a 60 días del aceite de *sacha inchi* (*Plukenetia volubilis* L.) y linaza (*Linum usitatissimum* L.) y determinación de la dosis letal 50 en roedores. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 27(3), 352-60.
- Guillén, M. D.; Ruiz, A.; Cabo, N.; Chirinos, R. y Pascual, G. (2003). Characterization of *sacha inchi* (*Plukenetia volubilis* L.) Oil by FTIR Spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with Linseed Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(8), 755-762.
- Huamán J.; Chávez K. y Castañeda E. (2008). Efecto de la *Plukenetia volubilis* Linneo (*sacha inchi*) en la trigliceridemia posprandial. *An. Fac. med.*, 69(4), 263-266.
- Huntington, D. (2007). The Influence of the Spray Drying Process on Product. *Drying technology*, 22(6), 1261-1287.
- Liua, Q.; Xua, Y.; Zhanga, P.; Na, Z.; Tanga, T. y Shia, Y. (2014). Chemical composition and oxidative evolution of *sacha inchi* (*Pluketia volubilis* L.) oil from Xishuangbanna (China). *Grasas Aceites*, 65(1). doi: <http://dx.doi.org/10.3989/gya.075713>.

- Muñoz Jáuregui, A.; Alvarado-Ortiz, C.; Castañeda, B.; Lizaraso, F.; Barnett, E.; Cárdenas, L. y Manco, E. (2013). Estudio Nutricional de *Plukentia Huayllabambana* sp.nov. *Revista Sociedad Química del Perú*, 79(1), 47-56.
- Navas, P. (2010). *Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales obtenidos por presión en frío a partir de fuentes vegetales convencionales y no convencionales*. [Tesis de posgrado, Universidad de Castilla La Mancha, España]. Repositorio institucional de la Universidad de Castilla La Mancha: <http://hdl.handle.net/10578/2824>
- Norma Técnica Peruana NTP 151.400 (2014). Aceite de *Sacha Inchi*.
- Pastuña Pullutasig, A.; López Hernández, O.; Debut, A.; Vaca, A.; Rodríguez Leyes, E.; Vicente, R.; ... y Tapia Hernández, F. (2016). Microencapsulación de aceite de *sacha inchi*. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 422-437.
- Páucar Menacho, L.; Salvador Reyes, R.; Guillén Sánchez, J.; Capa Robles, J. y Moreno Rojo, C. (2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de *sacha inchi* (*Plukenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 279-290.
- Rodríguez, G.; Villanueva, E.; Glorio, P. y Baquerizo, M. (2015). Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de *sacha inchi* (*Plukenetia volubilis* L.). *Scientia agropecuaria*, 6(3), 155-163.
- Sherwin, E. (1978). Oxidation and antioxidants in fat and oil processing. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 55(11), 809-814.
- Velasco, J.; Dobarganes, C.; Holgado, F. y Marquez Ruiz, G. (2009). A follow-up oxidation study in dried microencapsulated oils under the accelerated conditions of the Rancimat test. *Food Research International*, 42(1), 56-62.
- Villanueva López, E.; Castillo Benites, D. y Rodríguez Páucar, G. (2013). Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de *Sesamum indicum* L. *Scientia Agropecuaria*, 4(3), 173-180.

AUTORES

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA EN EL USO DE FLUIDOS SUPERCRÍTICOS PARA LOGRAR UNA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN LA INDUSTRIA TEXTIL

CHRISTINA ASCENCIO-RAMIREZ

Estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima con conocimientos de informática, gerencia estratégica, mejora empresarial, simulación de procesos, marketing, gestión comercial y administración financiera. Experiencia realizando trabajo voluntario relacionado con la gestión de proyectos, mejora continua y consultoría a micro y pequeñas empresas del Perú.

AGUSTINA MICAELA-BURGOS

Estudiante del décimo superior en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima con intercambio en la Universidad CEU San Pablo (España) en Marketing y Gestión Comercial y Administración y Dirección de Empresas. Actualmente es practicante como Analista de Proyectos de Investigación para el Centro de Estudios en Innovación Textil de la Universidad de Lima durante el período 2020. Ganadora de premios a la mejor idea para L'Oréal, Merck y finalista en concurso para Randstad al 2019.

KIMBERLY BRIGITTE LOPEZ-CRISOSTOMO

Estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima, con conocimientos de administración financiera, gestión de la calidad, planeamiento y control de operaciones, ingeniería económica y diagnóstico y mejora empresarial.

ESTUDIO PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SERVICIO DE CONGELAMIENTO DE CONCHAS DE ABANICO EN EL PERÚ MEDIANTE LA INSTALACIÓN DE UN “EQUIPO DE CONGELACIÓN CRIOGÉNICA”

MARCELO ANDRÉ MORÁN-GÁLVEZ

Ingeniero Industrial por la Universidad de Lima con el desarrollo de la investigación “Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de nitrógeno para el servicio de congelamiento IQF para conchas de abanico”. Con certificación parcial de racionalización del trabajo, tecnología industrial y modelamiento de operaciones. Con curso de especialización de Marketing Digital en CENTRUM en el 2018. Actualmente se desempeña como ejecutivo de ventas en el canal tradicional en Lima para Kimberly Clark.

ALBERTO ENRIQUE CARLOS-CUADROS

Ingeniero Industrial por la Universidad de Lima con el desarrollo de la investigación “Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de nitrógeno para el servicio de congelamiento IQF para conchas de abanico”. Dentro de cursos de actualización destacan “CNC.ETRRx: Introducción al Control Numérico por Computadora” y “Cloud Computing”. Actualmente Jefe de Área Técnica en la empresa Ingeniería y Construcción Peruana.

MEJORA DEL *LEAD TIME* Y PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO ARMADO DE PIZZAS APLICANDO HERRAMIENTAS DE *LEAN MANUFACTURING*

BRUCE ESCUDERO-SANTIAGO

Ingeniero Industrial por la Universidad de Lima, con Posgrado en Gestión del desarrollo Sostenible a través de los Sistemas Integrados por la Universidad de Lima en asociación con Bureau Veritas. Especialista en Implementación y Auditoría de Sistemas Integrados de Gestión, Interpretación de la Norma ISO 9001:2008 y Formación de Auditores Internos de Calidad ISO 9001:2008 en el Instituto de Ingeniería Aplicada (IDIA). Asimismo, con formación de Auditores Internos en ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, Interpretación ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018, y Gestión de los riesgos según la norma ISO 31000:2018. Actualmente se desempeña laboralmente como consultor en Mejora de Procesos y Sistemas Integrados de Gestión.

ESTABILIDAD OXIDATIVA DE LOS ACEITES DE SACHA INCHI (*PLUKENETIA HUAYLLABAMBANA* Y *PLUKENETIA VOLUBILIS*) Y SU IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

RAFAEL ALARCÓN

Ingeniero en Industrias Alimentarias por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Asistente de proyectos de investigación del Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales de la Universidad de Lima.

NANCY CHASQUIBOL

Doctora en Química por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Directora del Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales, CEIAF de la Universidad de Lima.

JOSÉ HUAMÁN

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Practicante del Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales de la Universidad de Lima.

KAREN IPARRAGUIRRE

Ingeniera industrial por la Universidad de Lima. Asistente técnico de laboratorio del Centro de Estudios Ambientales (CEA) de la Universidad de Lima.

IMPLEMENTACIÓN DEL “KAIZEN-INNOVACIÓN DE PROCESOS-JIDOKA” PARA HACER FRENTE A LA COVID-19. UN CASO DE ESTUDIO EN UN HOSPITAL PÚBLICO

MANUEL FRANCISCO SUÁREZ-BARRAZA

PhD en *Management Science* por ESADE Business School de la Universidad Ramón Llull en Barcelona España, con Posgrado de especialización en Administración por Calidad Total y Mejora Continua de la Productividad (*kaizen*) por la Universidad de Sophia y CHU-SAN-REN en Tokio y Nagoya Japón. Ingeniero bioquímico de profesión. Actualmente profesor investigador en la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) en México. Director Académico en la UDLAP, y autor de al menos cincuenta artículos en revistas indexadas y arbitradas a nivel internacional. Autor de nueve libros del tema del *kaizen* y la innovación de procesos, además de ser editor científico de revistas como Dyna Management, Innovar, International Journal of Quality and Service Science y TQM Journal.

METODOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA DE PROCESOS UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE INNOVACIÓN

JACQUELINE LIZARBE

Ingeniera industrial por la Universidad de Lima. Maestra en Administración y Dirección de Empresas de EGADE Business School del Tecnológico de Monterrey, con especialización en Innovación por la Universidad de Yale. Diplomado de Especialización en Gestión de Procesos en la Universidad ESAN y Dirección de Proyectos por PM Certifica. Especialista en el rediseño y mejora de procesos, gestión de riesgos operacionales, innovación de procesos y de negocio y planeamiento estratégico. Docente de la Universidad de Lima y Consultor Senior en BDO Consulting.

MARÍA CLAUDIA AGUILAR

Máster en Administración de Empresas del EGADE Business School del Tecnológico de Monterrey e Ingeniero Industrial por la Universidad de Lima. Líder en la gestión de operaciones y proyectos con más de diez años de experiencia en empresas multinacionales. Orientada a la búsqueda de resultados eficientes a través de la gestión de equipos multidisciplinarios, gestión de procesos y proyectos de mejora continua. Jefa del Centro de Empleabilidad de la Universidad de Lima, con cinco años de experiencia como docente.

ELABORACIÓN DE FILETE SIN PIEL DE PAICHE (*ARAPAIMA GIGAS*, CUVIER 1829) AHUMADO A BAJA TEMPERATURA

DAVID JULIÁN ROLDÁN-ACERO

Ingeniero pesquero con grado de Magíster Scientiae en Tecnología de Alimentos por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Profesor principal de la Facultad de Pesquería UNALM. Decano de la Facultad de Pesquería UNALM (2016-2019). Director de Departamento de Acuicultura e Industrias Pesqueras UNALM (2009-2011). Director técnico del Instituto La Molina Calidad Total Laboratorios (2009-2013). Premio Nacional Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica CONCYTEC-PROCOM 2005. Asesor y consultor de empresas en procesos e ingeniería con énfasis en procesamiento de hidrolizados y concentrados de proteína de recursos hidrobiológicos y desarrollo de productos no tradicionales para consumo humano. Responsable del proyecto desarrollo de productos extruidos tipo pop de cereales y concentrado de proteína de calamar gigante.

ANDRÉS AVELINO MOLLEDA-ORDÓÑEZ

Ingeniero pesquero por la Universidad Nacional Agraria la Molina. Publicaciones de trabajos de investigación en Anales Científicos de la UNALM y Cogent Food & Agriculture. Docente en la UNALM, participación en Campaña Científica del Perú en la Antártida - Antar XXIII. Asistencia a curso internacional sobre procesamiento de pescado en mar de la plata (2000) y cursos nacionales en el ITP sobre procesamiento y conservación de pescado. (Congelado, salado, productos preformados, y otros), participación en proyectos de aplicación e investigación (consumo de anchoveta, papillas para el PROONA, extruidos para niño en edad pre escolar y escolar).

DAVID LUJÁN-TANTARICO

Ingeniero pesquero por la Universidad Nacional Agraria La Molina, con estudios de Maestría en Política y Gestión de la Ciencia, Tecnología e Innovación por la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH). Presentación oral en el Simposio Internacional de Investigación en Cacao de la ICCO (ISCR-2017, Perú) y un póster de investigación para el FENACAMP (2017, Brasil). Asimismo, cuenta con estudios en temas de vinculación Académica e Industria por parte de la Pontificia Universidad Católica de Chile y University of Cambridge, también en temas relacionados a transferencia tecnológica, gestión de la innovación, proyectos de I+D, vigilancia tecnológica, políticas públicas y prospectiva. Con más de cinco años de experiencia, actualmente es especialista en Transferencia e Innovación Tecnológica del CONCYTEC.

JUAN RODOLFO OMOTE-SIBINA

Ingeniero pesquero por la Universidad Nacional Agraria la Molina con maestría en Biotecnología e Innovación Alimentaria en la Universidad Internacional Iberoamericana de México y maestría en Tecnología de Alimentos en la Universidad nacional Agraria La Molina de Perú. Docente asociado del Departamento de Acuicultura e Industrias Pesqueras de la Facultad de Pesquería, consultor de empresas pesqueras. Publicaciones "Elaboración y caracterización de un producto preformado congelado 'listo para el consumo' a base de músculo de bonito (*Sarda chiliensis*)", Elaboración de un hidrolizado de músculo desmenuzado de calamar gigante (*Dosidicus gigas*), con proteasa alcalina, Evaluación de la inclusión de harina de yuca (*Manihot esculenta*) en la elaboración de palitos empanizados en base a músculo de calamar gigante (*Dosidicus gigas*).

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN EN EMPRESAS DE EXPLOTACIÓN DE ROCAS FOSFÓRICAS PARA LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

REINALDO ALFREDO VICTORIA-BONILLA

Ingeniero industrial por la Universidad INCCA de Colombia, especialista en gestión normas de gestión de calidad por la Universidad Santo Tomás - Colombia. Magister en Educación por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. Experiencia laboral en auditorías a diferentes empresas de la región del Huila y más de diez años de experiencia laboral en educación universitaria como docente, par académico de revisión y en dirección de trabajos y artículos. Proyectos de investigación publicados en revistas universitarias, libros impresos y libros digitales como "Identificación de las herramientas de la administración de operaciones en producción que se aplican en las empresas transformadoras de material carbonatado del departamento del Huila", "Niveles de presión sonora en la cadena de producción de las industrias transformadoras de material minero carbonatado en el Departamento del Huila - Colombia", "Gestión del Conocimiento. Perspectiva Multidisciplinaria, volumen 8", entre otros.

RAMIRO GAMBOA-SUÁREZ

Contador público por la Universidad Surcolombiana, especialista en revisoría fiscal y contraloría por la Fundación Universitaria Central. Magíster en Gestión Integrada de la Calidad, Seguridad y Medio Ambiente y doctor en Ciencias Generales por la Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín Urbe. Experiencia laboral como asesor contable y revisor fiscal, así como en el ámbito académico como docente, par académico revisión y en dirección de trabajos y artículos. Investigador con más de veinte publicaciones de artículos en revistas nacionales e internacionales indexadas y libros como "Liderazgo, una mirada desde la proxemia 2017", "Plan de vida organizacional como catalizador en la reinención del desarrollo competitivo de empresas manufactureras de arcilla", "Carteles y Calidad, mercados donde se visualizan convenios de Colusión en Colombia, Calidad del bien o servicio.", entre otros.

NATALIA SANDOVAL-CASTRO

Ingeniera industrial por la Universidad Cooperativa de Colombia. Experiencia laboral en diseño gráfico y de interiores, además, en el ámbito de investigación en semilleros de investigación durante 3 años, desarrollando proyectos como "Estructuración de una línea base de información de las dinámicas de generación de viajes para la Universidad Cooperativa de Colombia sede Neiva" y "Evaluación de distintos materiales para la elaboración del pykrete y su uso para conservar la cadena de frío" con publicación en

la revista *Ingeniería y Región* de la Universidad Surcolombiana, ponencias nacionales e internacionales en congresos universitarios y con REDCOLSI.

PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO LABORAL Y SU INCIDENCIA EN EL DESEMPEÑO LABORAL EN USUARIOS DE PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE DATOS (PVD)

GRETHER REAL

Doctora en Ciencias Técnicas por la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos de Cuba. Ingeniera Industrial por la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos de Cuba. Máster en Prevención de Riesgos Laborales por la Universidad Internacional de La Rioja de España. Docente titular de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Matemática, Física y Química de la Universidad Técnica de Manabí del Ecuador. Cuenta con cinco libros y más de treinta artículos, relacionados con el campo de la Prevención de Riesgos Laborales, la Ingeniería del Factor Humano, Ergonomía, Educación y la Toma de decisiones Gerenciales. Docente de múltiples programas de maestría en su campo de formación. Coordinadora del grupo de investigación de Productividad, Seguridad, Salud y Ambiente (PSSA) de la Universidad Técnica de Manabí.

LILIANA CEDEÑO

Economista por la Universidad Técnica de Manabí del Ecuador. Maestrante en gestión de Talento Humano, con mención en Prevención de Riesgos Laborales por la Universidad Técnica de Manabí del Ecuador. Cuenta con más de quince años de experiencia en el sector financiero, en inclusión financiera y apoyo a la microfinanza. Realizó trabajo en el sector público en el área financiera, en el Registro de la Propiedad de Manta-Ecuador.

ACID MINE DRAINAGE MITIGATION: A REVIEW

DANIEL LAZO

Completed his Bachelor's degree in Industrial Engineering from the University of Lima, Peru. Master's in Industrial Engineering from Purdue University, USA; Graduate Diploma in Metallurgy and Ph.D. in Extractive Metallurgy from WASM, Curtin University, Australia. Work experiences in Peru, USA and Australia. Moreover, research experience worldwide (USA, Japan, Australia and Peru). Three research papers published in Scopus, one more under review and facilitated two presentations in conferences in Germany. Currently holding a position as metallurgical engineer (research & development) in a copper metallurgical company in Peru.

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

Desde 1992, la revista *Ingeniería Industrial* de la Universidad de Lima tiene como objetivo central difundir los resultados de las investigaciones, así como brindar información técnica y científica relativa a dicha rama de la ingeniería. Está dirigida a empresarios de todos los sectores productivos, a docentes y a estudiantes de la especialidad.

Se encuentra indexada en Latindex (www.latindex.org) y en Redalyc, así como en las bases de datos de Dialnet (<http://dialnet.unirioja.es/>) del Centro de Información Tecnológica (<http://www.citrevistas.cl>) y en DOAJ.

1. GENERALIDADES

Esta revista publica tanto trabajos de investigación como de divulgación, que se incluyen en una de las cinco secciones que le dan forma: "Gestión de la Producción", "Calidad y Medioambiente", "Ingeniería de Negocios", "Proyectos Empresariales Industriales" y "Ciencia y Tecnología".

Los trabajos a presentar deben ser inéditos, de indudable aporte científico y no haber sido propuestos para su publicación simultánea en otro medio. Por ello se acepta la colaboración de investigadores y profesionales de la ingeniería y de los negocios que deseen participar en sus páginas. Pueden enviar por vía electrónica sus avances de investigación, artículos, estudios o ensayos acompañados de una carta simple en la cual se haga explícita la cesión de derechos a favor del Fondo Editorial de la Universidad de Lima, para que los publique en soporte impreso o digital.

Las colaboraciones deben estar redactadas con claridad y coherencia, respetando las normas básicas de la ortografía española. Estas deben cumplir con las siguientes características:

Se procesarán en Microsoft Word, en formato simple (una columna), tipografía Times New Roman, en 12 puntos, con espacio y medio de interlínea, el texto justificado y con el margen superior de 3 cm, el inferior de 2,5 cm, el izquierdo de 3 cm y el derecho de 2 cm.

En caso de usar tablas o figuras, estas deben presentarse en orden correlativo, con un título que las describa y la mención de la fuente. Su presentación debe corresponder al estilo APA. Para facilitar su diagramación se deben entregar de la siguiente manera:

- Fotos: en formato .jpg o .tiff con una resolución de 300 pixeles por pulgada.
- Figuras: archivo original en el cual fueron elaboradas.
- Tablas: de ser colocadas como imagen en el documento, enviar archivo original en Microsoft Excel.

Los envíos se realizarán a nombre de María Teresa Noriega Aranibar, editora de la revista, al correo electrónico manorieg@ulima.edu.pe. De existir algún inconveniente, se pueden enviar por correo ordinario, en versiones impresa y digital, a la siguiente dirección: Revista Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Av. Manuel Olguín 125, Lima 33, Perú, o al apartado postal 852, Lima 100, Perú.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA COLABORACIÓN PARA EL ENVÍO

- **Título** (en español e inglés): el título debe reflejar el contenido del trabajo. Debe ser conciso y solo se escribirán con mayúsculas las iniciales de la primera palabra y de los nombres propios.
- **Resumen** (en español e inglés): los resultados de investigaciones deben presentar resúmenes que contengan el objetivo, la metodología y las conclusiones en una extensión de entre 50 y 70 palabras. Si se trata de artículos de divulgación, deben proporcionar una reseña del trabajo.
- **Palabras clave** (en español e inglés): se debe proporcionar una relación de entre cuatro y siete palabras o frases clave, para facilitar la búsqueda en los bancos de información.
- **Contenido**: las colaboraciones tendrán una extensión de 10 páginas como mínimo y 25 como máximo. Cada inciso (subtítulo) debe diferenciarse claramente mediante dígitos.

Para incluir citas se usará la forma autor, año, siguiendo el estilo APA.

- **Referencias bibliográficas**: deben aparecer al final del artículo en orden alfabético y siguiendo el estilo APA.

3. HOJA DE VIDA (RESUMEN)

En no más de seis líneas, el colaborador debe indicar sus grados o títulos académicos, el nombre de la institución de afiliación y el país, el cargo que ocupa o la función que desempeña;

sus publicaciones, si las tuviera, y su dirección electrónica, con el fin de incluir estos datos donde corresponda.

4. PROCESO DE ARBITRAJE Y EVALUACIÓN EXTERNA

El editor de la revista revisa el artículo y, si cumple con las pautas básicas editoriales, lo envía a un árbitro (evaluador externo experto en el tema del artículo) bajo la modalidad de doble ciego, quien revisará el contenido del artículo, lo evaluará y determinará si se publica sin ningún cambio, con cambios sustanciales, pero aprobado en una segunda edición, o si no se publica.

El Comité Evaluador tendrá un plazo de quince días hábiles para presentar su informe de evaluación. En el caso de que los artículos se devuelvan al autor con cambios sugeridos o sustanciales, se requerirá una segunda revisión, para ello el árbitro contará con un plazo de diez días hábiles para emitir su opinión.

Finalizado su trabajo, el Comité Editorial de la revista se reserva el derecho de recomendar o no su publicación, dando aviso a los autores sobre su decisión.

Procedimiento para la evaluación de los factores de riesgo laboral y su incidencia en el desempeño laboral en usuarios de Pantallas de Visualización de Datos (PVD)

Evaluación de los niveles de iluminación en empresas de explotación de rocas fosfóricas para la elaboración de productos agroindustriales en el departamento del Huila

Mejora del *lead time* y productividad en el proceso de armado de pizzas aplicando herramientas de *lean manufacturing*

Implementación del *kaizen* -innovación de procesos- *jidoka* para hacer frente a la Covid-19: un caso de estudio en un hospital público

Acid mine drainage mitigation: A review

Revisión sistemática de literatura en el uso de fluidos supercríticos para lograr una producción más limpia en la industria textil

Estudio para la implantación de un servicio de congelamiento de conchas de abanico en el Perú mediante la instalación de un equipo de congelación criogénica

Metodología aplicada a la mejora de procesos utilizando herramientas de innovación

Elaboración de filete sin piel de paiche (*Arapaima gigas*, Cuvier 1829) ahumado a baja temperatura

Estabilidad oxidativa de los aceites de *sacha inchi* (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) y su importancia en la industria alimentaria