



INGENIERÍA INDUSTRIAL





UNIVERSIDAD
DE LIMA

37

FONDO
EDITORIAL

Revista de la Facultad de
Ingeniería y Arquitectura

Diciembre
2019

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial

Revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura
de la Universidad de Lima
Carrera de Ingeniería Industrial
Núm. 37, diciembre del 2019

Director: Nicolás Salazar Medina

Editora: María Teresa Noriega Aranibar

Comité Editorial:

Juan Jaramillo Posada	(Adelphi University, Estados Unidos)
Sergio Caporali Filho	(Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico)
Gonzalo Redondo de Cardeño	(CEU Universities, España)
Alfonso Sarmiento Vásquez	(Universidad de La Sabana, Colombia)
Gabriela Gallardo Marcos	(Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina)
Ruiz Ruiz	(Universidad de Lima, Perú)
Silvia Ponce Álvarez José	(Universidad de Lima, Perú)
L. Zayas-Castro	(University of South Florida, Estados Unidos)

© 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: Karissaa/Shutterstock.com

Publicación anual

Impresa en el Perú

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

ISSN 1025-9929

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 95-0832

COMITÉ EVALUADOR

José Bauer Cuya	(Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú)
José Luis Castillo Sequera	(Universidad de Alcalá, España)
Alfonso Ramón Chung Pinzás	(Universidad Ricardo Palma, Perú)
Elsie Bonilla Pastor de Céspedes	(Universidad de Lima)
Ana María Almandoz Núñez	(Universidad de Lima)
Ezilda Cabrera Gil-Grados	(Universidad de Lima)
Bertha Díaz Garay	(Universidad de Lima)
Fernando Kleeberg Hidalgo	(Universidad de Lima)
Álex Vidal Paredes	(Universidad de Lima)
William Quintana Rivero	(Universidad de Carabobo, Venezuela)
Claudia Mora Huertas	(Universidad Nacional de Colombia, Colombia)
Amparo Zapata Gómez	(Universidad Nacional de Colombia, Colombia)
Luz Rayda Gómez Pando	(Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú)
Felipe de Mendiburu Delgado	(Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú)
Marisol Gordillo Suárez	(Universidad Autónoma de Occidente de Cali, Colombia)
Daniel Cáceres Apolaya	(Universidad Corporativa Intercorp, Perú)

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	9
PRESENTATION	11
GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN / PRODUCTION MANAGEMENT	
Cadena de suministro para la exportación de granos andinos a Estados Unidos	15
<i>José Guardián Sedano, Indira Trujillo Velásquez</i>	
Análisis del riesgo en un modelo multinivel de suministro	33
<i>Jesús Escalante, Ileana Camila Monsreal Barrera, Alan García Lira, Jorge Santos Flores, Josep Casanovas-García</i>	
CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE / QUALITY AND ENVIRONMENT	
Análisis de una operación industrial de suministro de combustible diésel B5 y desarrollo de una solución de optimización	53
<i>Mauricio Azálgara Bedoya</i>	
Uso de modelos de calidad en las mypes productoras de <i>software</i> de Lima	81
<i>Miriam Amable Ciudad, Rosa Millones Rivalles</i>	
Estudio comparativo del uso de dos tecnologías como factor de calidad en el procesamiento de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd)	101
<i>Percy Arapa Carcasi</i>	
Comparación de tres algoritmos de prueba de permutación aplicados a las medias multivariadas de dos muestras independientes	113
<i>Jaime Carlos Porras Cerrón</i>	
Optimización de la rugosidad y la dureza del acero 12L-14 empleando la metodología de superficie de respuesta	125
<i>Wilson Arenas, Oscar Martínez, Marylin Martínez, Ricardo Otero-Caicedo, Martha Manrique</i>	

INGENIERÍA DE NEGOCIOS / BUSINESS ENGINEERING

**Agroindustria de la quinua a partir de las variedades Salcedo INIA,
rosada de Taraco y Cancolla en la mancomunidad municipal
Qhapaq Qolla, Puno, 2016** 155

Rubén Wilfredo Jilapa Humpiri

PROYECTOS EMPRESARIALES INDUSTRIALES / INDUSTRIAL BUSINESS PROJECTS

**Consideraciones para la instalación de una planta productora
de un complemento nutricional para niños** 181

Lorena Godefroy, Margarita Briceño

**Estudio para la elaboración de compotas para bebés a partir
de durazno enriquecido con maca, quinua, kiwicha y cañihua** 203

Horacio Aldana Minaya, Ricardo Rivas Romero

CIENCIA Y TECNOLOGÍA / SCIENCE AND TECHNOLOGY

Fibra dietaria: una alternativa para la alimentación 229

Rafael Villanueva Flores

AUTORES 243

**INFORMACIÓN PARA LOS COLABORADORES Y NORMAS
PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS** 251

PRESENTACIÓN

La trigésima séptima edición de la revista *Ingeniería Industrial* incluye artículos que provienen de diferentes áreas de nuestra disciplina y que representan aportes de académicos y profesionales peruanos y extranjeros, cuidadosamente seleccionados y revisados por nuestro equipo editorial y el grupo de evaluadores de diversas partes del mundo.

Durante este año 2019, la Universidad de Lima ha realizado un cambio en su imagen institucional que es también de fondo y que está descrito en su nueva declaración de propósito: inspirar al país con las nuevas formas de hacer empresa, con la reafirmación del compromiso con la sociedad a través del cual la Universidad busca establecerse como un referente ético para ella, y aportar en la mejora continua y en el trabajo interdisciplinario implementando la transformación digital y diseñando procesos ágiles y sostenibles. Así, *Ingeniería Industrial* renueva su compromiso con la producción del conocimiento científico en sus áreas de investigación.

Una de las fortalezas de la ingeniería industrial es su contribución al desarrollo de proyectos innovadores en todos los ámbitos, algunos de ellos tan sensibles como la nutrición, especialmente infantil. En este número incluimos dos artículos relacionados con esta problemática: uno que aborda el proceso de instalación de una planta de producción para un complemento nutricional infantil, y otro sobre la elaboración de compota de durazno y cereales andinos como complemento nutricional para menores.

La importancia de la agroindustria y de la innovación en esa área central del desarrollo se aprecia en el artículo de Jilapa Humpiri sobre el diseño de alternativas para la producción de productos transformados con base en la quinua —un cultivo mundialmente reconocido por sus propiedades proteicas—. En este mismo ámbito de la agroindustria se incluye también un artículo que analiza los problemas (diagnóstico de causas y planteamiento de alternativas de solución) de la cadena de suministro de los granos andinos para su exportación a Estados Unidos. Otro artículo sobre este tema compara el uso de dos tecnologías como factor de calidad en el procesamiento de la quinua.

Siempre presentes, los temas de calidad y sostenibilidad están representados por una investigación que establece lineamientos de gestión integral del suministro de

combustible para un proyecto de gran minería con base en un caso específico en el que estos procesos vivieron dificultades que pueden ser salvadas mediante aplicaciones de la ingeniería industrial. Otro artículo aborda el uso de la estadística como herramienta fundamental para lograr la calidad, en él se comparan tres algoritmos de prueba de permutación aplicados a escenarios obtenidos mediante simulación de Monte Carlo, considerando las medias multivariadas de dos muestras independientes. En este ámbito, otra contribución muestra que mediante el uso de la metodología de superficie de respuesta se pueden optimizar las características de materiales industriales como el acero.

En nombre de los autores, los colaboradores y el equipo, tengo el agrado de poner a disposición de los profesionales y estudiantes de ingeniería y del público interesado la presente edición, agradeciendo el tiempo que dediquen a la lectura y el análisis de los artículos publicados y, ¿por qué no?, a la difusión que los lectores puedan hacer de nuestra revista.

Nicolás Salazar Medina

Director

PRESENTATION

The thirty-seventh edition of the *Ingeniería Industrial* journal includes articles from different areas of our field that represent contributions from Peruvian and foreign scholars and professionals, carefully selected and reviewed by our editorial team and group of evaluators from around the world.

During this year 2019, the University of Lima has changed its institutional image, which is also a matter of substance. This change is described in its new statement of purpose: to inspire the country with new forms of doing business, reaffirming the commitment to the society through which the University seeks to establish itself as an ethical model for the society, and to contribute to the continuous improvement and interdisciplinary work by implementing digital transformation and designing agile and sustainable processes. In this manner, *Ingeniería Industrial* renews its commitment to the production of scientific knowledge in its research areas.

One of the industrial engineering's strengths is its contribution to the development of innovative projects in all areas, some of them as sensitive as nutrition, particularly in children. In this issue, we included two articles related to this problem: one that addresses the process of setting up a manufacturing plant for producing a nutritional supplement for children, and another on the preparation of a peach purée with Andean cereals as a nutritional supplement for children.

The importance of agro-industry and innovation in that central development area is recognized in the article written by Jilapa Humpiri on the design of alternatives for the production of products processed from quinoa—a crop known worldwide for its protein properties—. This same area of agro-industry also includes an article that analyzes the problems (diagnosis of causes and proposal of alternative solutions) of the supply chain of Andean grains for exportation to the United States. Another article on this topic compares the use of two technologies as a quality factor in quinoa processing.

The topics of quality and sustainability are always present. They are represented by a research that establishes the guidelines for the comprehensive fuel supply management of a major mining project based on a specific case in which these processes

experienced difficulties that may be overcome through applications of industrial engineering. Another article addresses the use of statistics as an essential tool for obtaining quality. It provides a comparison of three permutation test algorithms applied to scenarios obtained through the Monte Carlo simulation, taking into account the multivariate means of two independent samples. In this area, another contribution demonstrates that, by using the response surface methodology, the characteristics of industrial materials such as steel may be optimized.

On behalf of the authors, collaborators and team, I am pleased to make available this edition to engineering professionals and students, and the public concerned. I appreciate all the time dedicated by readers to read and analyze the articles published and, why not? to spread our journal.

Nicolás Salazar Medina
Director

**GESTIÓN
DE LA PRODUCCIÓN**

Production Management

CADENA DE SUMINISTRO PARA LA EXPORTACIÓN DE GRANOS ANDINOS A ESTADOS UNIDOS

JOSÉ GUARDIÁN SEDANO, INDIRA TRUJILLO VELÁSQUEZ*

Universidad de Lima

Recibido: 13 de abril del 2018 / Aprobado: 11 de abril del 2019

doi: 10.26439/ing.ind2019.n037.4540

RESUMEN: Los granos andinos peruanos tienen potencial tanto a nivel local como internacional; sin embargo, en los últimos años su precio ha disminuido por envíos rechazados por incumplimiento de calidad. El desarrollo de una cadena de abastecimiento óptima beneficiaría a todos sus actores, facilitaría el flujo de productos e información, propiciaría un mejor cumplimiento de los requisitos de los clientes y promovería la innovación para procesar mejores productos.

Palabras clave: cadena de suministro / granos andinos / exportación / orgánico / Estados Unidos / optimización

SUPPLY CHAIN OF ANDEAN GRAINS FOR EXPORTATION TO THE UNITED STATES

ABSTRACT: Peruvian Andean grains have potential both locally and internationally; however, in recent years, prices have decreased because of rejected shipments due to quality noncompliance. The development of an optimal supply chain would benefit all its members, facilitate the flow of products and information, foster better compliance with customers' requirements, and promote innovation for developing better products.

Keywords: supply chain / Andean grains / exportation / organic / United States / optimization

* joseguardian91@gmail.com / indiratrujillov@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro está compuesta por diferentes elementos cuyo comportamiento afecta el desempeño del sistema ante las condiciones variantes del mercado. El principal obstáculo es que la cadena es analizada como un área aislada y no se toma en cuenta que envuelve decisiones de la empresa como un todo. Para ello es necesario poseer herramientas de gestión que permitan tomar decisiones estratégicas brindando una perspectiva global de la empresa, lo que involucra aspectos tanto productivos como logísticos, buscando dos objetivos: la coordinación de las decisiones empresariales con la cadena de suministro y la rentabilidad (Guardián Sedano y Trujillo Velásquez, 2018).

Con el crecimiento constante de la demanda global de productos orgánicos, el Perú tiene una ventaja sobre otros países para convertirse en un país orgánico; su ubicación geográfica y sus cuatro regiones naturales (incluyendo al océano Pacífico) proporcionan la presencia de 84 de los 114 microclimas que existen en el mundo (Ministerio de Defensa del Perú, 2005). Además, es una de las naciones con la mayor variedad de productos orgánicos y derivados de los mismos, y cuenta con el mayor porcentaje de hectáreas dedicadas a la agricultura orgánica, destacando a nivel mundial en el cacao y el café (IFOAM, 2014).

El consumo de alimentos orgánicos ha aumentado en los últimos años, principalmente en Estados Unidos, un crecimiento con respecto al año anterior de 10,6 % (IFOAM, 2017), donde el consumo se mantiene por los beneficios que ofrecen estos alimentos y especialmente por la garantía de que no se han utilizado fertilizantes ni plaguicidas sintéticos en los procesos de cultivo, para el caso de productos agrícolas. En cuanto a los productos de origen ganadero, se consideran orgánicos cuando los animales son criados sin aplicación de antibióticos, hormonas de crecimiento o alteraciones genéticas.

El mayor mercado de alimentos orgánicos es el de Estados Unidos, donde las ventas totales alcanzan cerca del 13 % (IFOAM, 2017). Los productos frescos constituyen la categoría más grande. Más del 10 % de todas las ventas de frutas y hortalizas en este país son productos orgánicos (IFOAM, 2017).

Los granos andinos orgánicos, liderados por la milenaria quinua, vienen conquistando los mercados internacionales y sobre todo el difícil mercado de Estados Unidos. En el 2015, Perú ocupó el primer puesto como exportador de quinua a Estados Unidos (Minagri, 2015).

Entre los granos andinos que produce el Perú están la quinua, la kiwicha, la cañihua y el tarwi (chocho). Estos se producen en gran parte del territorio peruano, sobre todo en los territorios altoandinos, aproximadamente entre 2300 y 3900 msnm. Para el 2016, de las más de 100 mil toneladas de granos andinos producidas, más del 40 % se produjo en la región Puno (Minagri, 2017).

2. PROBLEMÁTICA

La demanda y producción mundial de alimentos orgánicos y de granos andinos sigue aumentando (IFOAM, 2017), lo que dificulta una mejora de los precios internacionales en los mercados mayoristas y mercados *boutique* dentro de Estados Unidos. Además, el crecimiento de la demanda de granos andinos ha provocado un crecimiento desmesurado y desordenado de la producción nacional, especialmente de quinua.

El modelo actual de comercialización de granos andinos se caracteriza por su considerable número de intermediarios, que originan una múltiple gama de márgenes de comercialización y, por ende, provoca una distorsión de las ganancias y descontento en los actores menos favorecidos, los productores.

Tomando como ejemplo a la quinua, su precio en campo es en promedio de PEN 7,53 / kg, y su precio en los mercados locales ronda los PEN 10 a 12 (MINAGRI, 2016). Sin embargo, el precio en los *retails* peruanos puede llegar a ser tres veces más alto que el precio en los mercados locales. Además, si esta quinua hubiera sido producida de manera orgánica, se podría vender en cuatro veces más que en los mercados locales.

En la tabla 1 se resume el margen de ganancia de la quinua con respecto a su precio en campo.

Tabla 1
Márgenes de ganancia de la quinua (general)

	Precio (S/kg)	Margen de ganancia %
Precio en campo	4,65	
Precio mercado	10	53
Precio <i>retail</i> (Perú)	30	84
Precio <i>retail</i> orgánica (Perú)	45	90

Elaboración propia con datos de Minagri, 2016

La cadena de suministro actual tiene un primer grupo de intermediarios a nivel rural: el recolector y el acopiador. El primero trabaja directamente con pequeños productores y, como su nombre lo indica, recolecta hasta conseguir un volumen aceptable para venderlo al mayorista. El acopiador tiene contacto con todos los productores independientes, trabaja con volúmenes mayores que el recolector y asegura que la mercadería sea de calidad. Después interviene el intermediario mayorista que contacta a las empresas locales envasadoras y a los mercados locales que venden los granos andinos a granel.

En algunos casos, esta intervención está de más y ocasiona una repartición del valor desequilibrada debido a que las ganancias del productor son bajas, y provoca,

por consiguiente, desaliento en las poblaciones rurales dedicadas al cultivo de estos productos.

Como se ha descrito anteriormente, existe gran número de actores que presentan un alto grado de heterogeneidad, básicamente diferenciados por su capacidad económica.

En cuanto a la producción primaria de granos andinos (quinua y otros productos para el consumo familiar) de las regiones de Puno y Ayacucho, de 324 000 agricultores, el 24 % son menores o de tercera edad (OIT, 2015). Se han identificado dos tipos de actores:

- a) Productores muy pobres. Representan el 65 % de la población. Su producción es de subsistencia y, en todos los casos, son autoempleados, es decir, trabajan sus propios terrenos y el cultivo de granos andinos no es su principal actividad. Destinan hasta dos hectáreas pues tienen una producción diversificada (OIT, 2015).
- b) Productores asociados. Representan el 35 % de la población. A este grupo pertenecen productores directos, pequeños, medianos y grandes agricultores. Todos están organizados y forman parte de una cooperativa (OIT, 2015).

En la tabla 2 se describen los problemas que presenta la producción primaria, considerando los resultados de la investigación.

Tabla 2
Identificación de los principales problemas en la producción primaria

Operación	Limitante o problema identificado
Compra y selección de semilla	La oferta y el acceso a semillas de calidad y certificadas por el Instituto Nacional de Innovación Agraria del Ministerio de Agricultura y Riego (INIA) para productores pobres y muy pobres son limitados.
Preparación del suelo	Para el caso del sembrado de granos orgánicos es necesario que la tierra y los insumos utilizados estén certificados como orgánicos. Si el suelo no es orgánico, es necesario realizar una transición hacia fertilizantes orgánicos y para obtener la certificación de suelo orgánico, otorgada por organismos como Servicio Nacional de Sanidad Agraria (Senasa) o certificadoras privadas como BCS OKO Garantie; es necesario que esté como mínimo dos años sin uso de agroquímicos sintéticos, lo que genera altos costos de preparación de terreno.
Instalación del cultivo	Se realiza bajo una serie de prácticas agrícolas tradicionales que no permitan mejorar los rendimientos de producción por hectárea.
Siembra	Los agricultores carecen del conocimiento necesario para escoger la semilla apropiada al ecosistema. Además, la producción orgánica se encuentra atomizada (productores con parcelas de una a diez hectáreas).
Mantenimiento	Desconocimiento de los productores sobre las nuevas técnicas de cultivo, riego y nuevas tecnologías. El paquete tecnológico actual es nulo o inadecuado a cada variedad y según el ecosistema.

(continúa)

(continuación)

Cosecha	En su mayoría se realiza con técnicas agrícolas tradicionales manuales. Solo cuando se trata de asociaciones y cooperativas integradas se realiza con ayuda mecánica y técnica.
Almacenamiento	En esta parte del proceso es posible cuantificar las pérdidas de poscosecha. Existen deficiencias en el acceso a tecnología para reducir desperdicios y una gran necesidad de innovar en tecnologías.
Venta	Se realiza en pequeñas cantidades y de forma individual. Hay desinformación respecto de los precios y no existe un control de calidad adecuado, alineado con las exigencias del mercado internacional.

Elaboración propia

En cuanto a los actores que participan en el acopio y procesamiento básico, se ha encontrado que se caracterizan por la presencia de pequeñas empresas, microempresas o cooperativas locales. Se caracterizan por ser negocios familiares, capaces de captar el 80 % de la producción local. Con respecto a las instalaciones, se trata de plantas de procesamiento de pequeña escala.

Tabla 3

Identificación de los principales problemas en los centros de acopio

Factor	Limitante o problema identificado
Transporte	Usualmente tercerizado y con un manejo que se reduce a poner el producto en sacos o costales. Los productos recorren grandes distancias debido a la lejanía de las zonas productivas.
Procesamiento	Los granos andinos deben ser sometidos a diferentes procesos de acondicionamiento para ser consumidos, que requieren inversión adicional a la que los pequeños agricultores no tienen acceso. La falta de conocimiento y tecnificación impide dar valor agregado a los granos andinos. Según la OIT, las empresas más grandes y tecnológicamente desarrolladas se dedican a procesar las materias primas de trigo, soya, café o cacao, dejando de lado el procesamiento de cultivos alternativos. Altas pérdidas en el acondicionamiento; hasta del 30 %, principalmente por ataques de aves (Meyhuay, 2013).
Tecnología	La ausencia de tecnología, equipamiento y maquinarias modernas para la agricultura afecta a todos los productos que tienen un alto potencial y perspectivas por sus propiedades nutritivas, como son los granos andinos orgánicos. Capacidad de acopio a pequeña escala. Se ha identificado que los acopiadores locales desarrollan conglomerados de variedades de quinua orgánica.
Calidad	Es muy común ver adulteración en el lugar de procedencia de la quinua, sobre todo en el mercado de Lima. No existe un procedimiento de trazabilidad de los granos andinos.

Elaboración propia

En la industrialización y comercialización participan las empresas que acopian, benefician, industrializan y comercializan los granos andinos. Estos actores se articulan de manera directa con los comerciantes del producto en el mercado internacional. Poseen una organización administrativa y apoyo financiero suficiente como para cumplir los trámites y certificaciones que exige el mercado internacional.

Tabla 4
Identificación de los principales problemas de comercialización e industrialización

Operación	Limitante o problema identificado
Trámites y documentación	El tiempo que toma en el Perú realizar trámites es largo. Afecta directamente a la competitividad y a la calidad de las exportaciones a través del incremento de tiempos. Los certificados orgánicos pueden tomar entre 15 y 22 días. Y aunque existen trámites que se pueden realizar en paralelo, los tiempos que más se extienden son los que implican las pruebas microbiológicas del producto y las certificaciones fitosanitarias emitidas por el Senasa.
Logística en puerto	Existe congestión en el puerto del Callao y esto se debe principalmente al ineficiente acceso de transportistas. La demora en la inspección de la mercadería en los contenedores implica que el contenedor se abrió más de una vez para ser inspeccionado y la mercadería queda expuesta a pérdidas físicas e incluso a daños físicos. El 15 % del total de la mercadería en el puerto del Callao es inspeccionado. El inspector tiene que movilizarse hasta el lugar del contenedor lo cual genera costos administrativos y de seguridad. El 10 % de la carga es inspeccionado mediante escáner pero, debido a la inseguridad de la zona donde se encuentran los escáneres, los agentes de aduana solicitan una inspección física que es invasiva y compromete la integridad de la carga (Banco Mundial, 2016).

Elaboración propia

La cadena de abastecimiento de granos andinos se puede sintetizar en el esquema de la figura 1.

3. SOLUCIÓN INTEGRADA

Con base en los problemas encontrados en la cadena de abastecimiento, se propone una nueva estructura en la que los agricultores formen asociaciones que les permitan aumentar su poder de negociación en todo ámbito, tanto para la adquisición de insumos como para la venta del producto final.

Esto desarrollaría la cadena de abastecimiento para granos andinos. Para ello sería necesario el apoyo de entidades académicas que faciliten conocimiento técnico para la innovación de productos y el mejoramiento de procesos. Además, un segundo aspecto sería transformar su producción tradicional a orgánica, que es más rentable y se solicita en los mercados más grandes del mundo. Si bien su producción es más costosa, se obtienen mejores beneficios a largo plazo.

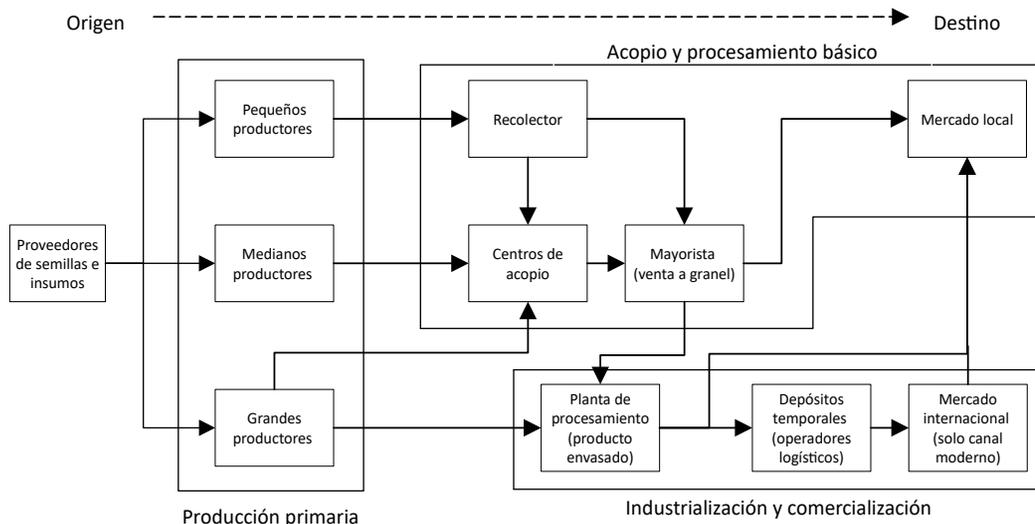


Figura 1. Modelo actual de la comercialización de granos andinos

Elaboración propia

3.1 Solución para el aprovisionamiento de semillas e insumos orgánicos

El Perú tiene gran potencial para ser un proveedor de semillas de calidad en Latinoamérica. En el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) se están desarrollando programas de semillas mejoradas para los cultivos estratégicos, donde las semillas pasan por sistemas de control que aseguran la calidad genética, sanitaria, fisiológica y física durante su producción (Perú planea elevar el uso de semillas mejoradas, 2017). A través de este programa, el INIA ofrece servicios de certificación de semillas a nivel nacional a cargo del Área de Regulación de Semillas.

Para el aprovisionamiento de semillas e insumos orgánicos es necesario instituir normas, procedimientos y controles que aseguren la calidad de los mecanismos productivos dentro de un proceso de certificación orgánica. Para ello es importante que exista mayor accesibilidad física y económica a semillas de calidad, y esto ayudará a mejorar los rendimientos y la oferta de semillas.

Además, el proceso óptimo de la cadena debería tratar de involucrar a los pequeños y medianos agricultores, capacitados en el conocimiento de la normativa que involucra la producción orgánica, para certificar a las unidades productivas. Esto también debe involucrar a la empresa privada, con el fin de asegurar que lo que se comercializa está realmente certificado.

3.2 Producción primaria

En los procesos de siembra y cosecha deben mantenerse las buenas prácticas agrícolas (BPA)¹ de producción entre los pequeños y medianos productores, con el fin de reducir el riesgo de incumplimiento de las especificaciones del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés), normas y directrices nacionales e internacionales. En el Perú las BPA que más se incumplen son el mantenimiento e higiene en todas las etapas de producción; el registro correcto de fertilizantes y plaguicidas adecuados, y el conocimiento del tipo de suelo y su correcta explotación según sus limitantes.

En el caso de la producción orgánica, el Senasa es la autoridad nacional encargada del control de la producción orgánica. Aporta en la creación de normas y en la aplicación de penalidades para dar garantías al producto orgánico en los mercados nacional e internacional. El Reglamento Técnico para los Productos Orgánicos, aprobado por el Decreto Supremo 0442006AG, implanta las exigencias para los productos orgánicos tomando como referencia el *Codex Alimentarius*² y normas de países consumidores de producción orgánica peruana.

Es necesario que entidades públicas como el Senasa, así como la empresa privada, apoyen la certificación para tener una oferta de calidad exportable que mantenga y amplíe la demanda de los productos orgánicos peruanos en los mercados internacionales. Asimismo, que juntos consoliden la información estadística para obtener información del universo y del potencial de los granos andinos orgánicos en el país pues, hasta hoy, la información es limitada.

El rol que deben de cumplir los agricultores dentro de la nueva cadena logística es la producción de los granos andinos con los criterios de calidad adecuados. Deben cumplir las exigencias requeridas para la producción orgánica, lo que incluye no usar pesticidas u otro tipo de agroquímicos que puedan afectar la calidad e impedir la certificación, y adecuarse a las buenas prácticas de manufactura, que incluyen protocolos de limpieza y seguridad alimentaria.

Se debe apuntar a formar asociaciones con otros pequeños y medianos agricultores para trabajar con economías de escala y alcanzar un poder de negociación adecuado que les permita negociar costos de insumos y materiales para la producción así como los precios en el mercado.

1 Las BPA son "prácticas orientadas a la sostenibilidad ambiental, económica y social para los procesos productivos de la explotación agrícola que garantizan la calidad e inocuidad de los alimentos y de los productos no alimenticios" (FAO, 2017).

2 Normas internacionales de los alimentos (FAO / OMS; <http://www.fao.org/fao-who-codex-alimentarius/es/>).

Un caso exitoso es el de la Asociación de Productores Cacaoteros y Cafetaleros del Amazonas (Aprocam), fundada en el 2003. Cuenta con 235 ha de producción de café en asociación y 495 ha de cacao. Aprocam exporta sus productos directamente y gestiona proyectos productivos a favor de todos los socios, con asistencia técnica y trabajo comunitario, entre otras características (Aprocam, 2019).

3.2.1 Cooperativas

La OIT (s. f.) señala que las cooperativas son una alternativa empresarial para el Perú porque promueven la inclusión social, económica y financiera de miles de agricultores. Al estar consolidados en unidades de negocio tienen mayor poder de negociación frente a las empresas acopiadoras o comercializadoras.

La constante capacitación es importante para mejorar las habilidades de los dirigentes campesinos, de modo que sean capaces de proporcionar o replicar los conocimientos para mejorar la gestión de sus organizaciones.

Un modelo es el de la Asociación de Productores Calala Acora y la Asociación Nacional de Productores Ecológicos de Puno, que alcanzan en conjunto extensiones entre 500 y 2000 ha (Banco Mundial, 2016).

3.3 Comercialización primaria

El mercado demanda solo algunas variedades de quinua (variedades comerciales) y estas son las que deben ser más producidas ya que son las que van a generar ingresos y satisfacer necesidades.

Los nuevos mercados ofrecen oportunidades de generación de ingresos para los pequeños productores que conservan la diversidad de cultivos andinos (Rojas, Soto, Pinto, Jäger y Padulosi, 2010).

Las cooperativas ya tienen comprometidos los volúmenes de producción con las empresas exportadoras, que también son manejadas a través de acopiadores locales.

3.3.1 Acopiadores

Las asociaciones de productores acopian, almacenan y venden los granos andinos. En esta fase intervienen los acopiadores intermediarios, que adquieren la producción en ferias locales o compran la cosecha directamente, suministrando insumos para las próximas siembras.

La principal labor de los acopiadores consiste en trabajar con el grano, cuya calidad depende principalmente de los eslabones anteriores, así como del tipo de envase y de ambientes donde se realice el acopio. Aunque la quinua orgánica es un grano con un

tiempo de vida adecuado, la falta de almacenes apropiados y un limitado control de plagas inciden en el incremento de impurezas (Suca y Suca, 2008).

3.4 Producción secundaria

En este eslabón debe promoverse la unificación de los productores para fortalecerse y obtener mejores condiciones de negociación de productos, con mayor volumen, estandarización adecuada, clasificación fácilmente identificable y homogeneidad (color, tamaño, procedencia, etcétera) y, en los productos certificados, una mayor interacción entre productor orgánico, procesadora y exportador, a nivel regional y nacional (IICA, 2015).

En esta parte del proceso las empresas que agregan valor a los granos andinos pueden ser transformadoras y empaquetadoras. En ambos casos negocian los volúmenes de venta de granos andinos con las empresas exportadoras, las cuales detallan los requisitos establecidos por las empresas de certificación orgánica y los organismos reguladores del país de destino (USDA). Además, debido a que deben cuidar las condiciones sanitarias del producto, deben contratar un proveedor logístico para el traslado a los almacenes de las empresas exportadoras.

3.4.1 Acondicionadores y empaquetadores

Las empresas dedicadas al acondicionamiento y empaquetado intervienen en la cadena logística como un intermediario entre las empresas acopiadoras o mercados locales y las entidades exportadoras o bien cumplir la función de estas últimas. Deben de considerar los criterios técnicos de calidad en su producción tanto como una empresa transformadora. El principal valor agregado que ofrecen es la inocuidad y seguridad de empaque que para productos orgánicos es algo esencial.

La quinua y el tarwi contienen compuestos no nutricionales y de sabor amargo que deben ser separados antes de su disposición para el consumo. Por sus impurezas (pajas, piedras, tierra, etcétera) y por tener un sabor amargo evidente, los granos de quinua no deben ser usados directamente en la fabricación de alimentos. Con un proceso de limpieza y desamargado se eliminan los compuestos químicos en los que predominan las saponinas (León *et al.*, 2007). La eliminación de la saponina y otras impurezas tiene un costo aproximado de PEN 0,30 por kg.

Por otro lado, el empaque cumple funciones muy importantes para el producto final: contiene y preserva el contenido lo más eficientemente posible; debe proteger el contenido de amenazas externas, incluyendo deterioro, roturas, daños causados por condiciones ambientales externas, hurto y robo, y debe actuar como un “vendedor silencioso” del producto, promoviendo el producto en el punto de venta. El empaque debe ser atractivo a primera vista para los compradores y generar deseo de volver a adquirirlo. Puede ser de tres tipos: primario (tiene contacto directo con los alimentos), secundario

(una caja o envoltura que puede contener un solo paquete primario o varios; tiene como principal propósito minimizar los riesgos para el producto en sus envases primarios durante el almacenamiento, transporte y distribución) y terciario (unifica empaques secundarios en cargas para *pallets* o unidades de envío para distribución; su objetivo es facilitar el manejo automatizado de cantidades mayores).

La información en la etiqueta del empaque primario debe estar correctamente rotulada y conforme con los requisitos legales y ambientales del mercado objetivo. Debe incluir el nombre de los alimentos que contiene el producto, la cantidad neta, una lista de los ingredientes usados, información nutricional, tamaño de porción y afirmaciones del producto (por ejemplo, "Bajo contenido en grasas", "Alto contenido de azúcares", entre otros). Para el caso de un producto orgánico, se deben incluir las normas internacionales voluntarias que cumple, normas obligatorias como la certificación BASC y acreditaciones obtenidas, como ser 100 % orgánico, con nombre y dirección de la última unidad de producción o proceso en que se manipuló el producto, número de lote del producto, mes y año de cosecha, identificación del organismo de certificación y, para el caso de Estados Unidos, sello del USDA.

Las etiquetas de productos orgánicos son diseñadas para dar al consumidor la confianza de que el producto adquirido cumple las regulaciones.

En el caso de Estados Unidos, la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA por sus siglas en inglés) establece, regula y controla los criterios de evaluación para los empaques que tienen contacto con los alimentos importados. Estos estándares se encuentran en la *Guía para la industria: Preparación de envíos de pre-mercado para sustancias de contacto con alimentos: Recomendaciones sobre la química* (FDA, 2007).

Por ejemplo, en cuanto al envase y el embalaje, la quinua a granel se pone en sacos de polipropileno con doble papel interior de 25 kg o en sacos de papel multipliego de 25 kg. Además, para los envases individuales se utilizan bolsas de polipropileno biorientado de 500 g (Minagri, 2012).

Las empresas empaquetadoras, además de preocuparse por ofrecer un buen empaque, deben ofrecer un producto de calidad desde el campo; libre de impurezas y con garantía orgánica.

3.4.2 Transformadoras

Las empresas transformadoras son las que tienen entre sus materias primas a los granos orgánicos para fabricar diversos productos combinándolos con chocolate, frutas, jugos de fruta, otros granos para crear barras energéticas, entre otros. Deben invertir constantemente en innovación y desarrollo de productos en coordinación constante con las entidades o empresas exportadoras. Se busca transformar los granos andinos para ganar nuevos mercados, diversificar la cartera y ganar nuevos clientes. Deben mantener

sus procesos de producción apegados a las especificaciones técnicas y sanitarias requeridas por los organismos certificadores (Senasa, Dirección General de Salud Ambiental [Digesa], USDA) para ser competitivos en el mercado estadounidense.

Además, las universidades deben aportar investigación e innovación en nuevos productos, algo muy importante para conquistar más mercados.

3.5 Comercialización

3.5.1 Empresa exportadora

En el Perú cualquier persona (natural o jurídica) con Registro Único de Contribuyentes (RUC) puede realizar exportaciones, ya sea que emita facturas o boletas. En el caso de personas jurídicas se debe detallar en la razón social, dentro de la "Minuta de Constitución", la actividad que desarrollan (comercio nacional e internacional, producción, comercialización, etcétera). Además, en la ficha RUC de la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT), en el acápite de actividad "Comercio exterior", se debe indicar "Exportador-importador".

Es la empresa exportadora la que contacta con el cliente del exterior y coordina el envío del pedido de acuerdo a las especificaciones solicitadas. La empresa debe alinearse con los requisitos de la USDA y certificarse según sus parámetros. Además, para poder comercializar a Estados Unidos se debe contar con la certificación BASC.

3.5.2 Agente de aduana

A partir de USD 2000 en valor FOB (*free on board*, "puesto en puerto de carga") se requiere la contratación de un agente de aduana y debe llenarse la Declaración Única de Aduanas (DUA). Por debajo de ese valor no es necesaria; en su lugar debe llenarse una declaración simplificada (DS) (Promperú, 2012).

El agente de aduana es el responsable autorizado por el interesado en realizar la operación aduanera (empresa exportadora). Su trabajo es participar en todas las fases del traslado de la mercadería comercializada.

3.6 Aprovisionamiento de servicios especializados

3.6.1 Entidades certificadoras

Las organizaciones dedicadas a la producción de alimentos agropecuarios cuyo destino sea el consumo humano directo o la exportación, deben contar con autorización sanitaria del Senasa.

Entre los requisitos para la certificación sanitaria están los siguientes:

- Manual de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), basado en los lineamientos descritos en el *Codex Alimentarius* correspondientes a cada grano.
- Plan de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP), basado en los lineamientos descritos en el *Codex Alimentarius* para cada grano.
- Planes Operativos Estandarizados de Sanitización (POES).
- Plan interno de rastreabilidad según lineamientos establecidos por el Senasa.

El Senasa otorga el Certificado de Autorización Sanitaria previa auditoría técnica aprobada y publicación en su portal institucional en internet, de manera oportuna y actualizada.

La Subdirección de Producción Orgánica de la Dirección de Insumos Agropecuarios e Inocuidad Agroalimentaria del Senasa es la entidad que verifica el acatamiento del Reglamento Técnico por parte de las entidades de certificación y de todos los agentes que participan en la producción, procesamiento y comercialización (Senasa, 2017).

3.6.2 Mesas técnicas³

Las mesas técnicas, como las mesas de diálogo, deben cumplir la función de intermediarios comunicativos especializados entre los agricultores y el Gobierno. Son instaladas si los agricultores necesitan apoyo técnico especializado.

Dentro de las situaciones que podrían producirse están: agua contaminada por residuos mineros, pérdida de producción por efectos climáticos, entre otros.

3.6.3 Entidades financieras

Las entidades financieras participan en la cadena de suministro para otorgar medios de financiamiento para inversión en materias primas, maquinaria, capital de trabajo, etcétera.

Su participación puede darse desde la producción en el campo hasta la producción secundaria. Sin embargo, se requiere tener un aval de que el financiamiento puede ser pagado por la entidad que solicite el préstamo, por lo que los productores, los acopiadores y las empresas transformadoras y empacadoras deben de cumplir con los requisitos necesarios para solicitar los préstamos.

3 Son instancias integradas por técnicos y especialistas que se reúnen para tratar de encontrar alternativas de solución a los problemas que generaron un conflicto o que son una fuente potencial para su desencadenamiento. Frecuentemente, se originan como un subgrupo dentro de las mesas de diálogo (PCM, 2013).

3.6.4 Proveedores logísticos

El proveedor logístico interviene desde el abastecimiento de insumos hasta la comercialización secundaria. En una cadena de suministro óptima es primordial contar con un proveedor logístico confiable, que ponga en práctica los criterios necesarios para el transporte de alimentos orgánicos.

Actualmente en las zonas rurales se cuenta con poca oferta de almacenes logísticos que puedan cumplir con los requisitos técnicos y sanitarios para almacenar productos orgánicos. Existen empresas como BSF y Ransa que están expandiéndose en regiones altoandinas; sin embargo, su oferta aún es muy limitada por el poco desarrollo de las mismas, sobre todo para zonas rurales muy alejadas de las ciudades principales.

Con los acopiadores ya se tiene un mejor manejo del transporte, ya que tienen un mayor poder de negociación ante las empresas transformadoras y empaquetadoras. En este punto se aplican criterios de calidad y de buenos manejos en el transporte ya que se rigen bajo los requisitos del cliente (empresa exportadora, *broker*).

Finalmente participan en el transporte a puerto. Debido a que las exportaciones son a Estados Unidos, tanto el proveedor logístico como la empresa exportadora deben regirse por los criterios de seguridad de la certificación BASC.

3.6.5 Gobierno, universidades e instituciones

El trabajo de los ministerios, universidades e instituciones educativas es el de proporcionar capacitaciones para el desarrollo del capital humano, fomentar la innovación en temas técnicos y de productos y como sistema de información para el progreso de la industria.

Existe un gran potencial en el Perú para la producción orgánica; sin embargo, por falta de capacitación y conocimiento en las técnicas necesarias, esta se ve afectada por malos manejos, utilización de pesticidas prohibidos, etcétera.

En los últimos años se han llevado a cabo programas de apoyo para el productor de granos orgánicos, sobre todo para la quinua, y han conseguido avances en cuanto a la producción. Sin embargo, se debe seguir trabajando en la calidad del producto si se quiere llegar a competir en mercados más exigentes. Es aquí donde el Gobierno, en conjunto con las entidades educativas, debe intervenir y facilitar la información requerida.

Todas estas acciones se resumen en la figura 2, donde se grafica el modelo de cadena de abastecimiento para granos andinos orgánicos que optimiza el desarrollo de los productores agrícolas y es sostenible en el tiempo.

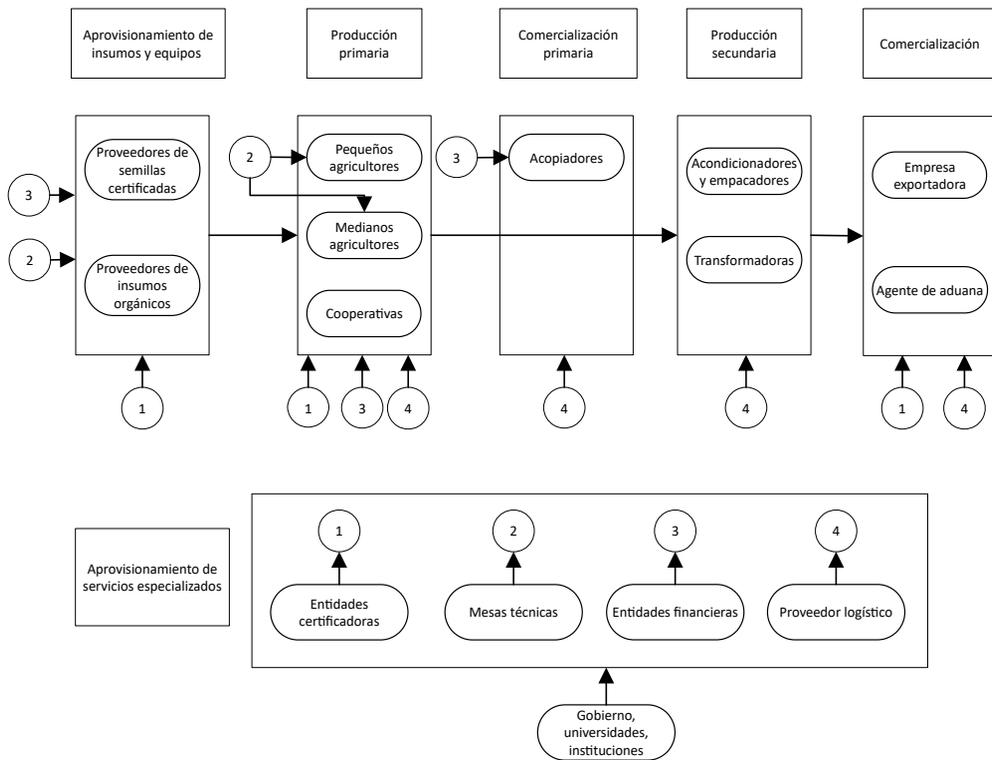


Figura 2. Estructura propuesta para una cadena de suministro óptima

Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

El Perú tiene un gran potencial de desarrollo en la producción de granos andinos porque existen nuevas tendencias de consumo que favorecen su demanda. Sin embargo, la falta de organización entre productores y la ausencia de mejoras técnicas en el cultivo y la producción han limitado su crecimiento y su capacidad para responder ante mercados internacionales.

El manejo de la cadena de suministro no debe ser analizado en áreas aisladas porque esto acarrea problemas que podrían afectar al rendimiento. Por lo tanto, incluir a todos los actores de la cadena de suministro en proyectos de desarrollo nacional ayudaría en gran medida a resolver los problemas mencionados.

Al tener una cadena de suministro óptima se obtienen mejores beneficios, aumenta el nivel de servicio con más pedidos a tiempo y mayor acceso a financiamiento, y se obtiene un comercio justo entre productores, intermediarios y cliente final.

REFERENCIAS

- Asociación de Productores Cacaoteros y Cafetaleros del Amazonas (APROCAM) (2 de febrero del 2019). Servicios y proyectos sostenibles. Recuperado de: <http://www.aprocamperu.org/>
- Banco Mundial (2016). *Análisis integral de logística en Perú*. Recuperado de https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/facilitacion_comercio_exterior/Analisis_Integral_Logistica_Peru.pdf
- Food and Drug Administration (FDA) (2007). *Guidance for Industry: Preparation of Premarket Submissions for Food Contact Substances: Chemistry Recommendations*. Recuperado de <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ucm081818.htm#ii>
- Guardián Sedano, J. E. y Trujillo Velásquez, I. A. (2018). *Investigación aplicada para el diseño de una cadena de suministros óptima para la comercialización y distribución de granos andinos orgánicos para exportar a Estados Unidos*. (Trabajo de investigación para optar el título profesional de Ingeniero Industrial). Lima: Universidad de Lima.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2015). *El mercado y la producción de quinua en el Perú*. Recuperado de <http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2016/b3857e.pdf>
- International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) (2014). *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2014*. Recuperado de <http://orgprints.org/25172/1/willer-lernoud-2014-world-of-organic.pdf>
- International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) (2017). *The World of Organic Agriculture – Statistics and Emerging Trends 2017*. Recuperado de <https://shop.fibl.org/CHde/mwdownloads/download/link/id/785/?ref=1>
- León, A., Rosell, C., Gómez Pallarés, M., Brites, C., Haros, M., Trigo, M. J., ... Benedito, C. (2007). *De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. Recuperado de <https://digital.csic.es/handle/10261/17118>
- Meyhuay, M. (2013). *Quinua: operaciones de poscosecha. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Santiago de Chile: Instituto de Desarrollo Agroindustrial (INDDA).
- Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri) (2012). *Quinua. Perú: un campo fértil para sus inversiones y el desarrollo de sus exportaciones*. Recuperado de: <http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/quinua/quinua2012.pdf>

- Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri) (25 de octubre del 2015). El Perú es el primer exportador mundial de espárragos, quinua y maca. *Semana Económica*. Recuperado de <http://semanaeconomica.com/article/economia/comercio-exterior/172512-minagri-el-peru-es-el-primer-exportador-mundial-de-esparragos-quinua-y-maca/>
- Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri) (2016). Serie de Estadísticas de Producción Agrícola (SEPA). Recuperado de: <http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/>
- Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri) (2017). Serie de Estadísticas de Producción Agrícola (SEPA). Recuperado de: <http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/>
- Ministerio de Defensa del Perú (2005). Libro blanco de la defensa Nacional. Recuperado de: https://www.mindef.gob.pe/informacion/documentos/libroblanco/Capitulo_II.pdf
- Organización Internacional del Trabajo (OIT) (2015). Análisis de la cadena de valor en el sector de la quinua en Perú. Aprovechando las ganancias de un mercado creciente a favor de los pobres. Recuperado de http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/---ifp_seed/documents/project/wcms_423584.pdf
- Organización Internacional del Trabajo. (s.f.). Cooperativas. Recuperado de <https://www.ilo.org/global/topics/cooperatives/lang-es/index.htm>
- Presidencia del Consejo de Ministros (2013). Mesas de Diálogo, Mesas de desarrollo y Conflictos Sociales en el Perú. Recuperado de <http://www.pcm.gob.pe/transparencia/willaqniki/willaqniki05.pdf>
- Perú planea elevar el uso de semillas mejoradas de 12 % a 50 % en cinco años, según Minagri (26 de febrero del 2017). *Gestión*. Recuperado de <http://gestion.pe/economia/peru-planea-elevar-uso-semillas-mejoradas-12-50-cinco-anos-segun-minagri-2183161>
- Promperú (2012). Exportando paso a paso. Recuperado de <http://export.promperu.gob.pe/Miercoles/Portal/MME/descargar.aspx?archivo=43D61416-5DB3-46B7-B92E-C2DD97C2F75B.PDF>
- Rojas, W., Soto, J. L., Pinto, M., Jäger, M. y Padulosi, S. (2010). *Granos Andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia*. Roma: Bioversity International.
- Servicio Nacional de Sanidad y Agroalimentaria (Senasa) (2017). Producción orgánica. Recuperado de <https://www.senasa.gob.pe/senasa/produccion-organica-3/>
- Suca, F. y Suca, C. (2008). *Competitividad de la quinua: una aplicación del modelo de Michael Porter*. Lima: Eumed.

ANÁLISIS DEL RIESGO EN UN MODELO MULTINIVEL DE SUMINISTRO

JESÚS ESCALANTE, ILEANA CAMILA MONSREAL BARRERA,
ALAN GARCÍA LIRA, JORGE SANTOS FLORES
Universidad Politécnica de Cataluña

JOSEP CASANOVAS-GARCIA*
Universidad Politécnica de Catalunya-Barcelona Tech

Recibido: 29 de marzo del 2019 / Aprobado: 21 de julio del 2019

doi: 10.26439/ing.ind2019.n037.4541

RESUMEN: La investigación propone las pruebas de estrés para evaluar un conjunto de escenarios hipotéticos de crisis vinculados a periodos con mayor volatilidad, dada una muestra de transacciones comerciales entre tres entidades de un modelo multinivel de suministro. La solución identifica los niveles de impacto en términos de costo para un conjunto de escenarios hipotéticos asociados a parámetros tales como niveles de confiabilidad y volatilidad en un horizonte temporal de riesgo.

Palabras clave: riesgo / prueba de estrés / modelo multinivel / simulación de Monte Carlo

RISK ANALYSIS IN A MULTILEVEL SUPPLY MODEL

ABSTRACT: This research proposes stress tests to evaluate a set of hypothetical crisis scenarios linked with periods of greater volatility in a sample of commercial transactions among three companies from a multilevel supply model. The solution identifies cost-related levels of impact for a set of hypothetical scenarios associated with parameters such as levels of reliability and volatility in a risky time horizon.

Keywords: risk / stress test / multilevel model / Monte Carlo simulation

* jesus.escalante@correo.uady.mx, ileana.monsreal@correo.uady.mx, glira@correo.uady.mx, sflores@correo.uady.mx, josepk@fib.upc.edu

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

Yucatán es una de las diez regiones económicas de México con mayor crecimiento en los últimos años de acuerdo a las cifras del Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), clasificada con las condiciones favorables para continuar su crecimiento (OCDE, 2008).

Por otra parte, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI, 2009) señala que en este estado las pymes representan el 99,6 %.

Mérida, la capital del estado, concentra la mayor parte de la actividad industrial y comercial, con una cifra del 42 % de la población; la tasa de ocupación es del 60 %, con producción de más de dos tercios del producto bruto regional (INEGI, 2014).

La ciudad de Mérida es favorable dada su relación con el resto de la península de Yucatán y con Centroamérica. De acuerdo a las características de ubicación geográfica, infraestructura física y tecnológica, es considerada como una de las regiones con mayor potencial de desarrollo para las actividades de logística, distribución y fabricación de componentes para Centroamérica, Sur de México, el Caribe y los Estados Unidos.

No obstante, los informes de la OCDE refieren que Mérida y Yucatán muestran grandes rezagos que, aunados a bajos niveles de capital humano, falta de innovación y redes de suministro insuficientes y poco competitivas la hacen vulnerable. Estudios del Banco Interamericano de Desarrollo (González *et al.*, 2014) refieren dos indicadores importantes: el Índice de Exposición de Desastres (IED) para medir la vulnerabilidad, así como el índice de Exposición a Eventos Climáticos Extremos (ECE) .

Estimaciones del IED indican la posibilidad de un escenario inesperado para las regiones que habían sido consideradas resilientes y que se encuentran cada vez más expuestas. El 45 % de los desastres ocurrieron en Centroamérica y países más poblados, como Colombia y México, son los que tienen más alta participación. De acuerdo con información de la Agenda de la Organización de las Naciones Unidas, las inundaciones y deslizamientos de tierra han sido los sucesos predominantes (González *et al.*, 2014).

1.2 Enfoque metodológico

Entre los métodos alternos para el análisis de escenarios están las pruebas de estrés. Este enfoque supone que deberá valorarse aquella entidad que podría sufrir pérdidas importantes asociadas a riesgos excepcionales. La investigación consideró como objetivo valorar un conjunto de escenarios hipotéticos de crisis asociados a los efectos disruptivos vinculados a periodos con mayor volatilidad para una muestra de transacciones comerciales entre tres entidades configuradas como modelo multinivel de suministro.

Los escenarios corresponden a cuatro estadios entre las transacciones comerciales, siendo el estatus normal (N) entregas a tiempo (T), anticipadas (A) y con demora (D). La motivación ha sido estimar la pérdida potencial que podría sufrir el sistema considerando las condiciones referidas. En los últimos años el tema ha tenido un especial interés, por ejemplo en la evaluación del riesgo en cadenas de suministro (Heckmann, Comes y Nickel, 2014) o para tener una idea de los efectos de escenarios adversos sobre una determinada cartera de inversión. Otro enfoque es el análisis del VaR histórico en el que, a partir del marco temporal histórico elegido, es posible estimar la distribución de probabilidad empírica de los cambios en las variables del mercado. Generalmente los cambios de cada día son igualmente ponderados y la elección de la ponderación se define arbitrariamente (Meucci, 2010).

El concepto de *Value at Risk* (VaR) (Jorion, 2010; Olson y Wu, 2017) tiene la finalidad de cuantificar, con un nivel de incertidumbre, la pérdida en un horizonte de planeación. Este se define como un valor límite tal que la probabilidad de que una pérdida a precios de mercado en la cartera sobre el horizonte temporal dado exceda ese valor (asumiendo mercados normales y que no se produce negociación en la cartera); para más detalles sobre este modelo véase Boucher, Danielsson, Kouontchou y Maillet (2014). Para entornos industriales, estimar el VaR con un nivel de significancia del 5 % implicaría que, una vez al mes, el retorno de las inversiones (para este caso los impactos de las transacciones comerciales) se vea afectado más de lo que indique el VaR en relación con el retorno esperado.

La investigación propone dos enfoques para evaluar el riesgo (VaR). El primero considera un método alterno para el análisis de escenarios mediante pruebas de estrés. Este método supone que deberá valorarse aquella entidad que podría sufrir pérdidas por riesgos excepcionales. La prueba de estrés debe utilizarse como una técnica complementaria (Shekh y Marsh, 2016; Abdymomunov y Gerlach, 2014) con el fin de garantizar que la entidad sea capaz de cubrir las pérdidas incluso si la organización se enfrentará a eventos de mayor riesgo. El segundo enfoque incorpora los datos históricos como elementos de análisis para simular los tres estados del sistema y valorar su impacto como efecto de las interrupciones utilizando la simulación de Monte Carlo.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

2.1 Modelo multinivel de suministro

Se ha considerado un enfoque multinivel para evaluar el comportamiento del sistema, con una aproximación integral a través de toda la red (figura 1), teniendo en cuenta el impacto en los costos asociados a las transacciones comerciales en los tres niveles del sistema. El enfoque ha delimitado la estructura a tres componentes: minoristas (M), centros de distribución (CD) y proveedores (P).

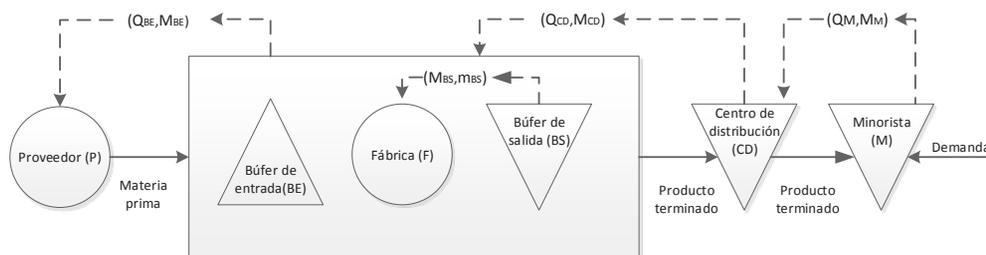


Figura 1. Modelo multinivel

Fuente: Altioh y Melamed, 2007

El minorista se enfrenta a un flujo de demanda por parte de los clientes finales. Para gestionar el inventario utiliza una política de control continuo del *stock* (Q, M). Ante esta política, la reposición del inventario Q desde el centro de distribución se realiza cuando los niveles de inventario para el minorista sean necesarios (órdenes de inventario disponibles menos pedidos pendientes).

Si el centro de distribución cuenta con suficiente *stock*, el tiempo de entrega del pedido se compone de los retrasos en el transporte y las inexistencias hacia niveles superiores del centro de distribución. El flujo de órdenes para el centro de distribución proviene del minorista.

Sin embargo, a diferencia del centro de distribución, la demanda insatisfecha quedará pendiente; el centro de distribución repone sus reservas desde el búfer de salida (BS) de la fábrica hacia el nivel superior de la cadena a base de una política de revisión continua del inventario (Q_{CD}, M_{CD}). La cantidad no satisfecha de los pedidos realizados quedará en estado pendiente.

La política de fabricación se basa en una revisión continua del *stock* (M_{BS}, m_{BS}). La fábrica produce un producto por unidad de tiempo, después de haber consumido una unidad de materia prima a partir del *stock* intermedio de entrada. Ante la escasez de materia prima en este búfer de entrada, se detendría la producción.

El búfer de entrada corresponde a los pedidos que son entregados por un proveedor externo con inventarios ilimitados. El plazo de entrega de materia prima se limita a la demora del transporte cuando las órdenes en fábrica estén plenamente satisfechas, siendo una política de control de inventario continua (Q_{BE}, M_{BE}). El sistema está sujeto a los siguientes supuestos:

1. El minorista se enfrenta a la demanda que llega a razón de una unidad por unidad de tiempo, donde todas las demandas insatisfechas se pierden.

2. En todos los niveles los pedidos se reciben en el orden en que fueron solicitados (sin órdenes adelantadas). Es decir, se solicita un pedido solo cuando el anterior se encuentra en su destino.
3. Cuando se produce el desabasto en el centro de distribución o en la fábrica, la proporción no satisfecha será una orden pendiente (orden atrasada). Una orden satisfecha estará dada cuando el pedido completo esté disponible. En síntesis, no hay envío de órdenes parciales.

2.2 Configuración del modelo

Para esta etapa se fraccionó el modelo en pequeños componentes con el fin de verificar que las actividades corresponden a una red típica de suministros en una pequeña o mediana empresa. Se procuró una intensa comunicación con el Centro de Emprendimiento e Innovación Tecnológica (CEINTEC de México) por sus valiosas aportaciones para la configuración del modelo conceptual.

3. METODOLOGÍA

Dado que las pruebas de estrés a menudo definen los eventos con una muy baja probabilidad de ocurrencia y, en consecuencia, los resultados se vuelven difíciles de interpretar, se ha propuesto una selección de escenarios que permiten su valoración.

Los escenarios pueden dividirse en dos grupos basados en el tipo de evento. El primero utiliza eventos históricos causales (desastres naturales, eventos terroristas, etcétera) por ejemplo el huracán Katrina (Bueno-Solano y Cedillo-Campos, 2014; Escalante, Casanovas y Monsreal, 2016). El segundo grupo, más ampliamente utilizado en la práctica, utiliza escenarios hipotéticos. Los escenarios se basan en eventos de riesgo que no han sucedido aún, pero con cierta probabilidad de ocurrencia (Flood y Korenko, 2015).

Un escenario típico consiste en la descripción del estado complejo que impondría un evento de riesgo extremo a una entidad entre sus elementos: las probabilidades y frecuencias de ocurrencia, las pérdidas generadas por el evento y las estrategias de mitigación.

A pesar de que el escenario pretende ser realista, no es posible incluir todos los factores y sus características de riesgo. Sin embargo, los gestores de riesgo están tratando de definir los escenarios de modo que correspondan a la realidad tanto como sea posible (Alexander y Sheedy, 2008; Jorion, 2003). En síntesis, se pretende obtener una visión general sobre los eventos de baja frecuencia que puedan tener graves repercusiones entre entidades empresariales; en nuestro caso, el modelo multinivel de suministro.

Las pérdidas generadas por un conjunto de cuatro escenarios fueron agregadas a las estimaciones de capital basadas en la muestra de datos original, utilizando el método VaR. Los resultados se analizan a continuación.

3.1 Estructura de los datos

La estructura de costos se compone de una muestra total de 4500 observaciones y costos globales por día, dado un horizonte mensual de análisis.

Para la simulación se ha definido el valor inicial de la estructura de costos así como ponderaciones de acuerdo al registro de transacciones para cada nivel de suministro. Se elaboró la tabla 1 para resumir la estructura de costos en MXN y valores iniciales.

Tabla 1
Costos totales del modelo de suministro

	M	P	CD	Total
Min (MXN)	0,03	0,06	0,03	0,12
Media (MXN)	17,21	18,31	17,41	52,94
Max (MXN)	21,77	35,95	36	93,72
Muestra	1500	1500	1500	4500
Ponderación (%)	23,22	38,35	38,41	100
Valor (MXN)	464 575,33	767 178,83	768 245,83	2000 000

M: minorista, P: proveedor, CD: Centro de distribución

Elaboración propia

De acuerdo al enfoque de Meucci (2010), se definió arbitrariamente un horizonte temporal entre los meses de junio y agosto (periodo con mayor volatilidad en la zona de estudio). Los registros que conforman la muestra representan 1500 días de actividad. La figura 2 ilustra el comportamiento de las transacciones para los tres niveles de suministro.

Para el estudio se ha transformado la serie de precios diarios en series de retorno logarítmico mediante la expresión 1. Muchos de los modelos de evaluación del riesgo se basan en la distribución normal de las series de datos. La rentabilidad logarítmica o capitalización compuesta continua se calcula usando logaritmos naturales; para este análisis se ha estimado también la volatilidad histórica para cada serie de retorno a partir de la ecuación 2.

$$R_t = \ln \left[\frac{P_t}{P_{t-1}} \right] \tag{1}$$

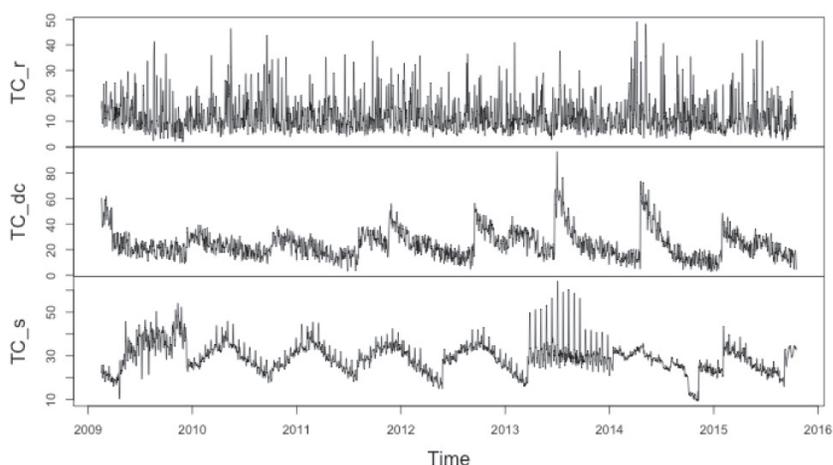


Figura 2. Volatilidad diaria por niveles de suministro

Elaboración propia

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^T (R_i - \mu)^2}{T - 1}}, i = 1, 2, 3, \dots, 1500 \quad (2)$$

Donde σ es la desviación estándar de la muestra; T el número total de observaciones; μ la media del retorno de la serie y R_i el retorno de los valores individuales.

La figura 3 describe el comportamiento temporal de los costos para cada nivel. Es posible apreciar en las figuras las fluctuaciones e incrementos súbitos en el horizonte temporal. Las dos entidades que resienten con mayor frecuencia las variaciones atípicas en la demanda son los minoristas (a) y los centros de distribución (b), donde se aprecian cambios importantes en el horizonte de análisis. En contraste, en los proveedores (c) se observa una tendencia creciente a lo largo del mismo periodo de análisis.

Se elaboró la tabla 2 para describir la matriz de correlaciones para los estados del sistema y para cada nivel de suministro. Los escenarios corresponden a los estadios entre las transacciones comerciales, siendo el estatus normal (N), entregas a tiempo (T), anticipadas (A) y con demora (D). La motivación ha sido estimar la pérdida potencial que podría sufrir el sistema considerando las condiciones referidas. En los últimos años el tema ha tenido un especial interés, por ejemplo en la evaluación del riesgo en cadenas de suministro (Heckmann *et al.*, 2014; Freise y Seuring, 2015; Chopra y Sodhi, 2014; Piening, Ehrmann y Meiseberg, 2013).

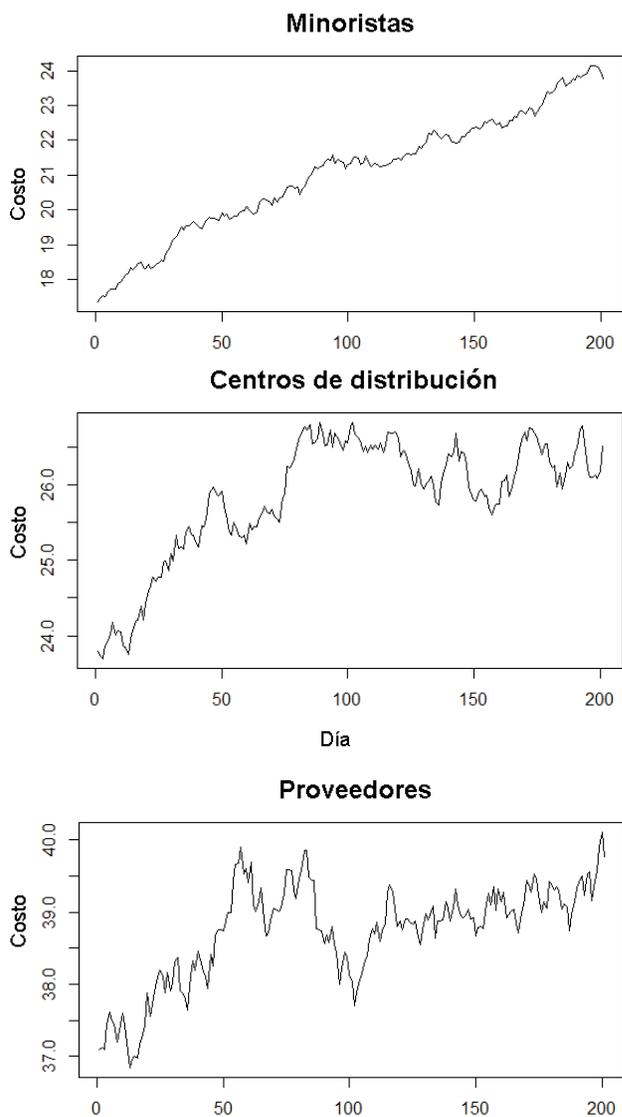


Figura 3. Análisis de la serie temporal de minoristas, centros de distribución y proveedores
Elaboración propia

Sin embargo, esta sección aborda la problemática desde una perspectiva en un entorno microsocia enmarcado por el aumento de la competencia, la minimización de costos de operación y el incremento de la eficiencia, entre otros factores.

Otros estudios señalan la importancia de valorar los impactos ante contextos de riesgo y particularmente ante escenarios adversos asociados al clima, como los que han propuesto Jabareen (2013) y Rusman y Shimizu (2013).

Tabla 2
Resultados de salida de la matriz de correlaciones (%)

	Centros de distribución (CD)	Proveedores (P)	Minoristas (M)
CD	100	4,27	2,89
P	4,27	100	6,93
M	2,89	6,93	100
A			
CD	100	2,61	1,23
P	2,61	100	2,30
M	2,13	2,30	100
T			
CD	100	14,02	0,57
P	14,02	100	0,54
M	0,57	0,53	100
D			
CD	100	2,59	1,15
P	25,87	100	2,38
M	1,15	2,38	100

Elaboración propia

Del total de la muestra se observa que el proveedor es un componente sensible en el sistema y que sus impactos trascienden hasta el nivel del centro de distribución en todos los escenarios. La relación mayor se observa en las transacciones con demora, es decir, en aquellos pedidos que no se realizaron en la fecha convenida (25,85 %), por lo que el nivel de riesgo es importante y significativo en el sistema.

3.2 Valoración de escenarios mediante el enfoque Stress Test

Esta sección propone un enfoque alternativo para evaluar el comportamiento del valor en riesgo VaR mediante el método de Stress Test. A partir de los coeficientes de correlación para el horizonte mensual, se valoran los niveles máximos y así se discrimina la correlación observada en los tres estados.

Un tratamiento importante, de acuerdo con Melnyk, Rodrigues y Ragatz (2009) y Alexander y Sheedy (2008), es la configuración de la matriz de correlación, que deberá ser positiva y cumplir con la propiedad matemática de Cholesky, por lo que se procedió al tratamiento de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$|\bar{\rho}| > 0 \tag{3}$$

$$A \cdot A^T = \bar{\rho}$$

Donde ρ es la matriz de correlación, A la matriz de Cholesky y A^T la matriz traspuesta de Cholesky.

A continuación describimos los planteamientos de las matrices de correlación, de acuerdo a las propiedades de la ecuación 3, atendiendo la misma estructura de las variables descritas en la tabla de resultados de salida de la matriz de correlaciones (tabla 2). Para estimar el VaR se partió de la siguiente expresión:

$$VaR_{(Stressed)} = w_i \cdot z \sigma_i, \text{ daily} \tag{4}$$

Donde w_i es el valor inicial de las transacciones, σ_i daily expresa la volatilidad diaria de las transacciones asociadas al escenario disruptivo y z el nivel de confiabilidad, igual a $-1,6449$.

Se ha estimado el VaR asociado a los escenarios de crisis, para lo cual se ha propuesto una magnitud alterna VaR para aproximarnos a los resultados reales al introducir los efectos de una diversificación en los datos de costo, en contraste con la estimación previa que nos arrojaron los resultados globales. Por lo tanto, para obtener los resultados alternos se partió de la siguiente expresión:

$$VaR_{ct} = \sqrt{V^T \cdot \bar{\rho} \cdot V} \tag{5}$$

Un vector columna de dimensión $n \times 1$ expresa los valores no diversificados del VaR; se ha estimado mediante el producto de $V = \sigma \cdot Z \cdot w$, que expresa el vector V transpuesto y se estima a través del producto de:

$$gV^T = W^T \cdot Z \cdot \sigma \tag{6}$$

4. RESULTADOS

4.1 Enfoque de simulación de Monte Carlo

Para esta sección hemos propuesto la simulación de Monte Carlo; un método no determinista o estadístico numérico usado para aproximar expresiones matemáticas complejas y difíciles de evaluar con exactitud (Rubinstein y Kroese, 2016). El planteamiento se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$C_t = C_{t-1} \cdot e^{\sigma \cdot z \sqrt{t}} \quad (7)$$

Donde C_t expresan los costos simulados, C_{t-1} el costo actual, e , la variable aleatoria que se distribuye como una normal estandarizada con $\mu = 0$ y $\sigma = 1$; la volatilidad diaria de la muestra, y \sqrt{t} , un factor ajustado que transforma la volatilidad diaria en horizontes temporales más amplios.

Por ejemplo, el VaR se calcula para un día; por lo tanto, su valor será igual a 1. En el caso de la selección de costos para los tres niveles de suministro, estarán representados por los costos unitarios por transacción.

Partiendo de este enfoque metodológico los números aleatorios normales deberán ser transformados en números aleatorios correlacionados de la matriz propuesta por Cholesky y mediante la expresión:

$$\begin{bmatrix} \mathcal{E}_1 \\ \mathcal{E}_2 \\ \mathcal{E}_3 \end{bmatrix} [A] = \begin{bmatrix} Z_r \\ Z_s \\ Z_{dc} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Donde \mathcal{E} definen el vector columna de las variables aleatorias que se distribuyen normalmente y z es un vector de variables normales transformadas que contempla en su estructura la correlación histórica, siendo A la matriz de estrés para cada escenario disruptivo.

Para la simulación se han definido 10 000 costos correlacionados considerando la variable estrés-costos. Esto ha generado 10 000 vectores z con subíndices i . Este enfoque puede consultarse en los trabajos publicados por Fleming y Zizzo (2015), y Shekh y Marsh (2016). Las siguientes ecuaciones describen los parámetros de cálculo.

$$C_M^i = 23,80 \cdot e^{\sigma^r \cdot z^r}, i = 1,2, \dots, 10\ 000 \quad (9)$$

$$C_p^i = 17,36 \cdot e^{\sigma^s \cdot z^s}, i = 1,2, \dots, 10\ 000 \quad (10)$$

$$C_{CD}^i = 37,10 \cdot e^{\sigma^{dc} \cdot z^{dc}}, i = 1,2, \dots, 10\ 000 \quad (11)$$

4.2 Resultados de salida

Se ha elaborado la tabla 3 para resumir los resultados de las estimaciones del VaR diversificado.

Tabla 3
Resultados del análisis de escenarios

	Minoristas	Proveedores	Centros de distribución
Costo 1 (MXN)	21,77	35,95	36,00
Costo 2 (MXN)	23,80	37,1	17,36
Costo 3 (MXN)	22,92	36,33	17,4
Costo 4 (MXN)	26,91	35,67	17,4
Ponderación (%)	23,22	38,35	38,41
Valor (MXN)	464 575,33	767 178,83	768 245,83
Z (95 %)	1,64	1,64	1,64
Volatilidad (%)	5,11	4,51	4,99
VaR 1 (MXN)	850 109,71	2 046 027,88	2 270 088,37
VaR 2 (MXN)	929 380,39	2 111 478,01	1 094 687,06
VaR 3 (MXN)	895 016,74	2 067 654,88	1 097 209,38
VaR 4 (MXN)	1 050 824,63	2 030 092,20	1 097 209,38

Elaboración propia

Mediante las trayectorias aleatorias de los costos se ha estimado el valor global. Esto se obtiene mediante el producto entre el número de transacciones y los costos simulados.

También es posible evaluar para futuros análisis el cálculo de la ganancia esperada así como la distribución de pérdidas mediante la siguiente ecuación:

$$L_p = W_i - W_t \tag{12}$$

Donde L_p es la distribución de pérdidas, el subíndice P denota al proveedor, W es el valor simulado del escenario i y W_t el valor actual de acuerdo al horizonte temporal establecido.

4.3 Análisis histórico y pruebas de estrés

Finalmente se ha incorporado una variante alterna contemplando el aumento de la volatilidad. El interés ha sido valorar, mediante el enfoque de simulación, el comportamiento de los costos. Este responde a una selección de instantes asociados a sucesos

disruptivos o, en su caso, a periodos con mayor volatilidad del comportamiento histórico de los costos (figura 3). El enfoque metodológico para esta valoración se fundamenta en los siguientes lineamientos: estimaciones

1. Selección del horizonte histórico de simulación, por lo cual se han propuesto 250 días.
2. Calcular el rendimiento de los costos históricos para cada nivel de suministro.
3. Finalmente, generar los costos históricos mediante la siguiente ecuación generalizada:

$$C_i = C_{t-1} \cdot e^{R_i}, \quad (13)$$

Al sustituir las variables del proveedor (P) en la ecuación anterior, tendríamos que:

$$P_i = P_{t-1} \cdot e^{R_i}, \quad (14)$$

Donde P_i es el costo simulado para el escenario i del proveedor, siendo $i = 1, 2, \dots, 19$; P_{t-1} es el costo actual de la transacción del proveedor, y R_{t-1} es la rentabilidad histórica del proveedor.

A partir de este tratamiento, el proceso es idéntico al descrito para la simulación de Monte Carlo y aplicable para los tres niveles de suministro. En la tabla 4 se han resumido todos los resultados para los tres niveles. La variable p considera la estimación del nivel de pérdida más allá del estimador del VaR.

Tabla 4
Matriz de Cholesky para los tres niveles de suministro (MXN)

Ítems	Minoristas	Proveedores	Centros de distribución	Total
Alpha (0,05)	25,81	18,84	40,28	84,93
Alpha (0,95)	32,57	23,75	50,79	107,10
Pérdida	38 720,63	28 252,64	60 416,49	382 169,25
VaR	48 848,06	35 620,40	76 181,72	481 950,50

Elaboración propia

Mediante este enfoque se ha valorado el impacto para los tres niveles de suministro. La tabla 4 resume los costos asociados a las pérdidas potenciales para cada nivel. Como puede observarse, los efectos son mayores en los centros de distribución, en contraste con los detallistas y los proveedores. Evidentemente, están asociados al costo de las transacciones comerciales y al estado que guardan los productos a lo largo de la cadena.

Las lecciones que se obtuvieron de los análisis están en la valoración del impacto de las pérdidas mediante simulación para un horizonte temporal determinado. Los resultados orientan a estudiar estrategias cuyos efectos puedan mejorar los niveles de servicio y, por ende, la satisfacción de los clientes en el sistema.

5. CONCLUSIONES

Esta investigación propuso el análisis del riesgo mediante el enfoque Stress Test bajo el paradigma de simulación de Monte Carlo. Los cálculos fueron programados e implementados mediante funciones en R-Studio.

La investigación surgió en relación a la diversificación de las soluciones mediante el enfoque de simulación. Se espera que los instrumentos tengan utilidad para la parametrización y calibración de futuros análisis en otros contextos de estudio. En general las aportaciones fueron: la generación de un marco conceptual y metodológico para la implementación de herramientas que valoren el riesgo del cumplimiento para un conjunto de transacciones comerciales, todas en el marco de un horizonte temporal caracterizado por efectos disruptivos, o en su caso escenarios con volatilidad en un horizonte temporal.

La base de datos refiere los registros de transacciones comerciales traducidas en costo por día entre los meses de junio y agosto, desde el 2009 al 2016. La muestra de transacciones comerciales para los tres niveles de suministro tiene un vínculo importante con los meses de mayor actividad asociados a eventos hidrometeorológicos en la zona de estudio. Por ello ha sido de especial interés valorar el impacto del riesgo asociado a la volatilidad para un conjunto de escenarios.

Algunas consideraciones relevantes fueron: identificar los niveles de impacto en términos de costo para cuatro escenarios hipotéticos asociados a parámetros como los niveles de confiabilidad y la volatilidad en un horizonte temporal de riesgo típico en zonas con afectaciones cuyos efectos derivan en unas fluctuaciones en la demanda conocidos como "efecto látigo".

Es importante concluir que los efectos y costos asociados son amortizados con características diferentes y en instantes temporales desfasados, haciendo referencia al efecto látigo estudiado por Hussain (2012) y Buchmeister, Pavlinjek, Palcic y Polajnar (2008).

La propuesta reconfigura el modelo conceptual tradicional, cuya relación intrínseca, situado en un contexto sometido a procesos hidrometeorológicos de riesgo, dota de complejidad al sistema. Además de la exploración del riesgo propusimos la modelación y, mediante el paradigma de simulación de Monte Carlo, evaluamos los efectos de un cambio en el estado del suministro y patrones de respuesta.

Para la evaluación experimental se implementaron enfoques para la gestión del riesgo en un caso de estudio. Para ello se configuraron cuatro escenarios de respuesta que responden y están estrechamente vinculados a la fase de exploración del riesgo. También incorporamos una solución basada en la prueba de estrés con parámetros asociados con los niveles de confiabilidad y volatilidad para horizontes temporales con características y patrones afines a los meses de mayor actividad climática en la zona de estudio.

El enfoque que se llevó a cabo valora los efectos disruptivos y los costos asociados con base en el VaR paramétrico, que ha demostrado ser más sensible mediante las pruebas de estrés. Con la condición de introducir un tratamiento previo para verificar la coherencia interna de los datos, es decir, verificar que la matriz de correlaciones sea positiva, es posible resolver este tratamiento descomponiendo sus factores por el método de Cholesky. Fue posible concluir que este procedimiento ofrece soluciones mucho más eficientes mediante el enfoque de simulación de Monte Carlo.

REFERENCIAS

- Abdymomunov, A. y Gerlach, J. (2014). Stress testing interest rate risk exposure. *Journal of Banking & Finance* 49, pp. 287-301. doi: 10.1016/j.jbankfin.2014.08.013
- Alexander, C. y Sheedy, E. (2008). Developing a stress testing framework based on market risk models. *Journal of Banking & Finance* 32(10), pp. 2220-2236. doi:10.1016/j.jbankfin.2007.12.041
- Altioik, T. y Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. Amsterdam: Elsevier.
- Boucher, C. M., Danielsson, J., Kouontchou, P. S. y Maillet, B. B. (2014). Risk models-at-risk. *Journal of Banking & Finance* 44, pp. 72-92.
- Buchmeister, B., Pavlinjek, J., Palcic, I. y Polajnar, A. (2008). Bullwhip effect problem in supply chains. *Advances in Production Engineering and Management* 3(1), pp. 45-55.
- Bueno-Solano, A. y Cedillo-Campos, M. G. (2014). Dynamic impact on global supply chains performance of disruptions propagation produced by terrorist acts. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 61, pp. 1-12. doi: 10.1016/j.tre.2013.09.005
- Chopra, S. y Sodhi, M. S. (2014). Reducing the Risk of Supply Chain Disruptions. *MIT Sloan Management Review* 55(3), pp. 73-80.
- Escalante, J., Monsreal, I. y Casanovas, J. (Eds.). (2016). Logistics Practices in Small and Medium Enterprises (SME): Risk Context Survey for Hurricanes. En: Hernández,

- G. A., Sánchez-Ramírez, C. y García-Alcaraz, J. L. (Eds.), *Handbook of Research on Managerial Strategies for Achieving Optimal Performance in Industrial Processes*. Hershey: IGI Global, pp. 76-99.
- Flood, M. D. y Korenko, G. G. (2015). Systematic scenario selection: stress testing and the nature of uncertainty. *Quantitative Finance* 15(1), pp. 43-59.
- González Diez, V. M., Verner, D., Corrales, M. E., Puerta, J. M., Mendieta Umaña, M. P., Morales, C., ... L'Hoste, M. (2014). *Climate change at the IDB: Building resilience and reducing emissions*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Heckmann, I., Comes, T. y Nickel, S. (2014). A Critical Review on Supply Chain Risk -Definition, Measure and Modeling. *Omega* 52, pp. 119-132. doi: 10.1016/j.omega.2014.10.004
- Hernández, G. A., Sánchez-Ramírez, C. y García-Alcaraz, J. L. (2016). *Handbook of Research on Managerial Strategies for Achieving Optimal Performance in Industrial Processes*. Hershey: IGI Global.
- Hussain, M. (2012). Quantifying the impact of a supply chain's design parameters on the bullwhip effect using simulation and Taguchi design of experiments. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 42(10), pp. 947-968.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI) (2009). Micro, pequeña, mediana y gran empresa. Estratificación de los establecimientos. Censos económicos. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/default.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI) (2014). Censos económicos 2014. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/default.html>
- Jabareen, Y. (2013). Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. *Cities* 31, pp. 220-229. doi: 10.1016/j.cities.2012.05.004
- Jorion, P. (2010). Risk Management. *Annual Review of Financial Economics* 2, pp. 347-365
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P. y Sturrock, D. T. (2008). *Simulación con software Arena*. México: McGraw-Hill.
- Melnyk, S. A., Rodrigues, A. y Ragatz, G. L. (2009). Using simulation to investigate supply chain disruptions. En: Zsidisin, G. A. y Ritchie, B. (Eds.). *Supply Chain Risk*. Boston: Springer, pp. 103-122.
- Meucci, A. (2010). Historical scenarios with fully flexible probabilities. *GARP Risk Professional*, pp. 47-51.
- Olson, D. L. y Wu, D. D. (2017). *Enterprise Risk Management Models*. Berlín: Springer.

- Rubinstein, R. Y. y Kroese, D. P. (2016). *Simulation and the Monte Carlo method*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Rusman, M. y Shimizu, Y. (2013). Effect of Continuity Rate on Multistage Logistic Network Optimization under Disruption Risk. *Industrial Engineering and Management Systems* 12(2), pp. 74-84. doi: 10.7232/iems.2013.12.2.074
- Shekh, S. y Marsh, L. (2016). *The Twenty-Ninth International Flairs Conference*. Edimburgo.

**CALIDAD
Y MEDIOAMBIENTE**

Quality and Environment

ANÁLISIS DE UNA OPERACIÓN INDUSTRIAL DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL B5 Y DESARROLLO DE UNA SOLUCIÓN DE OPTIMIZACIÓN

MAURICIO AZÁLGARA BEDOYA*

Universidad Internacional Iberoamericana, México

Recibido: 5 de diciembre del 2018 / Aprobado: 23 de enero del 2019

doi: 10.26439/ing.ind2019.n037.4542

RESUMEN: En el marco de la ejecución del megaproyecto minero Las Bambas, se tuvo regulada la operación industrial de suministro de combustible diésel B5 mediante el contrato CB02912 del que fueron partes Xstrata Copper y Petróleos del Perú. Se estimó en la operación industrial hasta un 8 % de bienes no entregados entre los años 2012 y 2013, desabastecimiento intempestivo de combustible en instalaciones del cliente e incumplimiento de la especificación del nivel de limpieza del combustible, entre otros incidentes. La presente investigación establece los lineamientos para una gestión integral de contrato.

Palabras clave: diésel / sistema de gestión / contrato / suministro de combustible

ANALYSIS OF AN INDUSTRIAL OPERATION OF B5 DIESEL FUEL SUPPLY AND DEVELOPMENT OF AN OPTIMIZATION SOLUTION

ABSTRACT: Within the framework of the Las Bambas mining megaproject, the industrial operation of B5 diesel fuel supply was regulated by contract CB02912, in which the parties involved were Xstrata Copper and Petróleos del Perú. In the industrial operation, it was estimated that up to 8 % of goods were not delivered between years 2012 and 2013, resulting in untimely fuel shortages in the customer's facilities, noncompliance with diesel fuel cleanliness standards, among others. The present research establishes the guidelines for the comprehensive management of the contract.

Keywords: diesel / management system / contract / fuel supply

* mazalgarab@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El megaproyecto minero Las Bambas inicia la fase de construcción en el 2012. Previamente, en el 2011, con la finalidad de afrontar esta fase última, Xstrata Copper inicia la licitación LD00611 para el suministro de combustible para la Operación Tintaya y los Proyectos Mineros de Antapaccay y Las Bambas. De este modo se suscribe el contrato de suministro de combustible CB02912 entre Xstrata Las Bambas, S. A. y Petróleos del Perú, S. A. (Petroperú) con la finalidad de abastecer de diésel B5, un destilado medio con 5 % de biodiésel B100, conocido también como Diésel Ultra (Petroperú, 2011), a diversos puntos de recepción en el proyecto minero durante un periodo de cinco años. Adicionalmente, se suscribe el contrato directo OFP10351 entre Petroperú y Servosa Cargo S. A. C., en el que se terceriza el transporte del bien, entre otros aspectos, como parte de la solución logística integral para el suministro del bien.

Contando la operación industrial de suministro de combustible con la suficiente complejidad para llevar a cabo una investigación es que esta se desarrolla, con la finalidad de analizar y proponer lineamientos para el desarrollo de una solución de optimización para la gestión integral de contrato y de cadena de suministro basada en la implementación de buenas prácticas para la dirección de proyectos del Project Management Institute (PMI), además de las series de normas ISO 9000, ISO 14000 y OHSAS 18000.

El presente artículo aborda únicamente los resultados de la investigación en fase integradora para enfocarse en el objetivo general de la investigación que es la elaboración de una solución ingenieril para la optimización de la operación industrial de referencia. Sin embargo, se abordan los aspectos metodológicos no solamente de la investigación en fase integradora sino también de las investigaciones en fase cualitativa y cuantitativa.

2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Justificación

Mediante la investigación se proponen soluciones técnicas y económicas capaces de optimizar el uso de recursos económico-financieros, materiales y técnicos o tecnológicos para lograr el objeto del contrato CB02912 y otros contratos similares. La aplicación de la metodología resultante de la presente investigación pretende ser de utilidad a la empresa estatal Petroperú y a las empresas pertenecientes al sector de la gran minería en lo que se refiere al desarrollo de los procesos de comercialización de combustible diésel B5, particularmente en materia de cumplimentación contractual.

2.2 Problema de investigación

2.2.1 Contexto

De julio del 2012 a setiembre del 2013 se presentó un conflicto en el marco de una de las operaciones comerciales de diésel B5 para uso industrial de Petroperú (Petroperú, 2014), regulada por medio del contrato de suministro de combustible CB02912 entre Petroperú y Xstrata, la empresa que desarrolló el megaproyecto minero Las Bambas, considerado una de las inversiones mineras más importantes de la primera década del siglo XXI y que, adicionalmente, consolidaría al Perú como el segundo productor de cobre en América Latina (Proinversión, 2005).

El contrato de suministro de combustible CB02912 consideraba en su ejecución la tercerización del transporte de combustible por medio del contrato de servicio de transporte de combustible celebrado entre Petroperú y Servosa Cargo. Esta última parte se consideraba no solamente un transportista (operador logístico 2PL) sino también un operador logístico del tipo 3PL. En este sentido, Petroperú contrataba a Servosa Cargo como empresa especialista en actividades logísticas relativas al suministro de diésel B5. El vínculo entre Petroperú y Servosa Cargo se encontraba regulado por el contrato OFP103541, suscrito en el 2012.

2.2.2 Conflicto

En el periodo de referencia se observó el desabastecimiento intempestivo de diésel B5 en las instalaciones del proyecto minero. Además, Petroperú incumplió la especificación respecto del nivel de limpieza del suministro a Xstrata ocasionando daños y perjuicios, lo cual se tradujo en su incursión en riesgo de penalización. Cabe mencionar que si bien el responsable directo del desabastecimiento frente a Xstrata fue Petroperú, dado su vínculo contractual, en ocasiones el responsable inmediato era la empresa Servosa Cargo, la encargada del transporte del combustible.

2.2.3 Problema identificado y delimitado

Se estima un 8 % de bienes no entregados dentro del plazo establecido en el contrato, y un cumplimiento de hoja de ruta por debajo del 95 % (Azálgara, 2018). Lo anterior es producto de los siguientes aspectos: una gestión inadecuada del contrato de suministro, una programación inefectiva de suministro de combustible, la incursión en fallas mecánicas y un incremento del nivel de particulado por mantenimiento inefectivo.

El 8 % de bienes no entregados representa aproximadamente 3 952 800 galones de diésel B5 que no necesariamente se dejaron de entregar, sino que se entregaron fuera de fecha. La cantidad mencionada proviene de una estimación hecha en base al 8 % del

total de suministro esperado de diésel B5, establecido en acuerdo mutuo de partes en la suscripción del contrato CB02912.

Formulación del problema

¿Cómo podría mejorarse el modelo de negocio del contrato CB02912 en cuanto al desempeño de su ejecución en materia de operatividad industrial, accidentabilidad y administración de impactos ambientales?

Pregunta general de investigación

¿Qué impidió la ejecución efectiva del contrato CB02912?

Preguntas específicas de investigación

- ¿Cómo se modelaría un sistema de gestión integral para la ejecución de contratos de suministro de combustible diésel B5 a compañías pertenecientes a la gran minería haciendo uso de estándares internacionales?
- ¿Desarrolló Petroperú los procesos de planificación, organización, dirección, ejecución y control para la atención del contrato CB02912?
- ¿Contó Petroperú con los recursos necesarios para la atención del contrato?
- ¿Cuáles fueron los incidentes de mayor riesgo (probabilidad y severidad) en la ejecución del contrato?
- ¿Fue efectivo el sistema de suministro de combustible?
- ¿Qué impactos ambientales del proyecto minero Las Bambas afectaron la ejecución del contrato?
- ¿Cuáles serían las especificaciones de un sistema de gestión integral del contrato?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general

Elaborar una solución ingenieril que optimice la operación industrial de suministro de combustible diésel B5 al proyecto minero Las Bambas, basada en la adecuación integrada de estándares de gestión en materia de proyectos, calidad, ambiente y seguridad industrial.

*Objetivos específicos*¹

- Definir el problema del sistema de gestión original del contrato de suministro de combustible CB02912.
- Desarrollar un modelo para analizar los aspectos de confiabilidad del sistema de gestión original del contrato CB02912 que permita investigar, por un lado, la prevención de riesgos laborales y ambientales y, por otro lado, la respuesta rápida cuando surgen incidentes.
- Desarrollar una solución que optimice la operación industrial de suministro de combustible diésel B5 basada en la adecuación de la metodología PMI para la gestión de proyectos y de las series de normas ISO 9000, ISO 14000 y OHSAS 18000 sobre gestión ambiental y seguridad industrial, respectivamente, en los proyectos mineros en Perú.

3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

3.1 Semblanza histórica

La presente investigación parte del contexto de las condiciones de suministro de combustible para el proyecto minero Las Bambas, determinadas en la Licitación LD00611 en el 2011, y en la suscripción del contrato CB02912 en el 2012. Adicionalmente se suscribe el contrato directo OFP103541 por servicio de transporte en el 2012.

3.2 Antecedentes

La fase de construcción del proyecto minero Las Bambas se inició en el 2012, contando con cerca de 16 500 trabajadores a fines del 2013 (Samardzich, 2014). En el 2013, la minera Xstrata y el *trader* de *commodities* más grande del mundo, Glencore, aprueban de mutuo acuerdo su fusión (Custodio, 2013). Estando valuado el proyecto minero Las Bambas en USD 5 850 000 000, fue adquirido por MMG Limited, filial de China Minmetals Corp., donde se procedió con un contrato de suministros a largo plazo por aproximadamente el 57,31 % del concentrado de cobre a producirse en Las Bambas en el 2014 (Michelmore, 2014). La operación comercial inicia en el 2016, siendo MMG Limited la principal accionista y operadora del proyecto (Montoya, 2015).

¹ La investigación considera tres objetivos específicos adicionales que no abordamos en el presente artículo por razones de síntesis.

3.3 Relaciones entre teorías y modelos que inspiran la investigación

Las principales relaciones entre las teorías y modelos se presentan en el diagrama de la figura 1.

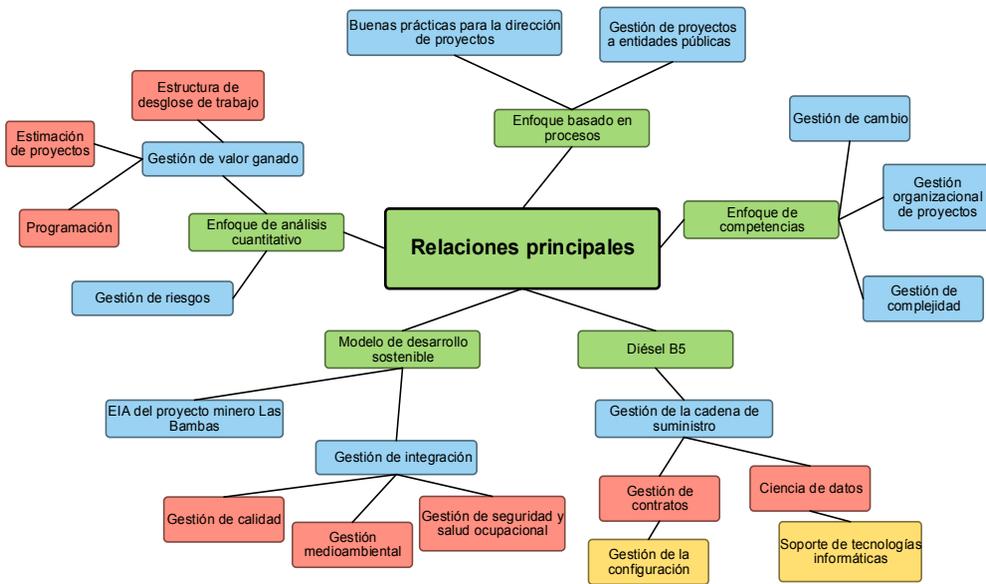


Figura 1. Relaciones principales entre teorías y modelos que inspiran la investigación

Nota: El presente diagrama es del tipo *mind map*, generado por medio del productor de diagramas de flujo en línea Lucidchart.

Elaboración propia

El enfoque basado en procesos inspira la investigación. La Organización Internacional de Normalización define este enfoque como “la aplicación y gestión de un sistema de procesos dentro de una organización, cuyos procesos se identifican e interactúan entre sí, para la obtención de resultados” (OIN, 2008, p. 6). Este enfoque incluye la aplicación de buenas prácticas para la dirección de proyectos bajo el enfoque del PMI para fines de la presente investigación; el PMI (2013) sostiene que la aplicación de buenas prácticas significa estar de acuerdo en que la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas adecuados pueden aumentar las posibilidades de éxito de los proyectos.

Se aplica un enfoque de competencias, lo cual se traduce en el estándar del PMI conocido como “Marco para el desarrollo de competencias del director de proyectos”.

Este estándar estaría orientado no únicamente a los directores de proyecto sino a todas las personas con interés en la dirección de proyectos (PMI, 2007).

Adicionalmente se aplica un enfoque de análisis cuantitativo con la finalidad de abordar aspectos de gestión de riesgo y gestión de valor ganado. De acuerdo con Render, Stair y Hanna (2012), “el enfoque del análisis cuantitativo consiste en definir un problema, desarrollar un modelo, obtener los datos de entrada, desarrollar una solución, probar la solución, analizar los resultados e implementarlos” (p. 3).

Por otro lado, se pone particular énfasis en el diésel B5 en cuanto a la gestión de la cadena de suministro de este bien ya que, según Waters (2010), este tipo de gestión obliga a extender la lógica de la logística *upstream* a los proveedores y la *downstream* a los clientes finales.

La sostenibilidad es parte de los bloques de relaciones principales y se traduce en considerar los distintos eventos y objetos de la investigación como parte de un modelo de desarrollo sostenible que cuenta, como insumo de información, con el estudio de impacto ambiental del proyecto minero Las Bambas, donde figura la siguiente información: marco legal, descripción del proyecto, metodología para la evaluación de impactos ambientales y sociales entre otros. Según Golder Associates Perú, S. A. (2010), la información anterior tiene la finalidad de cumplir con la legislación peruana. El modelo de desarrollo sostenible se adecúa a la normatividad del Perú también en materia de comercialización de combustible diésel B5 que responde a regulaciones económicas y sociales (Osinergmin, 2015). La normatividad relativa a seguridad industrial minera es de relevancia ya que se permite implementar un sistema de gestión de seguridad (Ministerio de Energía y Minas, 2015), además de aquella que corresponde a la gestión ambiental, pues se propone una regulación acorde con el Reglamento de Protección Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento (DS 0402014EM, 2014).

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

4.1 Alcance de la investigación

Para el estudio de la ejecución del contrato CB02912, es menester aplicar una metodología de la investigación con un enfoque mixto: por un lado cualitativo, debido a la recolección de datos no numéricos para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación (Hernández, Fernández y Baptista, 2006), y por otro lado cuantitativo, por la necesidad de recolectar datos cuantificables (medición numérica y análisis estadístico) para establecer patrones de comportamiento y probar hipótesis (Hernández, Fernández y Baptista, 2006).

4.2 Hipótesis principal

Se conjetura la reducción de no conformidades en el suministro de combustible diésel B5 en el proyecto minero Las Bambas, a partir de la implementación de estándares de gestión de proyectos, calidad, ambiente y seguridad industrial en la gestión del contrato CB02912, logrando una mejora de proceso en el modelo de negocio, particularmente en lo que respecta al suministro efectivo del bien con un nivel de limpieza dentro de límites permisibles, es decir, de 18/16/13 de acuerdo con la norma ISO 4406.

4.3 Hipótesis específicas

Habiéndose detectado vínculos principales respecto de ciertos temas en la investigación cualitativa, y teniendo en cuenta los niveles de frecuencia y criticidad de ciertos incidentes, se proponen tres hipótesis relacionadas con las preguntas específicas de investigación expuestas:

- H₁: La ejecución de la programación del suministro de combustible presenta no conformidades en vista de que no se cuenta con una adecuada gestión de proyectos bajo el enfoque del PMI.
- H₂: Los incumplimientos en el equipamiento de camiones cisterna y la continua incursión en fallas operacionales, se evitarían mediante la aplicación de buenas prácticas para la gestión de contratos.
- H₃: La continua incursión en fallas operacionales se evitaría mediante el empoderamiento de la gestión de la cadena de suministro en sus distintos procesos.

4.4 Variable

La variable de investigación a considerar es el tipo de sistema de gestión del contrato CB02912; el sistema de gestión de contrato puede ser original o modificado (integral).

4.4.1 Sistema de gestión modificado (integral) del contrato CB02912

Es un sistema de gestión de proyectos, es decir, la suma de los procesos, entre otros, necesarios para gestionar un proyecto (PMI, 2013). Se propone medir esta variable por medio de indicadores de desempeño tales como cumplimiento en la atención de órdenes de compra, índices relativos a la seguridad y salud ocupacional (DS 0552010EM, 2010), cantidad de materiales peligrosos utilizados (OIN, 1999), cumplimiento de programas propuestos en el contrato, nivel de satisfacción de los interesados.

4.4.2 Sistema de gestión original del contrato CB02912

No existe una gestión definida propiamente para la atención del contrato; sin embargo, la organización trabaja haciendo uso de un sistema integrado de gestión en materia de

gestión de la calidad, ambiente, seguridad y salud en el trabajo (Petroperú, 2016). Esta variable se mide mediante los indicadores clave de desempeño KPI propuestos en el contrato CB02912 (Azálgara, 2018).

4.5 Operacionalización de las variables

La tabla 1 presenta una matriz que sintetiza lo expuesto.

Tabla 1. *Matriz de operacionalización de variables*

Hipótesis	Variable	Definición conceptual simplificada	Definición operacional	Indicadores
Hi: La reducción de no conformidades en el suministro de combustible diésel B5 en el proyecto minero Las Bambas a partir de la implementación de estándares de gestión de proyectos, calidad, ambiente y seguridad industrial en la gestión del contrato CB02912, logrando una mejora de procesos en el modelo de negocio, particularmente en lo que respecta al suministro efectivo del bien con un nivel de limpieza dentro de límites permisibles.	Sistema de gestión original del contrato CB02912	Sistema de gestión original del contrato CB02912.	Revisión de indicadores KPI del contrato.	Cumplimiento de la entrega. Cantidades de <i>stockout</i> . Número de incidentes. Número de incidentes ambientales. Cumplimiento de hoja de ruta. Cumplimiento de programas (responsabilidad social y asistencia técnica).
	Sistema de gestión integral del contrato CB02912	Sistema propuesto de gestión del contrato CB02912, basado en la implementación de la metodología del PMI para la dirección de proyectos junto con las normas ISO 9000, ISO 14000 y OHSAS 18000.	Revisión de indicadores KPI del contrato. Revisión de indicadores KPI de análisis comparativo.	Cumplimiento de la entrega. Cantidad de devoluciones. Cantidades de <i>stockout</i> . Número de incidentes. Número de incidentes ambientales. Cumplimiento de hoja de ruta. Cumplimiento de programas (responsabilidad social y asistencia técnica). Porcentaje incremental de indicadores de ingeniería (productividad, utilización, rendimiento) respecto del sistema original.

Elaboración propia

4.6 Método y diseño

Con la finalidad de estudiar casos de incidentes de mediano y bajo potencial acontecidos entre los años 2012 y 2013 en el área de influencia del proyecto minero Las Bambas, relativos a la operación industrial de suministro de combustible diésel B5, se aplica un proceso de investigación conocido como DEXPLOS, que corresponde a un diseño exploratorio secuencial bajo modalidad derivativa (Hernández, Fernández y Baptista, 2010). El diseño de investigación requiere de la aplicación de un enfoque mixto, compuesto por un componente cualitativo y otro cuantitativo. La investigación se realiza en tres fases (figura 2).

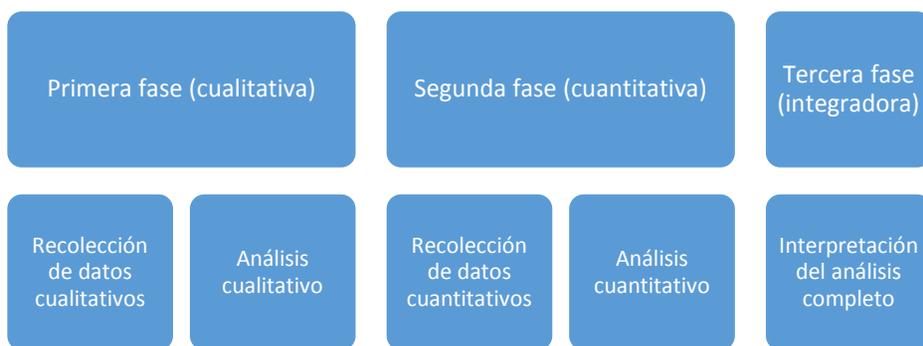


Figura 2. Esquema del diseño exploratorio secuencial

Elaboración propia

4.6.1 Muestreo

En la fase cualitativa de la investigación, la población son los incidentes de bajo y mediano potencial acontecidos durante el 2012 y el 2013 en la zona de influencia del proyecto minero Las Bambas. Se trata de unidades de análisis compuestas por incidentes que tuvieron lugar, por un lado, en el marco de la ejecución del contrato de suministro de combustible diésel B5 y, por otro lado, que refieren a la interrupción del suministro regular del bien. La muestra inicial comprende 274 casos procedentes del registro personal del autor de la presente investigación. La muestra es probabilística y de carácter teórico o conceptual.

En la fase cuantitativa, la población son incidentes que evidencian o contribuyen al desabasto de combustible e incumplimiento del nivel de limpieza durante la ejecución efectiva del contrato CB02912. Adicionalmente se tienen unidades de análisis compuestas por incidentes relativos a la ejecución del contrato CB02912 que han sido abordadas en la fase cualitativa. Se genera una muestra de tipo no probabilístico seleccionándose los

casos en base a la variable severidad del incidente; la severidad se traduce en pérdidas económicas para el proyecto minero.

4.6.2 *Recolección y análisis de datos*

En la fase cualitativa los instrumentos de recolección son, por un lado, archivos personales (registros privados de reportes no oficiales) y por otro lado, artefactos y construcciones grupales o comunitarios. El proceso de recolección y análisis de datos cualitativos se aprecia en la figura 3.



Figura 3. Proceso de análisis y recolección de datos cualitativos

Elaboración propia

En la fase cuantitativa se aplica un análisis de contenido cuantitativo como instrumento de recolección de datos. Posteriormente, en la fase integradora de la investigación se realiza análisis con base en un modelado y una simulación del suministro de combustible (figura 4).

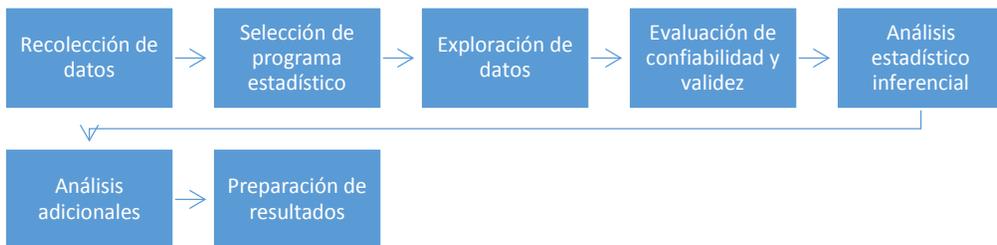


Figura 4. Proceso de análisis y recolección de datos cuantitativos

Elaboración propia

4.6.3 Limitaciones

La presente investigación está limitada en cuanto al uso de fuentes primarias de información, como son los documentos sobre los incidentes (no oficiales), y porque existen limitantes del operador logístico en cuanto a la confidencialidad de la información. Por otro lado, la recolección de datos fue realizada a partir de evidencias generadas mayormente por el operador logístico.

4.6.4 Visualización gráfica del estudio

La presente investigación es del tipo DEXPLOS en modalidad comparativa y su esquema es representado en la figura 5.

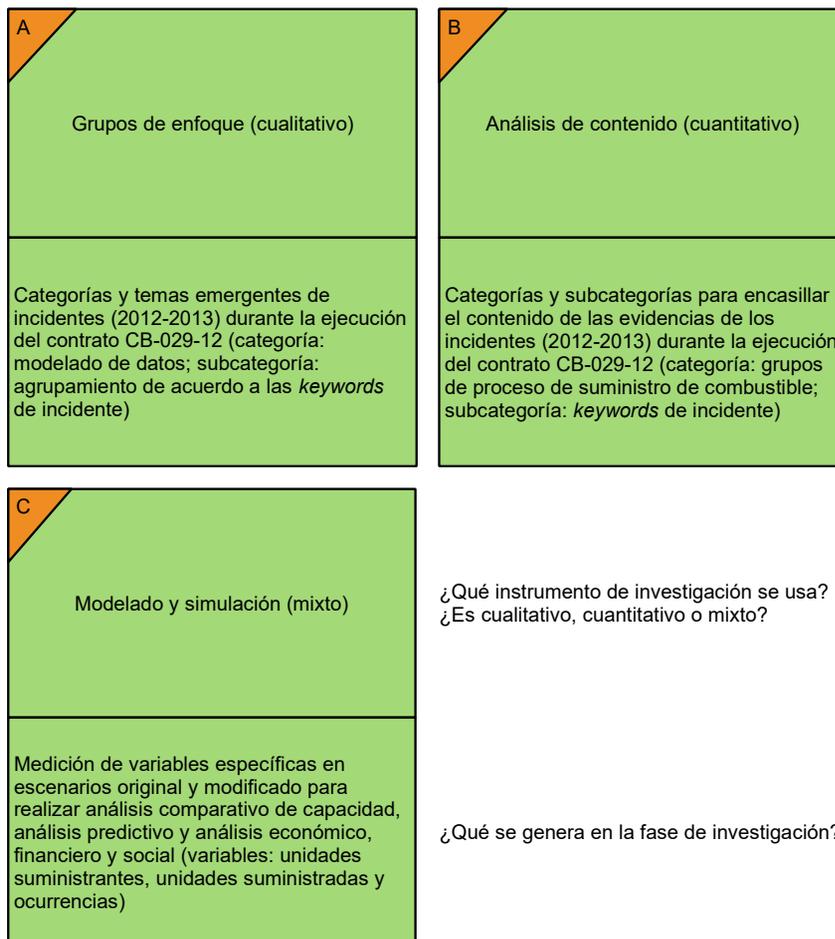


Figura 5. Visualización gráfica de la investigación tipo DEXPLOS

Elaboración propia

5. RESULTADOS

5.1 Investigación en fases cualitativa y cuantitativa

Con la finalidad de focalizar el presente artículo en el objeto de la investigación, no se presentan a detalle los resultados de las fases cualitativa y cuantitativa. La relación secuencial entre las fases implica del mismo modo un desarrollo evolutivo que inicia en lo cualitativo para continuar con lo cuantitativo, para así finalizar con lo integrador.

En la investigación en fase cualitativa se detectaron, como incidentes más frecuentes, incumplimientos de programación, no conformidades en el equipamiento de camiones cisterna y fallas mecánicas; lo anterior correspondería mayormente a incidentes de mediano y bajo potencial. De acuerdo con los incidentes acontecidos se detectan como oportunidades de mejora más frecuentes al abordar la gestión de la cadena de suministro, la gestión de contratos o, en su defecto, la implementación de buenas prácticas para la gestión de proyectos.

En la fase cuantitativa se detectan las siguientes oportunidades de mejora que contribuirían más representativamente a la reducción y prevención de incidentes:

1. Aplicación de buenas prácticas para la dirección de proyectos bajo el enfoque del PMI (85,04 % de las veces).
2. Aplicación de la gestión de cambio (66,42 % de las veces).
3. Aplicación de gestión organizacional de proyecto (64,96 % de las veces).

El primer aspecto señala la aplicación de un enfoque basado en procesos (OIN, 2008). Los dos subsiguientes apuntan hacia un enfoque de competencias bajo los lineamientos del PMI (2007). Teniendo en consideración únicamente la aplicación de buenas prácticas para la dirección de proyectos bajo el enfoque del PMI, se concluye que las fallas operacionales son el tipo de incidente sujeto a mayor reducción y prevención (53,28 % de las veces), lo cual coincide con lo que resulta primordial atender para una ejecución efectiva del contrato CB02912. Lo anterior se traduce en la reducción y prevención de los derroches principales: tiempo (70,44 % de las veces) y equipos (46,35 % de las veces).

Es viable generalizar el comportamiento de las ocurrencias acontecidas durante la ejecución de contrato CB02912 a partir de los 274 casos reunidos para la presente investigación. Sin embargo, la correspondencia con la realidad práctica se verifica tan solo similar y correspondiente para los años 2012 y 2013, en niveles regular y alto respectivamente; posteriormente, los niveles de similitud y correspondencia son bajos. La fecha del incidente se explica particularmente mediante el tipo de incidente a un nivel estadístico (ANOVA *one-way*) en un 28,78 %. La relación anterior se expresa mediante la ecuación:

$$y = 0,04193 + 0,008421 x - 0,000010 x^2$$

Donde y es la fecha del incidente y x el tipo de incidente.

5.2 Investigación en fase integradora

Los resultados obtenidos en la investigación en su fase integradora se aprecian en la tabla 2.

Tabla 2
Resultados de investigación en fase integradora

Tipo de investigación		Investigación en fase integradora	
	Parte	Resultado	Referencias
1.	Unidad de análisis y categorías	Unidades de análisis: unidades suministrantes diarias y unidades suministradas diarias que componen el suministro de combustible del contrato CB02912 a un nivel prescriptivo.	Tabla 3
		Categorías: tipo de sistema de gestión de contrato; tipo de ocurrencia.	Tabla 3
2.	Instrumento de recolección de datos	Método cuantitativo de recolección de datos: modelado y simulación de sistemas dinámicos.	
		Técnica: enfoque de análisis cuantitativo.	
		Instrumento: modelo y simulador de suministro de combustible para sistema de gestión de contrato. Administrador: investigador	Tabla 4
3.	Exploración de datos	a) Estadísticos descriptivos: se aprecia una media para las unidades suministrantes diarias de 7,3557 en el sistema original, frente a 7,4780 en el sistema modificado, con desviación estándar de 0,8835 y 0,8669 respectivamente..	
		b) Distribución de frecuencias: De acuerdo con su frecuencia, las unidades que se suministran diariamente son 7 y 8, tanto para el sistema original como para el modificado.	
		c) Medidas de tendencia central, de variabilidad y pruebas de normalidad de los grupos de categorías: no se aprecia una normalidad para el sistema original ni para el modificado (validación mediante la prueba de Anderson-Darling).	
		d) Razones y tasas: 477,76 ocurrencias por 1000 unidades suministradas diarias con el sistema de gestión de contrato original. 132,92 ocurrencias por 1000 unidades suministradas diarias con el sistema de gestión de contrato en versión modificada (75 % de reducción de probabilidad de ocurrencia de incidentes) 268,77 ocurrencias por 1000 unidades suministradas diarias con el sistema de gestión de contrato en versión modificada (50 % de reducción de probabilidad de ocurrencia de incidentes). 375,34 ocurrencias por 1000 unidades suministradas diarias con el sistema de gestión de contrato en versión modificada (25 % de reducción de probabilidad de ocurrencia de incidentes)	

(continúa)

(continuación)

		375,34 ocurrencias por 1000 unidades suministradas diarias con el sistema de gestión de contrato en versión modificada (25 % de reducción de probabilidad de ocurrencia de incidentes)	
4.	Confiabilidad, validez y objetividad	<p>Confiabilidad</p> <p>Método para determinar la confiabilidad: formas alternas</p> <p>Número de análisis de elementos: 1.</p> <p>Correlación de Pearson: 0,918</p> <p>Alfa de Cronbach: 0,9571</p> <p>Nivel de similitud: fiabilidad alta</p> <p>Nivel de consistencia interna: fiabilidad alta</p> <hr/> <p>Validez</p> <p>a) Obtención (validez de contenido + validez de criterio + validez de constructo): 3</p> <p>b) Validez global del instrumento: 0,9583</p> <hr/> <p>Objetividad</p> <p>Objetividad</p> <p>a) Permeabilidad (limitación: 1 único investigador)</p> <p>b) Estandarización (utilización de modelo con componentes aceptados en el sector de energía y minas)</p>	
5.	Análisis comparativo de capacidad	<p>a) Análisis comparativo de capacidad 1</p> <p>Proceso de línea base: variables del sistema original</p> <p>Proceso mejorado: variables del sistema modificado</p> <p>Resultado: la probabilidad de producir una unidad sin defecto mejoró de 62,0 a 87,6 %</p> <p>Contexto: reducción de 75 % de incidentes</p> <hr/> <p>b) Análisis comparativo de capacidad 2</p> <p>Proceso de línea base: variables del sistema original</p> <p>Proceso mejorado: variables del sistema modificado</p> <p>Resultado: la probabilidad de producir una unidad sin defecto mejoró de 62,0 a 76,4 %</p> <p>Contexto: reducción de 50 % de incidentes</p> <hr/> <p>c) Análisis comparativo de capacidad 3</p> <p>Proceso de línea base: variables del sistema original</p> <p>Proceso mejorado: variables del sistema modificado</p> <p>Resultado: la probabilidad de producir una unidad sin defecto mejoró de 62,0 a 68,7 %</p> <p>Contexto: reducción de 25 % de incidentes</p>	<p>Tabla 5</p> <p>Tabla 5</p> <p>Tabla 5</p>
6.	Análisis predictivo	<p>Propósito: escoger modelos predictivos que expliquen los datos</p> <hr/> <p>Problema: se requiere detectar patrones de comportamiento de los datos</p> <hr/> <p>Análisis predictivo 1: aprendizaje automático</p> <p>a1) Aprendizaje automático sin supervisión. Escenario: sistema original</p> <p>Algoritmo K-Means: 5 centroides</p>	

(continúa)

(continuación)

	<p>Evaluación: se aprecia una tendencia respecto de las ocurrencias para con las operaciones que incluyen 7 unidades suministradas diarias (base = probabilidad de ocurrencia)</p> <p>A2) Aprendizaje automático sin supervisión. Escenario: sistema modificado</p> <p>Algoritmo <i>K-Means</i>: 5 centroides</p> <p>Evaluación: se aprecia una tendencia respecto de las ocurrencias para con las operaciones que incluyen 7 u 8 unidades suministradas diarias (base = probabilidad de ocurrencia)</p> <p>b1) Aprendizaje automático con supervisión. Escenario: sistema original</p> <p>Modelo predictivo más adecuado: bosque al azar (<i>random forest</i>) / k-vecino más cercano (<i>k-nearest neighbour</i>)</p> <p>b2) Aprendizaje automático con supervisión. Escenario: sistema modificado</p> <p>Modelo predictivo más adecuado: k-vecino más cercano</p>
	<p>Análisis predictivo 2: modelado dinámico de series temporales</p> <p>a)] Sistema original</p> <p>Modelo: modelo autorregresivo integrado de promedio móvil (ARIMA)</p> <p>Especificación: ARIMA (2, 1, 1) x (1, 1, 1)</p> <p>b) Sistema modificado</p> <p>Modelo: modelo autorregresivo integrado de promedio móvil (ARIMA)</p> <p>Especificación: ARIMA (2, 1, 1) x (1, 1, 1)</p>
7.	<p>Análisis económico, financiero y social</p> <p>Propósito: evidenciar la mejor condición económica del sistema modificado frente al sistema original y generar un valor referencial correspondiente al incremento.</p> <p>Metodología: análisis comparativo u horizontal</p>
	<p>Recolección de datos: se recolectan y se generan datos prescriptivos relativos a las ventas industriales</p> <p style="text-align: right;">Tabla 6</p>
	<p>Procesamiento de la datos y análisis de resultados:</p> <p>a) Resultados desde una perspectiva de giro de negocio</p> <p>Ingreso potencial por incremento en ventas industriales en PEN: 17 429 168 (incremento en ventas industriales de 1,6459 %)</p> <p>b) Resultados desde una perspectiva tributaria</p> <p>Ingreso tributario potencial por incremento en ventas industriales en PEN: 5 207 373 (incremento en recaudación tributaria de 1,6332 %)</p> <p style="text-align: right;">Figura 6</p>
	<p>Evaluación:</p> <p>Se evidencia cierto nivel de correspondencia con la realidad práctica</p> <p>Se evidencia la mejor condición económica de la solución modificada en comparación con la solución original</p>

Elaboración propia

Tabla 3
Datos del simulador de suministro de combustible de gestión de contrato

Parámetro	SIG Original	SIG Integral	Unidad de medida	Observación
Inicio de suministro	5/05/2012	5/05/2012		Fecha de inicio del contrato CB02912.
Término de suministro	30/04/2017	30/04/2017		Fecha de término del contrato CB02912.
Plazo del contrato	1822	1822	Días calendario	
Inicio de suministro referencial	5/05/2012	5/05/2012		
Término de suministro referencial	20/12/2016	20/12/2016		
Población de entrada (simulación)	13524	13752	Unidades suministradas diarias	
Población de salida (simulación)	13402	13625	Unidades suministradas diarias	La distribución de las unidades a lo largo del plazo del contrato es aleatoria y se regula de acuerdo con una distribución triangular. El redondeo de los resultados es a 0 decimales.
Δ Flujo de entrada y salida	122	127	Unidades suministradas diarias	
Población de entrada (distribución)	Triangular (5,7,9)	Triangular (5,7,9)	Unidades suministradas diarias	Estimación referencial con ajuste manual y aleatorio.
Población de salida (distribución)	Triangular (5,7,9)	Triangular (5,7,9)	Unidades suministradas diarias	Estimación referencial con ajuste manual y aleatorio.
Ocurrencias estimadas para el contrato original	6403	-	Incidentes	Estimación realizada mediante el método de Holt-Winters
Ocurrencias estimadas para el contrato modificado	-	1811	Incidentes	Se considera un aplazamiento del suministro aleatorio entre 0 y 1 día si y solamente si ocurre un incidente. La mejora del proceso resulta en 75 % de reducción de probabilidad de ocurrencia de incidentes.
	-	3662	Incidentes	Se considera un aplazamiento del suministro aleatorio entre 0 y 1 día si y solamente si ocurre un incidente. La mejora del proceso resulta en 50 % de reducción de probabilidad de ocurrencia de incidentes.
	-	5114	Incidentes	Se considera un aplazamiento del suministro aleatorio entre 0 y 1 día si y solamente si ocurre un incidente. La mejora del proceso resulta en 25 % de reducción de probabilidad de ocurrencia de incidentes.

Nota: SIG: Sistema Integrado de Gestión de Contrato; SIG original: SIG con el que cuenta la operación industrial originalmente. SIG modificado: SIG con el que contaría la operación industrial en caso de implementar una o varias oportunidades de mejora.
Elaboración propia

Tabla 4
Análisis comparativo de las simulaciones del sistema de gestión de contrato en versión original e integral (modificada)

Elemento de análisis comparativo	Proceso	Parte operante	Codificación en modelo	Tipo de elemento del modelo	Parámetro	Configuración		Observaciones
						Original	Modificada	
1. El sistema modificado permite un mayor flujo de unidades suministrantes diarias.	Generación de O/C de bienes	Petroperú, Servosa	Unidades Suministrantes	Origen	Población de agentes	13 524	13 752	Unidades suministrantes diarias
2. El sistema modificado agiliza el proceso.	Generación de O/C de bienes	Las Bambas	OrdenC_XLB	Servicio	Tiempo de espera	Uniforme (1,2)	Uniforme (0,1)	Días
3. El sistema modificado agiliza el proceso.	Programación de suministro	Petroperú	Programación_PE	Servicio	Tiempo de espera	Uniforme (1,2)	Uniforme (0,1)	Días
4. El sistema modificado agiliza el proceso.	Solución logística	Servosa	Solución_SE	Servicio	Tiempo de espera	Uniforme (1,2)	Uniforme (0,1)	Días
5. El proceso en sistema modificado considera un mayor flujo de unidades suministrantes diarias	Reposición de inventario				Flujo de agentes	13 441	13 736	Unidades suministrantes diarias
6. El sistema modificado permite una mayor utilización de la instalación de almacenamiento (planta y terminal) dentro de lo aceptable (categoría de utilización: verde)	Inventario actual en planta y terminal	Petroperú	InventarioA_PVT_PE	Servicio	Recursos	9	9	Unidades de recursos Código del recurso: Planta_Terminal_PE 1 unidad de recurso = 1 unidad operacional logística. Operación logística de referencia: recepción y despacho del bien en un periodo de tiempo referencial (tiempo de espera).

(continúa)

(continuación)

	Requerimiento de recursos para la atención de 1 agente	1	1	Unidad de recurso por unidad suministrante diaria						
	Capacidad de la cola	9	9	Días						
	Tiempo de espera	Uniforme (0,1)	Uniforme (0,1)	Días						
	Utilización de los recursos	30 %	31 %							
7.	El sistema modificado permite una menor utilización de la instalación de almacenamiento (estación) dentro de lo aceptable (categoría de utilización: verde). El sistema modificado se desarrolla en un mejor escenario que el sistema original (categoría de utilización: roja).	Inventario de tránsito	Petroperú y Servosa	Inventario_SE	Servicio	Recursos	35	49	Unidades de recursos	Código del recurso: Planta_Terminal_PE 1 unidad de recurso = 1 unidad operacional logística. Operación logística de referencia: transporte y almacenamiento del bien en tránsito en un periodo de tiempo referencial (tiempo de espera).
						Requerimiento de recursos para la atención de 1 agente	1	1	Unidades suministrantes diarias	

(continúa)

(continuación)

		Capacidad de la cola	∞	∞	Días	Se considera una cola de máxima capacidad debido a que no habría necesidad de hacer esperar unidades cargadas previamente a su transporte.
		Tiempo de espera	Triangular (3, 4,5)	Triangular (3, 3,4,5)	Días	
		Utilización	84 %	61 %		
8.	El proceso en sistema modificado considera un mayor flujo de unidades suministrantes diarias	Flujo de agentes	13,441	13 695	Unidades suministrantes diarias	
9.	Inventario actual en Las Bambas	Recursos	9	9	Unidades de recursos	Código del recurso: EstaciónR 1 unidad de recurso = 1 unidad operacional logística.
		Requerimiento de recursos para la atención de 1 agente	1	1	Unidades suministrantes diarias	Operación logística de referencia: recepción y despacho del bien en un periodo de tiempo referencial (tiempo de espera).
		Capacidad de la cola	9	9	Días	
		Tiempo de espera	Uniforme (0,1)	Uniforme (0,1)	Días	
		Utilización	31 %	31 %		

(continúa)

(continuación)

10. El proceso en sistema modificado considera un mayor flujo de unidades suministrantes diarias	Operaciones (proyecto minero, mina)	13 402	13 652	Unidades suministrantes diarias
11. El sistema modificado permite una mayor cantidad de unidades suministradas diarias	Petroperú y Servosa	Población de agentes	13 652	Unidades suministradas diarias

Elaboración propia

Tabla 5
Resultados del análisis comparativo de capacidad

Análisis comparativo	Procesos	Tipo de proceso	Variable	Tipo de variable	Descripción de variable	Mejora	% de reducción de incidentes		
1.	1.	Línea base	Producto	Suministro de combustible	Unidades suministradas en sistema de gestión de contrato original.	La probabilidad de producir una unidad sin defecto mejoró de 62,0 a 87,6 %.	No aplica		
			Defecto	Incidente operacional	Pronósticos de incidentes obtenidos en base a método de Holt-Winters con un modelo aditivo generado con datos reales.				
	2.	Mejorado	Producto	Suministro de combustible	Unidades suministradas en sistema de gestión de contrato modificado.		75 %		
			Defecto	Incidente operacional	Datos que derivan de aquellos correspondientes a la variable ocurrencias.				
	2.	1.	Línea base	Producto	Suministro de combustible		Unidades suministradas en sistema de gestión de contrato original.	La probabilidad de producir una unidad sin defecto mejoró de 62,0 a 76,4 %.	No aplica
				Defecto	Incidente operacional		Pronósticos de incidentes obtenidos en base a método de Holt-Winters con un modelo aditivo generado con datos reales.		
2.		Mejorado	Producto	Suministro de combustible	Unidades suministradas en sistema de gestión de contrato modificado.	50 %			
			Defecto	Incidente operacional	Datos que deriva de aquellos correspondientes a la variable ocurrencias.				
3.		1.	Línea base	Producto	Suministro de combustible	Unidades suministradas en sistema de gestión de contrato original.	La probabilidad de producir una unidad sin defecto mejoró de 62,0 a 68,7 %.		No aplica
				Defecto	Incidente operacional	Pronósticos de incidentes obtenidos en base a método de Holt-Winters con un modelo aditivo generado con datos reales.			
	2.	Mejorado	Producto	Suministro de combustible	Unidades suministradas en sistema de gestión de contrato modificado (véase el apéndice M)	25 %			
			Defecto	Incidente operacional	Datos que derivan de aquellos correspondientes a la variable Ocurrencias.				

Elaboración propia

Tabla 6
Datos recolectados para el análisis económico, financiero y social

Datos	Tipo de datos	Tipo de elemento de proceso	Fuente de información
Unidades suministradas diarias	Prescriptiva	Entrada	La presente investigación en fase integradora
Ventas industriales	Prescriptiva	Entrada	
Impuesto General a las Ventas (IGV)	Prescriptiva	Entrada	
Impuesto Selectivo al Consumo (ISC)	Prescriptiva	Entrada	Contrato CB02912
Precio unitario	Real	Entrada	
Flete	Real	Entrada	Superintendencia de Banca y Seguros del Perú
Tasa de interés pasiva PEN (TIPMN)	Real	Entrada	
Tipo de cambio (compra y venta)	Real	Entrada	investing.com
Tasas de rendimiento de bonos de Estados Unidos (10 años)	Real	Entrada	
Flujos de efectivo actualizados	Prescriptiva	Salida	Datos generados en el presente apartado
Ingreso potencial por incremento en ventas industriales	Prescriptiva	Salida	
Ingreso tributario potencial por incremento en ventas industriales	Prescriptiva	Salida	

Nota: todos los datos recolectados para el plazo de vigencia del contrato CB02912 (5 de marzo del 2012 al 30 de abril del 2017). El flete (y por lo tanto el precio unitario) está sujeto a dos fases: la primera refiere al suministro de combustible desde la planta Cusco y la segunda al suministro desde el terminal Mollendo.

Elaboración propia

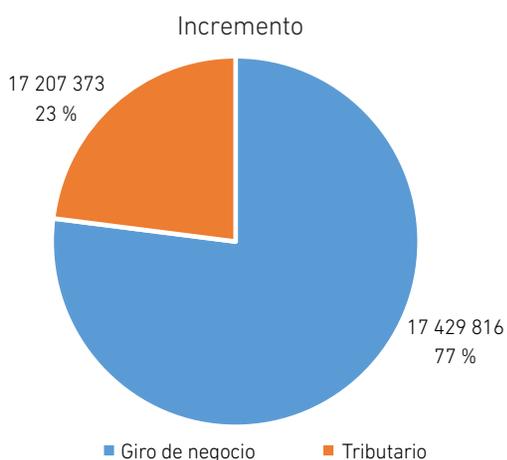


Figura 6a. Dashboard de consolidación de resultados

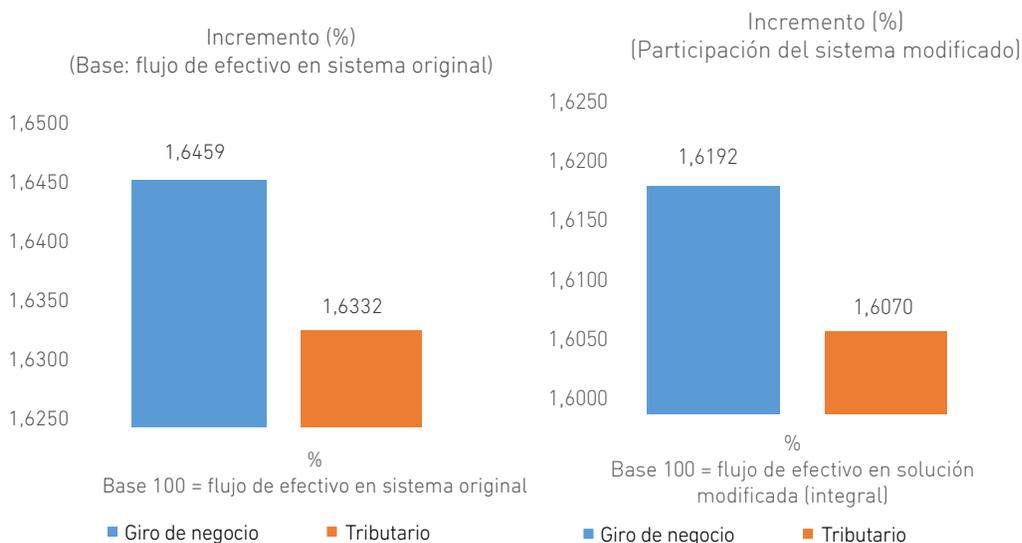


Figura 6b. Dashboard de consolidación de resultados

Nota: Se tiene un incremento total de S/ 22 636 541.

Elaboración propia

6. CONCLUSIONES Y APUNTES FINALES

6.1 Conclusiones

Se concluye que modificar el sistema de gestión original del contrato CB0912 mediante la implementación de buenas prácticas para la gestión de proyectos bajo el enfoque del PMI, así como, focalizarlo en la operación industrial con el uso de las normas ISO 9000, ISO 14000 y OHSAS 18000, contribuye a generar soluciones que optimizan el uso de recursos, maximizando por un lado el ingreso por ventas industriales y por otro lado la recaudación tributaria. Las labores de optimización tienen su sustento en modificaciones del sistema de gestión que van en la línea de los cinco bloques de relaciones propuestos en la presente investigación. El modelo teórico para la mejora del modelo de negocio del contrato CB02912, y el modelo y simulador de Suministro de Combustible para el Sistema de Gestión de Contrato (MOSCOM-SGC) contribuyen a la detección de aspectos a modificar. La modificación del sistema de gestión original genera un nuevo sistema de gestión a partir de una gestión de integración, lo cual deviene en una mejor condición económica, financiera y social.

Respecto a la contrastación de la hipótesis principal, se verifica que la implementación de buenas prácticas bajo el enfoque del PMI, junto con aspectos del sistema original

relativos a calidad, ambiente y seguridad industrial, contribuye a la generación de un sistema de gestión integral que coloca el nuevo sistema en una mejor condición económica, financiera y social, así como operacional. En este último aspecto, se incrementan las probabilidades de éxito de operar con una unidad suministrada diaria sin defecto; de 68,7 a 87,6 %, dependiendo de la meta de prevención y reducción de incidentes. En cuanto a los aspectos económico, financiero y social, se obtiene un incremento en ventas industriales de 1,6459 % (PEN 17 429 168) y en recaudación de impuestos, de 1,6332 % (PEN 5 207 373).

En cuanto a la contrastación de hipótesis específicas se verifica que la falla de programas tendría su origen en una motivación poco adecuada del personal y la utilización de procedimientos de trabajo poco adecuados. Por otro lado, el incumplimiento de estándares tendría su origen en el uso de procedimientos poco adecuados en lo que se refiere a la operación con depósitos y almacenamientos peligrosos. La ocurrencia de fallas operacionales se debería a la utilización insegura de equipos.

6.2 Apuntes finales

En el marco de un contrato vinculado a la gran minería del Perú, como es el caso del contrato CB02912, con la finalidad de lograr una operación industrial de suministro de combustible diésel B5 basada en soluciones vinculadas a la optimización de los distintos recursos con que cuenta, además de un monitoreo y control efectivos, se recomienda el uso del modelo teórico para la mejora del modelo de negocio del contrato, y el modelo y simulador de suministro de combustible para el sistema de gestión de contrato (MOSCOM-SGC), ambos instrumentos son útiles en otros contextos similares, como parte del *pool* de herramientas de mejora continua para labores de seguimiento y control.

La presente investigación pone en evidencia, entre otras cosas, que para que el sistema de gestión original de suministro de combustible diésel B5 devenga en un sistema en mejores condiciones, es necesario aplicar una gestión de la integración entre los lineamientos del PMI y las series de normas ISO 9000, ISO 14000 y OHSAS 18000. El sistema resultante sería un sistema de gestión modificado, también llamado sistema integrado de gestión por contrato. El modelo y simulador MOSCOM-SGC y el modelo teórico propuesto para la mejora del modelo de negocio del contrato CB02912 se constituyen y se proponen como herramientas de mejora continua que contribuyen a los fines del grupo de procesos de seguimiento (o monitoreo) y control.

Consideramos conveniente abordar lo que se conoce como animación, con la finalidad de incrementar la interactividad del modelo y simulador MOSCOM-SGC. Se sugiere mejorar el entorno de simulación incluyendo una interfaz gráfica con objetos 3D, lo cual se llevaría a cabo utilizando la herramienta de simulación AnyLogic u otra similar. Asimismo, recomendamos incluir la perspectiva del modelo de referencia de las

operaciones de cadena de suministro, ya que en la presente investigación se identifica un grupo de procesos del suministro de combustible para los fines de la cadena. Dicho modelo es conocido y cuenta con aprobación a nivel internacional.

Finalmente se sugiere considerar el modelo de la presente investigación como método no solamente aplicable para fines académicos, como en el caso original, sino también para el campo, es decir, en una operación real. Se sugiere además considerar el lugar de trabajo: una oficina de gestión técnica de contrato donde se cumplan las funciones de seguimiento y control. El lugar apropiado sería la zona de influencia del proyecto minero. Adicionalmente es necesario considerar que no es suficiente que la gestión técnica de contrato cuente con un lugar físico sino también con el soporte tecnológico adecuado en un contexto de portabilidad.

REFERENCIAS

- Agencia de la Promoción de la Inversión Privada (Proinversión) (2005). *Las Bambas. Un modelo de desarrollo sostenible*. Lima: Proinversión.
- Azálgara, M. (2018). Análisis de una Operación Industrial de Suministro de Combustible Diésel B-5 y desarrollo de optimización basada en las metodologías PMI, ISO 9000, ISO 14000, y OHSAS 18000. (Tesis doctoral). México: Universidad Internacional Iberoamericana.
- Custodio, P. (8 de julio del 2013). Las idas y venidas de la adquisición de Las Bambas. *Semana Económica*. Recuperado de <http://semanaeconomica.com/article/sectores-y-empresas/mineria/120033-adquirir-las-bambas-no-es-cosa-facil/>
- Decreto Supremo 040 2014 EM (12 de noviembre del 2014). Decreto legislativo que aprueba el Reglamento de Protección Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento. Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/download/full/6XlIVNeY4Ub9mix9Pq-nxX>
- Golder Associates Perú, S. A. (2010). *Estudio de impacto ambiental de proyecto minero Las Bambas. Resumen ejecutivo*. Lima: Golder Associates Perú. Recuperado de: <http://gestion2.e3.pe/doc/0/0/1/1/3/113512.pdf>
- Hernández, R., Fernández C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández, R., Fernández C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Michelmore, A. (21 de julio del 2014). Accionistas de MMG aprueban adquisición de Las Bambas. *Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/empresas/accionistas-mmg-aprueban-adquisicion-bambas-66188>

- Ministerio de Energía y Minas (2015). *Anuario minero 2014*. Lima: Ministerio de Energía y Minas. Recuperado de http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=501
- Montoya, K. (23 de septiembre del 2015). Proyecto Las Bambas está casi listo: su avance supera el 95%. *Semana Económica*. Recuperado de <http://semanaeconomica.com/article/sectores-y-empresas/mineria/169950-proyecto-las-bambas-esta-casi-listo-avance-supera-el-95/>
- Observatorio de Conflictos Mineros (2013). *13° observatorio de conflictos mineros en el Perú. Reporte segundo semestre 2013*. Recuperado de <http://conflictosmineros.org.pe/2017/11/27/13o-observatorio-de-conflictos-mineros-reporte-segundo-semestre-2013/>
- Organización Internacional de Normalización (OIN) (noviembre de 1999). Norma ISO 14031:1999(es), Gestión Ambiental. Evaluación del desempeño ambiental. Directrices. Recuperado de <https://www.iso.org/contents/data/standard/02/31/23149.html>
- Organización Internacional de Normalización (OIN) (noviembre del 2008). Norma ISO 9001:2008(es), Sistemas de Gestión de la Calidad. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-4:v2:es:sec:B>
- Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minería (Osinergmin) (2015). *La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país*. Lima.
- Petróleos del Perú, S. A. (Petroperú) (2011). Especificaciones técnicas de combustible diésel B5 S50. Recuperado de <https://www.petroperu.com.pe/productos/combustibles/diesel-ultra/>
- Petróleos del Perú, S. A. (Petroperú) (2016). Petroperú comprometido con el cuidado del ambiente. Recuperado de <https://1drv.ms/b/s!Ar876AhKJSKRgtUVg04zgdxbxbyalfA>
- Project Management Institute (PMI) (2007). *Project Manager Competency Development (PMCD) Framework*. Pensilvania: PMI.
- Project Management Institute (PMI) (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Pensilvania: PMI.
- Render, B., Stair, R. y Hanna, M. (2012). *Métodos cuantitativos para los negocios*. México: Pearson Educación.
- Samardzich, C. (13 de abril del 2014). Venta de Las Bambas: El *deal* más grande de la historia del Perú. *Semana Económica*. Recuperado de <http://semanaeconomica.com>

com/article/extractivos/134243-las-bambas-venta-glencore-xstrata-mm-g-china-minmetals-el-deal-mas-grande-de-la-historia-del-peru/

Waters, D. (2010). *Global Logistics*. Filadelfia: Kogan Page Limited.

Xstrata Copper (2013). *Informe de sostenibilidad 2012*. Recuperado de https://www.unglobalcompact.org/system/attachments/23113/original/Informe_de_Sostenibilidad_2012.pdf?1372891868

USO DE MODELOS DE CALIDAD EN LAS MYPES PRODUCTORAS DE *SOFTWARE* DE LIMA

MIRIAM AMABLE CIUDAD, ROSA MILLONES RIVALLES*
Universidad de Lima

Recibido: 7 de mayo de 2018 / Aprobado: 11 de septiembre del 2018

doi: 10.26439/ing.ind2019.n037.4543

RESUMEN: Las micro y pequeñas empresas representan un 85 % en la industria del *software*. Se les caracteriza por el uso de los modelos de calidad tanto del proceso como del producto. En una investigación descriptiva con 80 mypes se observa mayor uso de modelos de calidad de proceso y menor uso para calidad de producto, aunque muestran un conocimiento de los factores de calidad.

Palabras clave: *software*-control de calidad / control del proceso / calidad del producto / pequeña y mediana empresa / micro y pequeña empresa (mype) productora de *software*

USE OF QUALITY MODELS BY SOFTWARE DEVELOPMENT *MYPES* FROM LIMA

ABSTRACT: Micro and small businesses (*mypes*) account for 85% of the software industry. They characterize by the use of quality models for both the process and the product. In a descriptive research conducted with 80 *mypes*, it was observed that they used more process quality models and less product quality models, and they demonstrated to know the quality factors.

Keywords: software quality control / process control / product quality / micro and small businesses / software development micro and small business

* miriama@ulima.edu.pe, rbmillon@ulima.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

La industria de *software* tiene gran relevancia en la economía porque presenta un buen nivel de crecimiento, como el obtenido en el 2017, con un 5,3 % (Loya Páez, 2018). Por ello es importante obtener productos de calidad provenientes de procesos de calidad para lograr un buen nivel de competitividad. Dada su importancia, se investiga sobre la adopción de modelos de calidad tanto de procesos como de productos en las mypes (micro y pequeñas empresas) productoras de *software*, las cuales representan el 85 % de la industria de *software*. En este artículo se presenta inicialmente una revisión de literatura de los diferentes descriptores temáticos, calidad de *software*, calidad de proceso, calidad de producto, metodologías de desarrollo, modelo de calidad y mypes productoras de *software*. A continuación se muestran los resultados de la investigación cuantitativa realizada a una muestra aleatoria representativa de 80 mypes productoras, para finalmente hacer el análisis y sacar las conclusiones correspondientes.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Módulo de calidad de *software*

En primer lugar, Estayno, Dapozo, Cuenca y Greiner (2009) definen la calidad de *software* partiendo del concepto de calidad planteado por la norma UNEEN ISO 8402, la cual expresa que “la calidad es el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer unas necesidades explícitas o implícitas” (p. 2). Asimismo, Miguel, Mauricio y Rodríguez (2014) presentan la definición de calidad de *software*, de acuerdo con el glosario estándar IEEE de Terminología de Ingeniería de *Software*, el cual la define como “1) el grado en que un sistema, componente o proceso cumple con los requisitos especificados y 2) el grado en que un sistema, componente o proceso cumple con las necesidades o expectativas de un usuario” (p. 31). Además, Pressman (2010) la refiere como el cumplimiento que posee el producto *software* respecto a los requisitos tanto funcionales como no funcionales, así como las características implícitas que se espera de todo producto *software* desarrollado profesionalmente. Como consecuencia, en este contexto se resalta el hecho de que, para lograr la calidad una vez que es especificada, esta pueda ser medida, por lo que, Estrada (2014) define la calidad del *software* como “un conjunto de cualidades medibles y específicas que varía de un sistema a otro, dependiendo del tipo de *software* que se va a desarrollar, para determinar su utilidad y existencia” (p. 1).

Por último, Acosta, Espinel y García (2017) expresan:

La calidad del *software* hoy en día juega un papel importante dentro de las empresas, por esto es necesario tener un punto de comparación y mirar si el

producto entregado cumple con los requerimientos y necesidades que tienen los usuarios o clientes. (p. 76)

2.2 Calidad de proceso

En principio, un modelo importante en la calidad de proceso es el brindado por la norma internacional ISO/IEC 12207 *Software Life Cycle Processes*, que comprende un modelo de referencia de procesos del ciclo de vida del *software*. Por ello, Sánchez, Sicilia y Rodríguez (2012) explican que dicha norma internacional contempla dos categorías de procesos, la primera relacionada a los procesos de contexto del sistema y la segunda vinculada a los procesos específicos del *software*, los cuales abarcan siete procesos de implementación, representando las etapas del ciclo de vida del *software*, entre las cuales figuran el análisis de requisitos, el diseño arquitectural, el diseño detallado, la construcción, la integración, las pruebas de calificación y la implementación, más ocho procesos de soporte del *software*: la gestión de la documentación, la gestión de la configuración, el aseguramiento de la calidad, la verificación, la validación, la revisión, la auditoría y la resolución de problemas del *software*; además, otros tres procesos de reutilización del *software*: la ingeniería del dominio, la gestión de activos de reúso y la gestión de programas de reúso.

Acosta, Espinel y García (2017) destacan que la organización productora de *software*, para lograr calidad, debe adoptar un estándar para que los entregables cumplan con las expectativas del negocio. Proponen el *Capability Maturity Model Integration* (CMMI), creado por la Universidad Carnegie Mellon, que refleja principalmente las prácticas relacionadas con la gestión de procesos, la gestión de requisitos, el manejo de la configuración de *software* y prácticas tales como la verificación, la validación y la medición. Asimismo resaltan que es un modelo certificable con dos representaciones de madurez equivalentes, la continua y la escalonada, y que cada organización puede adoptar la que se adapte mejor a sus características y prioridades de mejora (Oktaba, Piattini, Pino y Orozco, 2009). Al respecto, Estrada (2014) menciona que el CMMI resulta ser adoptado por las grandes empresas de *software*, siendo un modelo de calidad que clasifica a las empresas en niveles de madurez de los procesos que se ejecutan para producir *software*. Sin embargo, no representa un modelo hecho para pequeñas organizaciones, aunque, el modelo CMMI ha servido de base para varias propuestas de modelos flexibles aplicables en pymes.

Por otro lado, tanto Navarro y Garzás (2010) como Oktaba, Piattini, Pino y Orozco (2009) refieren que la industria del *software* en América Latina posee una alta concentración en pequeñas y medianas empresas. Por ello, con el objetivo de mejorar sus procesos, se desarrolla una iniciativa a través de la construcción del modelo Moprosoft, pensando en la estandarización de la gran mayoría de empresas de *software* mexicanas. Entre sus

características, resalta Oktaba (2003), se trata de un modelo definido como un conjunto de procesos de naturaleza práctica además de ser fácil de entender y aplicar, sobre todo en organizaciones pequeñas. Su estructura se divide en tres categorías: la primera, de alta dirección, con el proceso de gestión del negocio que define y hace cumplir el plan estratégico de la organización; la segunda se refiere a la categoría de gerencia que comprende la gestión de procesos, la gestión de proyectos y la gestión de recursos; integra tres subprocesos, el de recursos humanos y ambiente de trabajo, el de bienes, servicios e infraestructura, y el de conocimiento de la organización. Por último se presenta la categoría de operación, que comprende dos procesos que constituyen el centro productivo del *software*, el de la administración de proyectos específicos, como el de desarrollo y mantenimiento de *software*. Además, Cánepa (2010) resalta que Moprosoft posee un marco de referencia de certificación y un mecanismo de evaluación, el cual indica un estado real de una organización durante un periodo de vigencia específico.

En otro contexto, Fernández y Piattini (2012) describen el proyecto Competisoft como una iniciativa iberoamericana, financiada por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), que integra diferentes propuestas relacionadas con la mejora de procesos para microempresas y pymes desarrolladoras de *software*. Su objetivo general fue incrementar el nivel de competitividad de las pymes iberoamericanas productoras de *software* mediante la creación y difusión de un marco metodológico común, ajustado a su realidad socioeconómica y orientado a la mejora continua de sus procesos.

Finalmente, Amable-Ciudad (2017) destaca que:

La industria de *software* reconoce la contribución que dan las pequeñas organizaciones en los productos y servicios que brindan. Asimismo, se menciona que las normas ISO/IEC no estaban dirigidas a las pequeñas organizaciones hasta que se desarrolló la norma ISO/IEC 29110. Como resultado de la creación de esta norma, se han planteado modelos de evaluación y mejora de procesos de *software*, paquetes de despliegue, proyectos piloto y estrategias de implementación como apoyo a la norma, considerando herramientas de documentación y gestión del conocimiento para apoyar la adopción de la norma. (p. 62)

Por ello, en nuestro país se ha creado la norma técnica peruana NTPRTISO/IEC TR 29110512, basada en la guía de la norma internacional, que según el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi, 2012), representa un reporte técnico de gestión e ingeniería para el modelo de referencia del perfil básico de la pequeña organización (PO), considerando PO a una empresa, organización, departamento o proyecto de hasta 25 personas, dedicada al desarrollo de *software*. Se considera que este reporte técnico puede ser usado por la PO para establecer procesos a ser implementados con cualquier enfoque o metodología de desarrollo basado en las necesidades de la PO o del proyecto, y comprende dos procesos

del nivel operativo: el de la gestión del proyecto y el de la implementación del *software*. Además, Coque-Villegas, Jurado-Vite, Avendaño-Sudario y Pizarro (2017) destacan que la ISO/IEC 29110 fue especialmente elaborada para pequeñas organizaciones de hasta 25 personas, siendo además certificable, y demostrando que se adoptan las prácticas de la norma a través de proyectos de mejora de procesos.

2.3 Modelo de calidad de producto

En primer lugar, Cataldi, Lage, Pessacq y García (1999) destacan que el modelo de McCall se basa en el concepto de calidad visto bajo la perspectiva del usuario respecto a las características de operación, a la capacidad para soportar cambios y a la adaptabilidad a nuevos entornos, considerando una serie de factores de calidad, tales como: corrección, confiabilidad, eficiencia, seguridad, usabilidad, flexibilidad, facilidad de prueba, facilidad de mantenimiento, portabilidad, reusabilidad e interoperabilidad. Asimismo, cada factor se descompone en criterios o propiedades internas del *software* que determinan su calidad, los cuales pueden ser evaluados mediante un conjunto de métricas.

En otro contexto, Reyes, Ampuero y González (2015) citan el *Standish Group Report CHAOS* del 2014, en el que se indica que:

en el 43 % de los casos, los proyectos de *software* no cumplen con el cronograma, el presupuesto o las funciones requeridas. Además, el 18 % del total de los proyectos se cancelan antes de la terminación, o se entregan, pero nunca son utilizados. (p. 1)

Esto significa que se debe garantizar tanto la calidad de proceso como la calidad de producto. Por ello comparan distintos modelos de calidad de producto de *software*, estableciendo una serie de criterios, tales como estructura, propósito, elementos internos y externos, métricas de características de calidad, tipo de proyecto, tipo de modelo y calidad, identificando como las más utilizadas a las normas ISO/IEC 9126 e ISO/IEC 25010.

Asimismo, Acosta, Espinel y García (2017) destacan el modelo de la norma ISO/IEC 9126 (*software engineering-product quality*), que tiene como finalidad cuantificar los productos de *software* basándose en las características de calidad. Al respecto, dicho modelo abarca la calidad del proceso, la calidad del producto, la calidad del *software* y la calidad de uso distribuido en los modelos de calidad interna, calidad externa y calidad en uso. Otro modelo identificado corresponde a la norma ISO/IEC 14598 (*software product evaluation*) que muestra una metodología para evaluar el producto de *software*.

En relación a la serie de normas ISO 25000, se genera como una evolución de las normas ISO/IEC 9126 y la ISO/IEC 14598, y comprende una serie de tópicos relacionados con la gestión de la calidad, el modelo de calidad, las medidas de calidad, los requerimientos de calidad y la evaluación de la calidad. Por lo tanto, la implementación de esta norma alineada a los objetivos del *software* permitirá lograr la calidad del producto

software, una mayor rentabilidad y la eliminación de las ineficiencias (Estayno, Dapozo, Cuenca y Greiner, 2009).

2.4 Métodos de desarrollo

Teniendo como punto de partida que el proceso de *software* es “una estructura de actividades, acciones y tareas que se requieren a fin de construir un *software* de calidad” (Pressman, 2010, p. 26), es importante analizar las más representativas.

En primer término, el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO, 2009) refiere que una metodología es “un conjunto integrado de técnicas y métodos que permite abordar de forma homogénea y abierta cada una de las actividades del ciclo de vida de un proyecto de desarrollo” (p. 39). Además considera que otra característica importante de una metodología es que en ella se definen artefactos, roles y actividades, junto con las prácticas y las técnicas recomendadas.

Cada metodología de desarrollo de *software* propone una visión de cómo establecer una serie de pasos predecibles para la gestión de un proyecto de *software* y también define un conjunto de actividades, roles, controles y productos de trabajo destinados a la reducción de la posibilidad del caos y a la minimización del riesgo de fracaso del proyecto. Por ello las metodologías han evolucionado a la par del desarrollo de la disciplina de la ingeniería de *software* (Pressman, 2010).

En relación a la metodología *Rational Unified Process* (RUP), Despa (2014) destaca que se desarrolla el *software* a través de un desarrollo iterativo, priorizando el manejo de riesgos, trabajando con un modelado adecuado, utilizando el lenguaje de notación UML (*Unified Modeling Language*), lo que implica desarrollar un conjunto de artefactos en diagramas como el de casos de uso, entre otros, gestionando el cambio y realizando las pruebas de rendimiento. Además se indica que RUP genera una documentación precisa y exhaustiva y que permite la reutilización de código como uno de los componentes del *software*. Sin embargo, el método RUP requiere de profesionales entrenados.

INTECO (2009) expresa que RUP resulta de la combinación de varias metodologías y se ve influenciado por métodos previos como el modelo en espiral. Asimismo, surge como respuesta a las fallas de proyectos que utilizaban métodos del modelo en cascada. Pressman (2010) resalta que RUP reconoce la importancia de la comunicación con el cliente y los métodos directos para describir su punto de vista respecto de un sistema. Adicionalmente hay una búsqueda por la minimización de los riesgos del proyecto, repitiendo una serie de ciclos o iteraciones que constituye la vida de un sistema, cada uno de los cuales produce una nueva versión del mismo, considerando que las iteraciones deben desarrollarse en las fases de inicio, elaboración, construcción y transición.

En relación a los métodos ágiles, se considera como base a la Alianza Ágil, que surge en el 2001 a partir de una reunión de destacados desarrolladores, consultores y escritores que firmaron el llamado *Manifiesto ágil*, que define 12 principios que caracterizan a este movimiento (Agile Alliance, 2001). Entre ellos resalta que la mayor prioridad es satisfacer al cliente mediante la entrega temprana y continua de *software* con valor, que se acepte que los requisitos cambien, que se entregue *software* funcional frecuentemente, que los responsables del negocio y los desarrolladores trabajen de manera coordinada continuamente durante todo el proyecto, que los proyectos se desarrollen en torno a individuos motivados, que el método más eficiente y efectivo de comunicación resulte en la conversación directa entre miembros, que el *software* funcionando resulte ser la medida principal de progreso, entre otros.

Álvarez García, De las Heras del Dedo y Lasa Gómez (2012) destacan que el conjunto de métodos ágiles para el desarrollo de *software* posee como principios fundamentales compartir un especial valor por la colaboración del equipo, por la construcción incremental y por la sencillez de sus reglas. El proceso de desarrollo de *software* resulta ser adaptativo en cada una de sus etapas.

Por ejemplo, Yepes, Pardo y Gómez (2015) realizan la siguiente observación como resultado de una investigación de estudios de casos de adopción de metodologías ágiles en mipymes (micro, pequeñas y medianas empresas) desarrolladoras de *software*:

De los 29 estudios, 11 siguieron el método SCRUM y 9 el método XP, asimismo, algunos estudios han utilizado enfoques tradicionales como el modelo en cascada y espiral. Por otro lado, el 34.5% de los estudios analizados proponen nuevas propuestas que permiten integrar metodologías tradicionales, estándares y modelos de facto con enfoques ágiles, por ejemplo, CMMI e ISO/IEC 29110. Asimismo, se puede observar una tendencia de los trabajos realizados con relación al uso de modelos como SCRUM y XP con el 23.9% y 19.6% respectivamente, en este sentido, de acuerdo al análisis, éstos son los modelos ágiles más populares y de mayor implementación en la industria de *software* hasta el momento. (p. 470)

Asimismo, identifican intereses por integrar prácticas ágiles con modelos tradicionales, convencionales, de facto y estándares internacionales, siendo los métodos ágiles SCRUM y XP los más utilizados, ya que han sido ampliamente implementados e integrados por mipymes y grandes empresas junto a otros modelos, como el CMMI, la norma ISO/IEC 29110, el modelo en espiral y el modelo en cascada, entre otros.

En relación a los métodos ágiles, Lean y TDD (Test Driven Development), Despa (2014) los explica. En el primero se realiza un desarrollo iterativo descartando todos los componentes que no agregan valor al producto; está orientado hacia el cliente, propiciando la mejora continua con el objetivo de incrementar el aprendizaje y empoderar al equipo que desarrolla el producto *software*. En relación a TDD, destaca que se focaliza en la etapa de pruebas, empezando con la construcción de los escenarios de las pruebas

antes de iniciar la codificación del producto *software* y luego refactorizar (reestructurar) de forma continua el código construido.

2.5 La micro y pequeña empresa (mype)

Según la Ley de Promoción y Formalización de la Micro y Pequeña empresa (Ley 28015), se define a la mype como la unidad económica que puede estar constituida por una persona natural o jurídica, mediante cualquier forma de organización o gestión empresarial, cuyo objetivo es trabajar en actividades de extracción, transformación, producción, comercialización de bienes o prestaciones de servicios. Además, el artículo 11.o de la ley vigente (Ley 30056), reemplaza al texto del artículo 5.º de la Ley 28015, eliminando lo correspondiente al número de trabajadores, quedando así solo la limitación para el monto máximo de ventas anuales. Al respecto, existe legislación vigente cuyo objetivo es facilitar la inversión e impulsar el desarrollo productivo y el crecimiento empresarial introduciendo importantes modificaciones en el régimen laboral especial de las micro y pequeñas empresas.

Por otro lado, Amable-Ciudad (2015) explica que las mypes poseen fortalezas debido a que son "incubadoras e instrumentos de aprendizaje y capacitación para el capital humano, demostrado en el conocimiento y experiencia de los integrantes de este tipo de organizaciones en el desarrollo de *software*" (p. 81). Además, considera como otra fortaleza en este sector:

El emprendimiento empresarial que genera creatividad y por tanto innovación, así como factores para la sostenibilidad de la empresa, la cual es también una cualidad de las mypes productoras de *software*, debido a que varios de los emprendedores nacen en las universidades con los conocimientos que adquieren en las aulas e iniciativas que surgen a través de los trabajos que realizan. (pp. 81-82)

3. METODOLOGÍA

Se identifica la caracterización de las mypes productoras de *software* a través del nivel de calidad del proceso y del producto *software*. Para ello se considera que la población sea conformada por todas aquellas empresas micro o pequeñas productoras de *software* ubicadas en Lima Metropolitana, lo que resulta en un total de 329 organizaciones. En relación a la definición del tamaño de la muestra, se considera el valor del 90 % como nivel de confianza, además del valor de la probabilidad de que las mypes aplican factores de calidad en el desarrollo del producto de *software*, el cual resulta con el valor de 0,6, en base a una encuesta piloto con un error de estimación del 8 %, así como de un 2 % de no respuesta. Como consecuencia se aplica una encuesta a los representantes de una muestra de 80 mypes con un muestreo estratificado de acuerdo al número de trabajadores (Amable-Ciudad, 2015).

3.1 Instrumento de medición

Se diseñó un cuestionario dirigido a los empresarios o gerentes generales, siendo la mayoría de las preguntas de tipo cerrado. El cuestionario consta de 11 módulos (tabla 1).

Tabla 1
Módulos de la encuesta

Módulo	Contenido
I	Datos de la empresa
II	Personal
III	Proyectos anuales
IV	Productos que comercializa
V	Clientes
VI	Calidad del proceso
VII	Calidad del producto
VIII	Gestión de proyectos
IX	Proceso de desarrollo de <i>software</i>
X	Roles
XI	Procesos del ciclo de vida

Elaboración propia

En el módulo VI se consideran preguntas cerradas sobre calidad del proceso de *software* respecto al uso de modelos de calidad de procesos, con la opción de indicar el modelo en caso de ser utilizado alguno.

El módulo IX comprende preguntas cerradas sobre procesos de desarrollo de *software*, específicamente sobre metodologías y artefactos que utilizan las mypes.

El módulo XI, cuyas preguntas se presentan en la tabla 2, trata sobre procesos del ciclo de vida del *software*, consultando sobre los métodos de desarrollo y técnicas empleadas en el ciclo de vida del *software*, permitiendo así relacionarlas con las etapas del ciclo de vida.

Tabla 2
Cuestionario, parte XI
XI. Procesos del ciclo de vida del software (si aplican marque con una x. Puede marcar más de uno):
Señale los métodos utilizados:

Procesos del ciclo de vida del software	Métodos					Otros métodos (especifique)
	RUP	Scrum	XP	Kanban	TDD	
Creación del concepto del producto de software						
Especificación de requisitos						
Arquitectura y diseño						
Codificación / programación						
Pruebas e integración						

Señale las técnicas utilizadas:

Procesos del ciclo de vida de software	Técnicas							Otras técnicas (especifique)	
	Matriz de trazabilidad de requisitos	Product Backlog	Sprint Backlog	Diagrama de casos de uso	Diagramas de colaboración / secuencia	Prototipo	Diagramas conceptuales		Diagramas de procesos
Creación del concepto del producto software									
Especificación de requisitos									
Arquitectura y diseño									
Codificación / programación									
Pruebas e integración									

Fuente: Amable, Millones y Checa, 2014

4. RESULTADOS

En la figura 1 se presenta una gráfica en la que se observa el que el 13,8 % de las empresas no usan modelos de procesos de *software*.

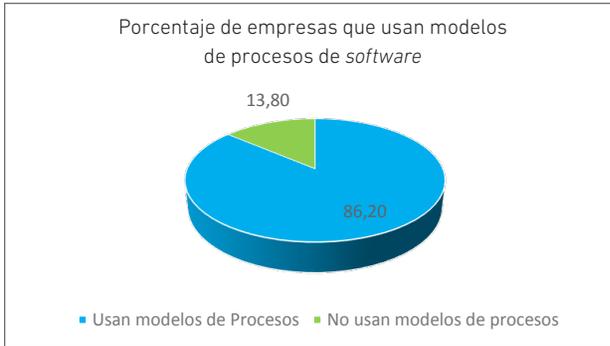


Figura 1. Uso de modelos de procesos de *software*

Elaboración propia

Se observa en la figura 2 que el 53,3 % usa algún modelo que conduce a una certificación CMMI, Moprosoft, Competisoft, ISO/IEC29110 e ISO/IEC 12207, mientras que el 46,7 % de las organizaciones usan otras prácticas, tanto propias como pertenecientes a otros modelos no referidos en el cuestionario.

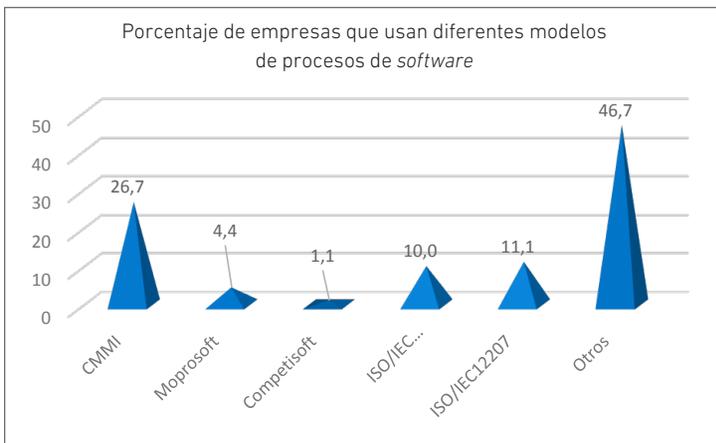


Figura 2. Uso de diferentes modelos de procesos de *software*

Elaboración propia

En relación al uso de metodologías o algunas prácticas, se muestra en la figura 3 que los representantes de las mypes encuestadas manifiestan usarlas en el desarrollo en un 92,5 %.



Figura 3. Uso de diferentes modelos de procesos de *software*

Elaboración propia

En la figura 4 se observa que el 26,5 % usa RUP, y las metodologías ágiles (conformadas por Scrum, Programación Extrema, Scrum / XP, TDD, Lean, Kanban y Scrumban) representan el 63,3 %.

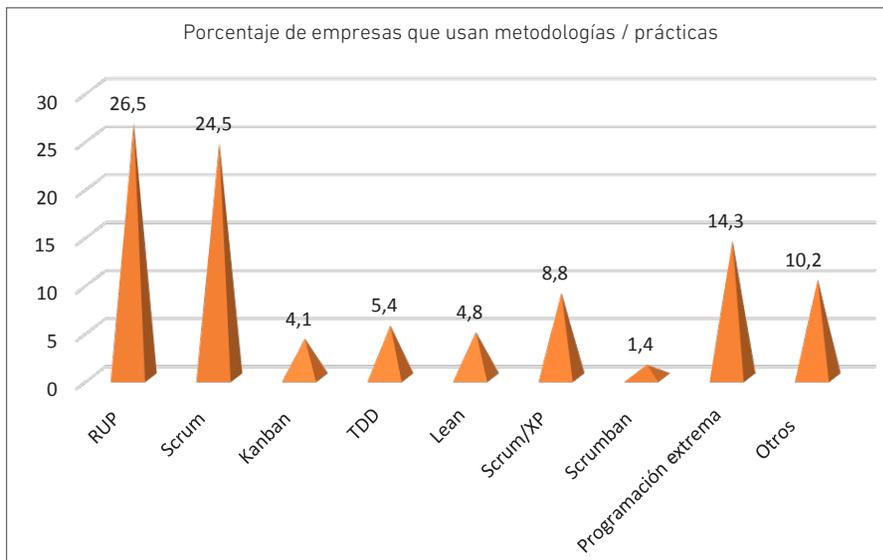


Figura 4. Uso de diferentes modelos de procesos de *software*

Elaboración propia

En lo que respecta al uso de modelos de calidad de producto, el 61,30 % manifestó usarlos, mientras que el 38,7 % no los usan (figura 5).

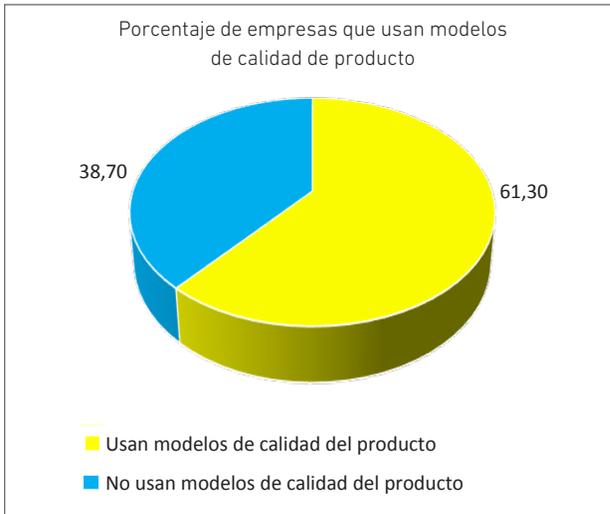


Figura 5. Uso de modelos de calidad de producto

Elaboración propia

En la figura 6 se muestra que solo el 39,3 % considera dentro de sus actividades el uso de los modelos de calidad de producto de McCall, la norma ISO 9126 y la serie ISO 25000. Un 60,7 % manifiesta utilizar otras prácticas.

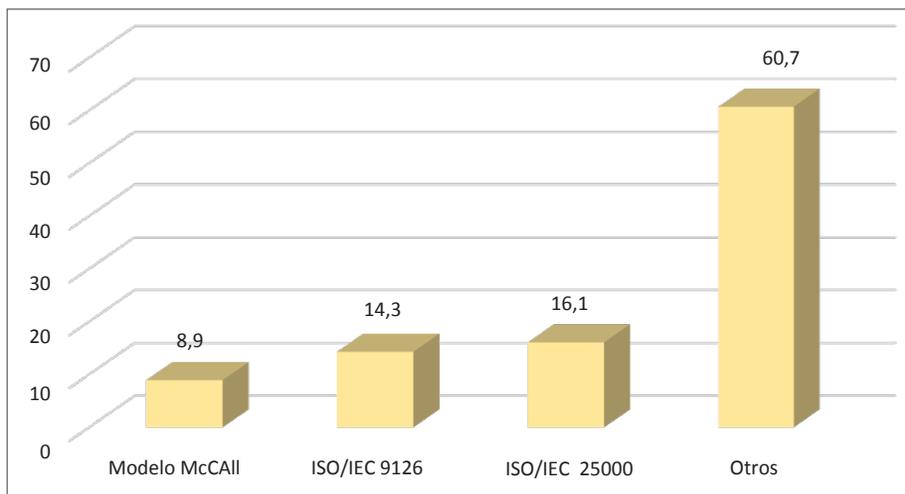


Figura 6. Uso de diferentes modelos de calidad de producto

Elaboración propia

Asimismo, los representantes de las empresas desarrolladoras de *software* manifiestan que usan factores de calidad en sus actividades en un 97,5 % (figura 7).

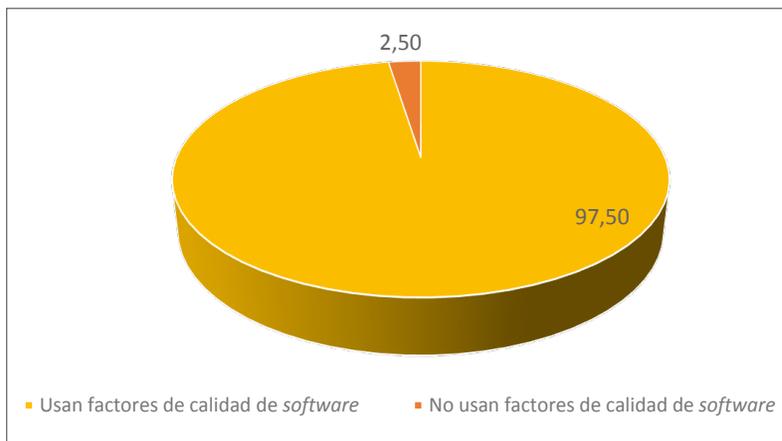


Figura 7. Uso de factores de calidad

Elaboración propia

En la figura 8 se muestra que las empresas utilizan en mayor porcentaje el factor de funcionalidad (16,7 %), seguido por la usabilidad (14,9 %), la seguridad (14,2 %), entre otros factores.

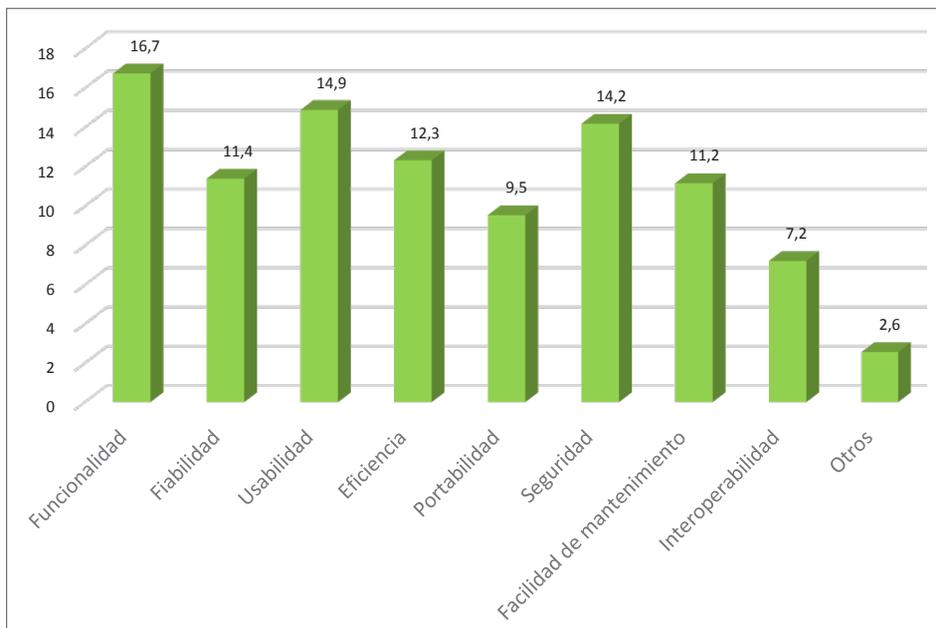


Figura 8. Uso de factores de calidad de *software*

Elaboración propia

En la figura 9 se muestra el diagrama de simetría obtenido con el *software* Minitab entre los procesos del ciclo de vida del *software* y métodos de desarrollo de *software*, primera sección del módulo XI del cuestionario, del cual se interpreta lo siguiente:

- Las etapas del ciclo de vida de creación del concepto del producto de *software*, así como la arquitectura y el diseño, están asociadas a la metodología de desarrollo RUP.
- La etapa del ciclo de vida especificación de requisitos está asociada al método ágil Scrum.
- Los procesos de ciclo de vida codificación / programación y pruebas e integración están asociados al método XP.

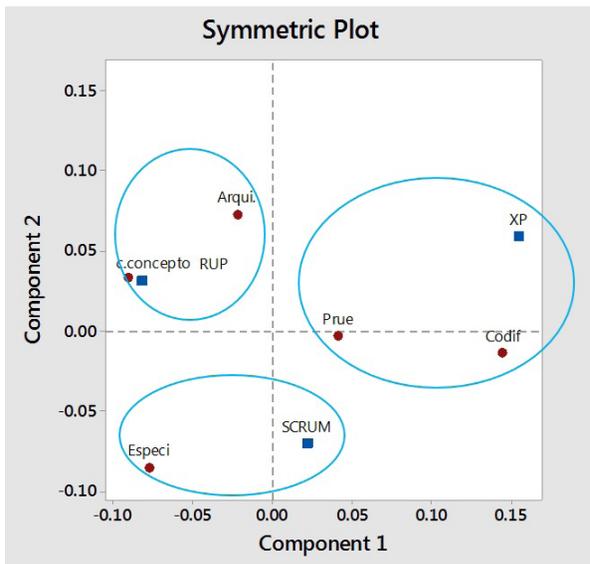


Figura 9. Procesos de ciclo de vida y métodos de desarrollo de *software*

Fuente: Amable, Millones y Checa, 2014

En la figura 10 se muestra un diagrama de simetría obtenido con el *software* Minitab entre procesos del ciclo de vida del *software* y uso de técnicas en el desarrollo de *software*, segunda sección del módulo XI del cuestionario, del cual se interpreta lo siguiente:

- El proceso de creación del concepto del producto de *software* está asociado a las técnicas diagrama de casos de uso, diagrama de colaboración/secuencia, diagrama conceptual y diagrama de procesos.
- El proceso especificación de requisitos está asociado con las técnicas matriz de trazabilidad, Product Backlog y Sprint Backlog.

- El proceso arquitectura y diseño está asociado con la técnica del prototipo.
- El proceso pruebas e integración está asociado a la técnica verificación y validación de *software*.

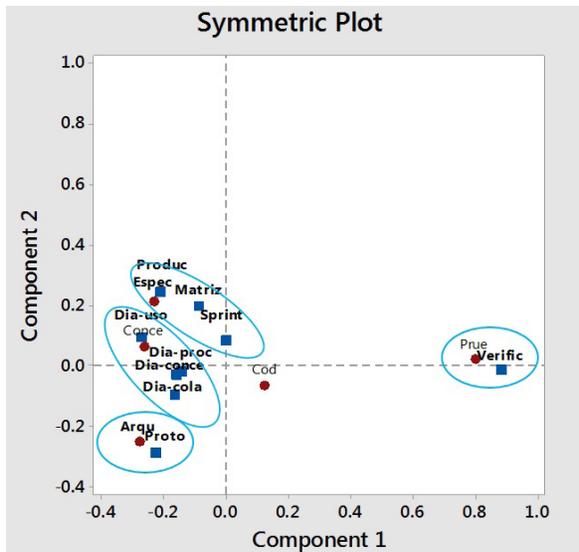


Figura 10. Procesos de ciclo de vida y técnicas de desarrollo de *software*

Fuente: Amable-Ciudad, 2015

5. CONCLUSIONES

En relación al uso de modelos de procesos se evidencia que un 53,3 % de las mypes encuestadas adopta algún modelo certificable como CMMI, Moprosoft, Competisoft, ISO/IEC29110 o ISO/IEC 12207. Sin embargo, solo el 15,5 % usa modelos relacionados a pequeñas organizaciones, representado por los modelos Moprosoft y Competisoft, así como la norma ISO/IEC 29110, debido a que, como dice la literatura, el modelo CMMI no fue creado para dichas organizaciones.

En relación al uso de métodos en el desarrollo de *software* se evidencia una mayor utilización de las metodologías ágiles, debido a que en conjunto suman el 63,3 %, siendo los más seguidos el método Scrum y el método XP (*eXtreme Programming*). Por otro, lado es representativo el uso de RUP en el desarrollo de *software*.

En relación al uso de los modelos de calidad de producto (el de McCall, la norma ISO 9126 y la serie ISO 25000), se evidencia un bajo uso de los mismos, con un 39,3 %. Sin embargo, al preguntar sobre la utilización de los factores de calidad, que son un

componente de los modelos de calidad de producto, los representantes de las mypes encuestadas manifestaron utilizarlos, lo cual significa que hay un conocimiento y una práctica sobre los factores de calidad del producto *software*, más no el uso de algún modelo de calidad de producto relacionado.

A través de los diagramas de simetría obtenidos entre las etapas del proceso del ciclo de vida, tanto con los métodos de desarrollo como con las técnicas, se evidencia la relación correcta entre ellos. En primer lugar se encuentra la relación entre la etapa del ciclo de vida, creación del concepto del producto *software* con el método RUP, y por el lado de las técnicas se vincula la misma etapa del ciclo de vida con los diagramas de casos de uso, de colaboración/secuencia, diagrama conceptual y de procesos, los cuales corresponden al método RUP. En segundo lugar se relaciona la etapa del ciclo de vida especificación de requisitos con el método ágil Scrum y con las técnicas matriz de trazabilidad, Product Backlog y Sprint Backlog, las cuales corresponden al método Scrum. Lo mismo se evidencia en las otras etapas.

En base a lo identificado se recomienda realizar investigaciones que apoyen a este tipo de organizaciones en la adopción, tanto de modelos de calidad de procesos adecuados para su tamaño, como de modelos de calidad de productos, y relacionarlos con las metodologías de desarrollo de *software* que utilicen, teniendo en cuenta las características del producto *software* que requiera construir.

REFERENCIAS

- Acosta, N. J., Espinel, L. A. y García, J. L. (2017). Estándares para la calidad de *software*. TIA 5(1), pp. 75-84.
- Agile Alliance. (2001). *Agile Manifesto*. Recuperado de www.agilealliance.com.
- Álvarez García, A., De las Heras del Dedo, R. y Lasa Gómez, C. (2012). *Métodos ágiles y Scrum*. Madrid: Anaya.
- Amable, C. M., Millones, R. R., y Checa, F. R. (2014). *Análisis del uso de modelos de calidad de software. Una propuesta de mejora de procesos en las mypes productoras de software de Lima*. Lima: Universidad de Lima.
- Amable, C. M., Millones, R. R. y Checa, F. R. (2015). Calidad de *software* en las Mypes productoras de *software* en Lima. En: *VII Congreso Internacional de Computación y Telecomunicaciones. Memoria COMTEL 2015*. Lima: Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Fondo Editorial.
- Amable-Ciudad, M. (2015). Propuesta de un proceso de investigación cuantitativa. Aplicación en la caracterización de las mypes productoras de *software*. *Interfases 8*, pp. 71-92. Recuperado de <http://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Interfases/article/view/574>

- Amable-Ciudad, M. (2017). Propuesta de modelo de mejora para mypes productoras de *software*. *Interfases* 10, pp. 57-73. doi:<http://dx.doi.org/10.26439/interfases2017.n10.1769>
- Cataldi, Z., Lage, F., Pessacq, R. y García Martínez, R. (1999). Revisión de marcos teóricos educativos para el diseño y uso de programas didácticos. En: *Proceedings del V Congreso Internacional de Ingeniería Informática*. Buenos Aires.
- Coque-Villegas, S., Jurado-Vite, V., Avendaño-Sudario, A. y Pizarro, G. (2017). Análisis de experiencias de mejora de procesos de desarrollo de *software* en PYMEs. *Revista Ciencia UNEMI* 10(25), pp. 13-24.
- Despa, M. L. (2014). Comparative study on *software* development methodologies. *Database Systems Journal* 5(3), pp. 37-56.
- Estrada, A. C. (2014). Modelo de calidad de *software*. *Innovación, Ingeniería y Desarrollo* 1(1), pp. 47-52.
- Estayno, M. G., Dapozo, G. N., Cuenca Pletsch, L. R. y Greiner, C. L. (2009). Modelos y métricas para evaluar calidad de *software*. En: *XI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. San Juan, Argentina.
- Fernández Sánchez, C. M. y Piattini Velthuis, M. (2012). *Modelo para el gobierno de las TIC basado en las normas ISO*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (Inteco) (2009). *Ingeniería del software: metodologías y ciclos de vida*. San José: Laboratorio Nacional de Calidad del Software de Inteco.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) (2012). *Ingeniería de software. Perfiles del ciclo de vida para las pequeñas organizaciones. Parte 5-1-2: Guía de gestión e ingeniería grupo de perfil genérico. Perfil básico (NTP-RT*ISO/TEC TR2*110-5-1-2)* Lima: Indecopi.
- International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission and Institute of Electrical and Electronics Engineers (2008). *Systems and software engineering. Software life cycle processes. ISO/IEC 12007:2008*. Recuperado de <https://www.iso.org/home.html>
- Ley 28015 (3 de julio del 2003). Ley de Promoción y Formalización de la Micro y Pequeña empresa. Recuperado de <http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/28015.pdf>
- Loya Páez, A. (2018). Industria de *software* en Perú. *Software Gurú*. Recuperado de <https://sg.com.mx/revista/53/industria-software>

- Miguel, J. P., Mauricio, D. y Rodríguez, G. (2014). A review of *software* quality models for the evaluation of *software* products. *International Journal of Software Engineering & Applications* 5(6), pp. 31-53.
- Navarro, J., y Garzás, J. (2010). Experiencia en la implantación de CMMI-DEV v1.2 en una micropyme con metodologías ágiles y *software* libre. *REICIS. Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software* 6(1), pp. 6-15.
- Oktaba, H. C. (2003). *Modelo de procesos para la industria del software versión 1.3*. México: Secretaría de Economía.
- Oktaba, H., Piattini, M., Pino, F. J. y Orozco, M. J. (2009). *Competisoft: Mejora de procesos software para pequeñas y medianas empresas y proyectos*. México: Alfaomega.
- Pressman, R. S., Campos, O. V. y Enríquez, B. J. (2010). *Ingeniería del software: Un enfoque práctico*. México: McGraw-Hill.
- Reyes, A. G., Ampuero, M. A. y González, A. H. (2015). Análisis comparativo de modelos y estándares para evaluar la calidad del producto de *software*. *Revista Cubana de Ingeniería* 6(3), pp. 43-52.
- Sánchez, A. S., Sicilia, U. M. A. y Rodríguez, G. D. (2012). *Ingeniería del software: Un enfoque desde la guía SWEBOK*. México: Alfaomega.
- Yepes González, J., Pardo Calvache, C. y Gómez Gómez, O. (2015). Revisión sistemática acerca de la implementación de metodologías ágiles y otros modelos en micro, pequeñas y medianas empresas de *software*. *Revista Tecnológica ESPOL* 28(5), pp. 464-478.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE DOS TECNOLOGÍAS COMO FACTOR DE CALIDAD EN EL PROCESAMIENTO DE QUINUA (*CHENOPODIUM QUINOA* WILLD)

PERCY ARAPA CARCASI*

Universidad Nacional de Juliaca

Recibido: 11 de mayo del 2018 / Aprobado: 4 de septiembre del 2018

doi: 10.26439/ing.ind2019.n037.4544

RESUMEN: En este artículo se muestran los resultados de la comparación del uso de tecnología de sistema no continuo y tecnología de sistema continuo en cuanto a la calidad obtenida en ambos procesos, obteniendo la tecnología de sistema no continuo, quinua de categoría 2 con un rendimiento del 86 % y la tecnología de sistema continuo, quinua de categoría 1 con un rendimiento del 96 %; una diferencia significativa entre ambos sistemas.

Palabras clave: quinua / control de calidad / tecnología de sistema continuo / tecnología de sistema no continuo

A COMPARATIVE STUDY OF THE USE OF TWO TECHNOLOGIES AS A QUALITY FACTOR IN QUINOA (*CHENOPODIUM QUINOA* WILLD) PROCESSING

ABSTRACT: This article shows the results of the comparison of using a non-continuous system technology and a continuous system technology in terms of the quality obtained in both processes. The non-continuous system technology produces second class quinoa with a yield of 86 %, and the continuous system technology produces first class quinoa with a yield of 96 %, which represents a significant difference between both systems.

Keywords: quinoa / quality control / continuous system technology / non-continuous system technology

* percyarapa@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de la quinua, según Carvajal (2011), está en “que, por sus características nutricionales, nutraceuticas y organolépticas, ha pasado a ser de un alimento para marginados a un elemento de alto valor en la alimentación humana en el ámbito mundial”, siendo “necesario darle la importancia en la investigación desde el punto de vista agroindustrial para realizar el uso adecuado de sus enormes potencialidades, a través de un transformación industrial que permita valorar verdaderamente este producto” (Dirección Regional de Agricultura, 2016, p. 40). En 1996, la quinua fue catalogada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como uno de los cultivos prometedores de la humanidad no solo por sus grandes propiedades benéficas y por sus múltiples usos, sino también por considerarla como una elección para solucionar los graves problemas de nutrición humana (FAO, 2011, p. 32). “En el año 2012, la producción de quinua en Puno fue de 32 004,1 toneladas, de las cuales el 50 % fue para autoconsumo, el 10 % se derivó a la agroindustria local y regional” (Guzmán, 2013, p. 109) y cada año es mayor el porcentaje destinado para la agroindustria.

Cabe destacar que la tecnología de procesamiento de quinua ha evolucionado, desarrollándose maquinaria específica, como las lavadoras de quinua, el seleccionador de quinua y la escarificadora de quinua, y que el conjunto de criterios de calidad del producto está “asociado con el color de los granos, contenido de proteína del grano, contenido de saponina del grano, tamaño de grano y otros que demande el mercado y el uso final de la quinua” (Gómez y Aguilar, 2016, p. 27). Las características que deben reunir los granos de quinua procesada (beneficiada) en el momento de su comercialización: la calidad, clasificación, tolerancia y presentación (Indecopi, 2009), lo que requiere el mercado para la satisfacción del consumidor.

La demanda nacional e internacional de la quinua se incrementaría en los próximos años debido al reconocimiento de su calidad nutritiva, según información recogida de los productores de quinua tanto en la región Puno como en la región Arequipa (IICA, 2005). La calidad resulta agente clave para fomentar el consumo y una visión mercantilista del cultivo de quinua, es decir, ver al cultivo de la quinua como un negocio rentable para el agricultor, articulando a la quinua en la gobernanza de la cadena del valor (Olarte-Calsina, Olarte-Daza y Schultz, 2016).

La Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2012) describe así a la ciencia, la tecnología y la innovación:

El conocimiento científico y tecnológico es una de las principales riquezas de las sociedades contemporáneas y un elemento indispensable para impulsar el desarrollo económico y social. La ciencia, la tecnología y la innovación se han convertido en herramientas necesarias para la transformación de las estructuras productivas, la explotación racional de los recursos naturales, el cuidado de la salud, la alimentación, la educación y otros requerimientos sociales. (p. 6)

El binomio tecnología e innovación “se ha convertido en el nuevo paradigma económico para triunfar en el mundo actual, por lo que empresas y países hacen esfuerzos para alcanzar las capacidades y competencias que les proporcionen ventajas superiores frente a la competencia” (Peñaloza, 2007, p. 82).

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este trabajo es la determinación de la diferencia en la calidad de quinua con el uso de tecnologías en el procesamiento, de modo que sea posible alcanzar lo establecido en los “Requisitos” de la Norma Técnica Peruana NTP 205.062 Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) (Indecopi, 2009).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en dos plantas de procesamiento de quinua, ambas ubicadas en el departamento de Puno, Perú. La quinua procesada es la variedad blanca de Juli; los materiales utilizados para el estudio son una balanza digital, tamices de la serie ASTM 14, 12 y 10, vernier y una lupa. Los métodos utilizados para el procesamiento de la quinua son la tecnología de sistema no continuo que se desarrolla en la empresa Servicios Agroindustriales el Altiplano S. A. C. (Arapa, 2009), produciéndose un total de 1000 kg, y la tecnología de sistema continuo que se desarrolla en la empresa Innova Alimentos EIRL, que produjo un total de 5000 kg (Arapa, 2017).

2.1 Tecnología de sistema no continuo

El procesamiento de quinua con la tecnología de sistema no continuo (TSNC) se detalla en la figura 1. Se puede observar que se realiza por dos métodos, húmedo y seco; las operaciones unitarias son escarificado, desaponificado, secado, selección y envasado. Para el presente estudio se ha utilizado el método húmedo.

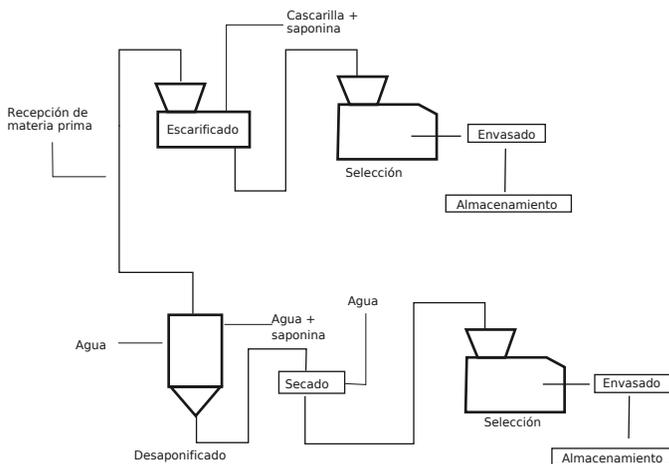


Figura 1. Proceso de producción de quinua perlada con sistema no continuo

Fuente: Arapa, 2009

2.2 Tecnología de sistema continuo

El procesamiento de quinua perlada con el uso de tecnología de sistema continuo (TSC) se detalla en la figura 2, en la cual se observan las operaciones unitarias de selección de impurezas, despedrado, escarificado, lavado primario, lavado secundario, lavado 1, centrifugado, secado 1 y 2, despedrado 1 y 2, clasificado por tamaños, selección gravimétrica, selección óptica y envasado.

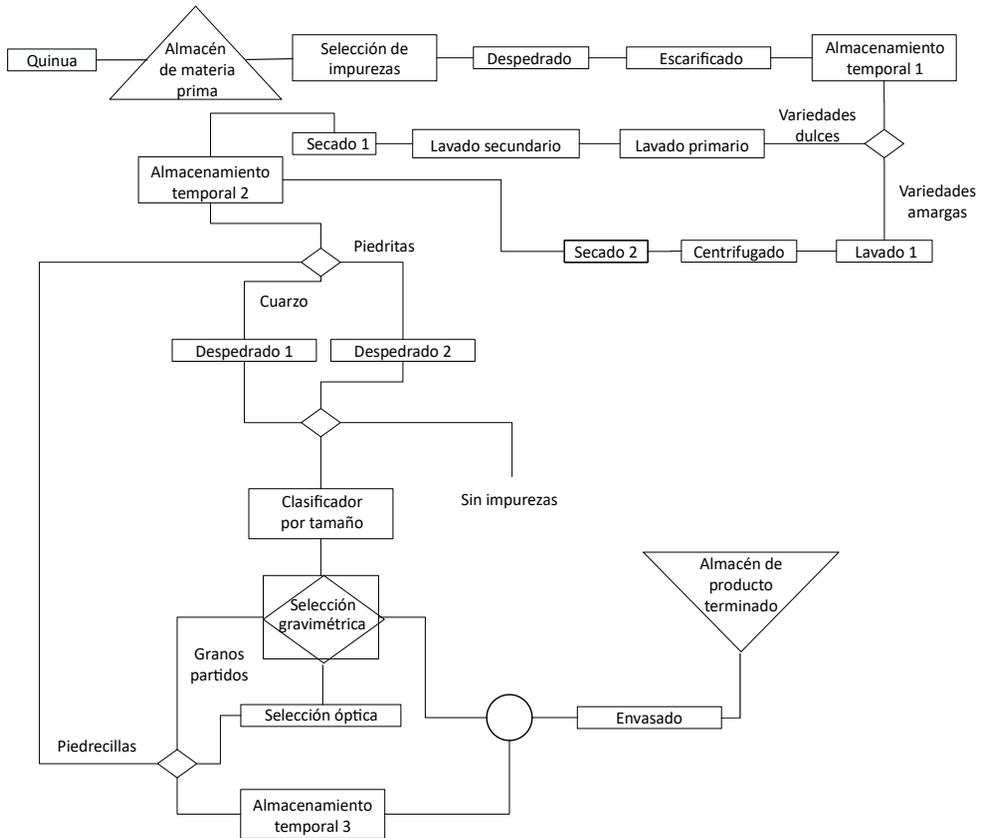


Figura 2. Proceso de producción de quinua perlada con sistema continuo

Fuente: Arapa, (2017)

2.3 Método del estudio

Primero se recogen las muestras de quinua perlada en la operación unitaria de envasado para ambos sistemas de producción. En segundo lugar se mide su diámetro con vernier durante distintos días de producción; se estudian las impurezas usando el tamiz; las variedades contrastantes y granos enteros se observan con lupa, y al final se pesan

en una balanza digital. Para el estudio del rendimiento se registra el peso tomado al inicio, en el transcurso y al final de la producción. En tercer lugar se realiza el cálculo del porcentaje de variedades contrastantes utilizando la ecuación 1:

$$\% VC = \left(\frac{\text{Gramos de CV}}{\text{Gramos de muestra}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde % VC es el porcentaje de variedades contrastantes y VC las variedades contrastantes.

Para el porcentaje de granos enteros se utiliza la ecuación 2:

$$\% GE = \left(\frac{\text{Gramos de GE}}{\text{Gramos de muestra}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde % GE es el porcentaje de granos enteros y GE los granos enteros.

Para el porcentaje de impurezas se utiliza la ecuación 3:

$$\% \text{ Impurezas} = \left(\frac{\text{Gramos de impurezas}}{\text{Gramos de muestra}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Y para el rendimiento se utiliza la ecuación 4:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \left(\frac{\text{Kilogramos MP}}{\text{Kilogramos PF}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde: MP es la materia prima y PF el producto final.

En cuarto lugar se realizó el análisis estadístico con el *software* Minitab 18. Al final se estableció la calidad de quinua obtenida por TSC y por TSNC utilizando la NTP 205.062 (Indecopi, 2009) (tablas 1 y 2).

Tabla 1
Determinación del tamaño de los granos de quinua en función del diámetro promedio

Tamaño de los granos	Diámetro promedio de los granos (mm)	Malla
Extra grandes	Mayor a 2,0	85 % retenido en la malla ASTM 10
Grandes	Mayor a 1,70 hasta 2,0	85 % retenido en la malla ASTM 12
Medianos	Mayor a 1,40 hasta 1,69	85 % retenido en la malla ASTM 14
Pequeños	Menor a 1,40	85 % pasa por la malla ASTM 14

Fuente: Indecopi, 2009

Tabla 2
Tolerancias admitidas para la clasificación de los granos de quinua en función de su grado

Parámetros sensoriales	Unidad	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Granos enteros	%	96		90		86	
Granos quebrados	%		1,5		2,0		3,0
Granos dañados	%		1,0		2,5		3,0
Granos germinados	%		0,15		0,25		0,3
Granos recubiertos	%		0,25		0,30		0,35
Granos inmaduros	%		0,5		0,7		0,9
Impurezas totales	%		0,25		0,30		0,35
Piedrecillas en 100 g de muestra	U/100 g		Ausencia		Ausencia		Ausencia
Granos contrastantes	%		1,0		2,0		2,5
Insectos (enteros, partes o larvas)	%		Ausencia		Ausencia		Ausencia

Fuente: Indecopi, 2009

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la tabla 3 se muestran los datos obtenidos en procesamiento de quinua perlada con TSC y TSNC. Las variables comparadas son las variedades contrastantes, los granos enteros, las impurezas, el diámetro y el rendimiento.

Tabla 3
Resultados obtenidos en procesamiento de quinua perlada con el uso de sistema continuo y sistema no continuo

N	Variedades contrastantes (%)		Granos enteros (%)		Impurezas (%)		Diámetro (mm)		Rendimiento (%)	
	TSNC	TSC	TSNC	TSC	TSNC	TSC	TSNC	TSC	TSNC	TSC
1	1,2	0,9	90	97	0,5	0,2	1,8	1,7	86	96
2	1,1	0,8	91	96	0,3	0,3	1,7	1,6	86	96
3	1,4	0,7	92	98	0,2	0,2	1,9	1,8	86	96
4	1,5	0,9	94	98	0,3	0,2	2	1,9	86	95
5	1,2	0,8	90	96	0,2	0,3	1,7	1,9	86	95
6	1,7	0,9	92	98	0,3	0,2	1,7	1,9	87	96
7	1,3	0,6	93	97	0,3	0,2	1,8	2	86	97
8	1,6	0,8	90	96	0,4	0,3	1,9	1,8	86	97
9	1,7	0,7	92	97	0,3	0,2	1,9	2	85	96
10	1,1	0,6	94	98	0,2	0,4	1,9	1,7	86	96

Elaboración propia

En la tabla 4 se muestran los resultados de la media, la desviación típica y el error típico de la media en el procesamiento de quinua perlada con TSC y TSNC. Se observan diferencias significativas en las variables variedades contrastantes, granos enteros y rendimiento, no existiendo diferencia significativa en las variables impurezas y diámetro.

Tabla 4
Resultados de la media, la desviación típica y el error típico de la media para el procesamiento de quinua perlada con sistema continuo y sistema no continuo

Variable	Variedades contrastantes (%)		Granos enteros (%)		Impurezas (%)		Diámetro (mm)		Rendimiento (%)	
	TSC	TSNC	TSC	TSNC	TSC	TSNC	TSC	TSNC	TSC	TSNC
Tecnología										
Media	0,77	1,38	97,1	91,8	0,25	0,3	1,83	1,83	96	86
Desviación típica	0,11	0,23	0,88	1,55	0,071	0,094	0,134	0,11	0,667	0,471
Error típico de la media	0,037	0,074	0,28	0,49	0,022	0,0298	0,042	0,33	0,21	0,15

Elaboración propia

La prueba de intervalo de confianza (IC) para dos variables y la prueba de Levene se muestran en la tabla 5, donde la relación de desviación estándar para IC es de 95 %, y usando Levene se muestra que en el rendimiento no se puede calcular por existir una inconsistencia en los datos obtenidos para dos variables. En las variables variedades contrastantes, granos enteros y rendimiento hay diferencias significativas en el producto obtenido con TSC en comparación con TSNC. Respecto a las variables de impurezas y diámetro del grano no hay diferencias significativas. Estos resultados se detallan en la tabla 5, y en la figura 3 se muestra la gráfica de caja para observar con mayor claridad los resultados obtenidos de la prueba de Levene.

Tabla 5

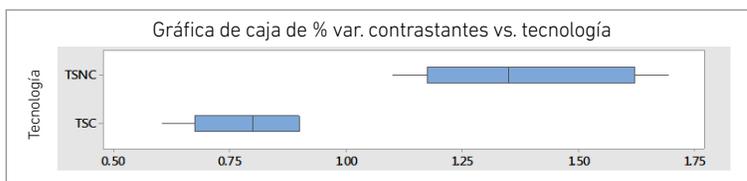
Relación de desviación estándar y prueba de Levene para el porcentaje de variedades contrastantes, porcentaje de granos enteros, porcentaje de impurezas, diámetro de granos de quinua y rendimiento

Variables	Relación de desviación estándar		Prueba de Levene			
	Relación estimada	IC de 95 % para la relación usando Levene	Estadística de prueba	GL1	GL2	Valor p
% variedades contrastantes	2.02464	(1.193, 4.126)	7.07	1	18	0.016
% granos enteros	1.7693	(0.773, 3.568)	2.32	1	18	0.145
% impurezas	1.33333	(0.243, 20.230)	0.1	1	18	0.754
Diámetro (mm)	0.792041	(0.452, 1.539)	0.53	1	18	0.476
Rendimiento (%)	0.707107	(*, 4.010)	0.9	1	18	0.355

Elaboración propia

Con TSC, el color de la quinua es uniforme, blanco opaco, con un diámetro de grano de quinua uniforme, sin granos partidos; con TSC y TSNC, el producto final no tiene impurezas; el manejo con TSC es más eficiente que con TSNC.

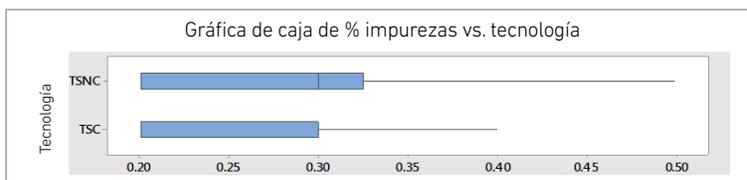
Respecto a la calidad de la quinua, Choquehuanca (1998) señala: "la presencia de granos de quinua de color negro en proporción mayor a 2 % disminuye la calidad del producto" (p. 79), siendo la TSNC la que presenta mayor contenido de variedades contrastantes como la quinua de color negro, lo que afecta la calidad del producto. El diámetro del grano de quinua determinado por Calle, Del Castillo, Vargas y Bonifacio (2016) está entre 2 y 1,70 milímetros, siendo el mismo rango obtenido por ambas tecnologías.



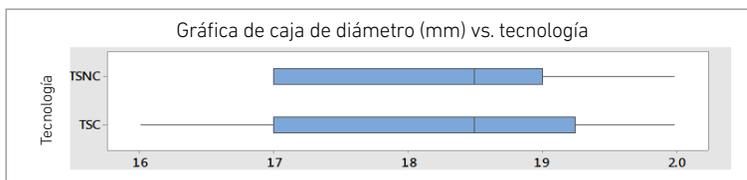
(a)



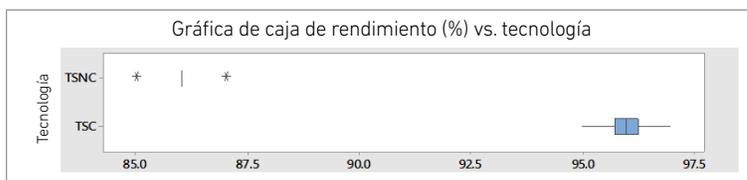
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 3. Gráficas de caja para el porcentaje de variedades contrastantes (a), porcentaje de granos enteros (b), porcentaje de impurezas (c), rendimiento (e) y diámetro de grano (d) Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

En el estudio se evidencia que la tecnología de sistema continuo tiene ventajas comparativas en relación con la tecnología de sistema no continuo, con una marcada diferencia en el porcentaje de variedades contrastantes, porcentaje de granos enteros y rendimiento, con una media de 86 % para la TSNC y 96 % para la TSC. El porcentaje de impurezas es menor en el sistema continuo, aunque no es significativa la variación. El diámetro obtenido es mayor en el sistema continuo. Confrontando los resultados con la Norma Técnica Peruana de Quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd) (Indecopi, 2009), el producto obtenido con TSC está dentro de la categoría 1 y con TSNC, dentro de la categoría 2.

REFERENCIAS

- Arapa, C. P. (2009). *Ciencia y tecnología de la quinua*. Puno: Juliaca.
- Arapa, C. P. (2017). *Plan HACCP quinua cañihua*. Puno: Innova Alimentos EIRL.
- Calle, S. L., Del Castillo, G., Vargas, M. y Bonifacio, F. A. (2016). Evaluación de características comerciales en quinua roja (*Chenopodium quinoa* Willd) en K'iphak'iphani, provincia Ingavi, La Paz. *RIIARn* 3(2), pp. 207-213.
- Carvajal, S. R. (2011). La quinua y la necesidad de realizar investigación agroambiental. *Tinkazos* 14(30), pp. 187-190.
- Choquehuanca C. F. (1998). *Determinación de parámetros en la elaboración de hojuelas de quinua* (*Chenopodium quinoa* Willd) *precocida y saborizada*. (Tesis de pregrado). Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Dirección Regional de Agricultura - Ancash. (2016). *Cultivo de la quinua en Ancash*. Ancash.
- Gómez, P. L. y Aguilar, C. E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Lima: FAO/Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Guzmán, H. (2013). Competitividad de la quinua perlada para exportación: el caso de Puno. *Ingeniería Industrial* 31, pp. 91-112. Recuperado de https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/viewFile/14/14
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2005). *El mercado y la producción de quinua en el Perú*. Lima.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) (2009). Norma Técnica Peruana (NTP) 205.062 Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), Requisitos. Lima.

- Olarte-Calsina, S., Olarte-Daza C., U. y Schultz, G. (2016). La quinua en el contexto de la estandarización. *Agroalimentaria* 22(43), pp. 89–102.
- Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2012). *Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo y la cohesión social*. Madrid.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2011). *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>
- Peñaloza, M. (2007). Tecnología e innovación, factores claves para la competitividad. *Actualidad Contable FACES* 10(15), pp. 82–94.

COMPARACIÓN DE TRES ALGORITMOS DE PRUEBA DE PERMUTACIÓN APLICADOS A LAS MEDIAS MULTIVARIADAS DE DOS MUESTRAS INDEPENDIENTES

JAIME CARLOS PORRAS CERRÓN*
Universidad Nacional Agraria La Molina

Recibido: 12 de marzo del 2019 / Aprobado: 30 de mayo del 2019

doi: 10.26439/ing.ind2019.n037.4545

RESUMEN: El objetivo de esta investigación fue comparar tres algoritmos de prueba de permutación. Se propusieron escenarios de datos obtenidos mediante simulación de Monte Carlo y en cada uno se aplicaron los algoritmos propuestos. Los resultados muestran una potencia de prueba superior a 0,85. El primer algoritmo basado en la T^2 de Hotelling presentó la mayor potencia de prueba. La implementación de los algoritmos fue realizada con el programa R.

Palabras clave: prueba de permutación / simulación de Monte Carlo / prueba T^2 de Hotelling / Prueba t / prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney / potencia de prueba

COMPARISON OF THREE PERMUTATION TEST ALGORITHMS APPLIED TO THE MULTIVARIATE MEANS OF TWO INDEPENDENT SAMPLES

ABSTRACT: The objective of this research was to compare three permutation test algorithms. Data scenarios obtained through the Monte Carlo simulation were proposed and the suggested algorithms were applied to each of them. The results showed a test power greater than 0,85. The first algorithm based on the Hotelling's T^2 presented the highest test power. The implementation of the algorithms was carried out using the R statistical program.

Keywords: permutation test / Monte Carlo simulation / Hotelling's T^2 test / t test / Wilcoxon-Mann-Whitney test / test power

* jaimepc@lamolina.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

En investigaciones de diferentes áreas, uno de los objetivos puede ser comparar las medias de dos poblaciones con la finalidad de determinar si estas difieren. Para cumplir con este propósito se puede hacer uso de procedimientos paramétricos univariados o multivariados. En el caso univariado se puede utilizar la prueba Z o la prueba t de Student (si se desconocen las varianzas poblacionales). En el caso multivariado, si las matrices de covarianza son homogéneas, se puede hacer uso de la prueba T^2 de Hotelling para comparar las medias de dos poblaciones.

Tanto para el caso univariado como para el multivariado se requiere verificar previamente que las muestras provengan de una distribución normal. Sin embargo, esta situación no siempre se cumple. Ante esta falla de las pruebas paramétricas tradicionales, los métodos no paramétricos, como la prueba de permutación, han surgido como una buena alternativa, debido a que no será necesario verificar que los datos provengan de una distribución teórica conocida.

Existen investigaciones donde se estudia la prueba de permutación. Butar y Park (2008) realizaron un estudio para comparar dos poblaciones mediante pruebas de permutación univariada. Concluyeron que las pruebas basadas en remuestreo no son complicadas de implementar y que al realizar todas las permutaciones posibles se puede obtener un nivel de significancia exacto, mientras que cuando el número de permutaciones es muy grande se puede obtener un nivel de significancia aproximado.

Chung y Romano (2011) presentaron una prueba de permutación para dos muestras independientes basadas en el estadístico de Wilcoxon, y obtuvieron sus resultados mediante un estudio de simulación de Monte Carlo.

Einsporn y Habtzghi (2013) propusieron una prueba de permutación para datos de pares incompletos. Esta situación surge tanto en estudios observacionales como experimentales cuando algunos de los datos están en forma de muestra pareada y el resto de los datos comprende dos muestras independientes. Se demostró mediante simulación de Monte Carlo que el método propuesto funciona mejor que los métodos tradicionales.

Samuh (2017) propuso un algoritmo para comparar dos muestras independientes a través de pruebas de permutación univariadas y el criterio *Ranked Set Sampling* mediante simulación. Concluyó que los resultados afirman que los niveles de potencia de la prueba de permutación son más altos que los niveles de potencia de la prueba t clásica.

Blair, Higgins, Karniski y Kromrey (2010) analizaron pruebas de permutación multivariada para una muestra que pueden sustituir a la T^2 de Hotelling. Las comparaciones de potencia se realizaron entre las pruebas de permutación y la prueba T^2 de Hotelling bajo una variedad de modelo de efecto de tratamiento, estructura de correlación y combinaciones de diferentes cantidades de variables. Los resultados muestran que las

pruebas de permutación tienen importantes ventajas de potencia con respecto a la T^2 de Hotelling. Algunas ventajas de las pruebas de permutación: pueden ser utilizadas cuando el número de variables es mayor al número de observaciones o cuando se desconoce la distribución de probabilidad conjunta de las variables en estudio.

Chung y Romano (2013) usaron pruebas de permutación para comparar parámetros multivariados de dos poblaciones mediante estudios de simulación de Monte Carlo. Utilizaron una T^2 modificada de Hotelling, así como pruebas basadas en la máxima diferencia absoluta estudentizada.

En la presente investigación, el desarrollo de la metodología de prueba de permutación multivariada para dos muestras independientes se realizó mediante la elaboración de procedimientos obtenidos con ayuda del programa estadístico R.

El objetivo de la presente investigación es comparar la potencia de prueba de tres algoritmos de prueba de permutación para la diferencia entre medias multivariadas en dos muestras independientes. Estos se aplicarán a diferentes escenarios (conjuntos de datos) obtenidos con la ayuda de la simulación de Monte Carlo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Para realizar la aplicación del presente trabajo de investigación, se utilizó el programa estadístico R que es muy útil para implementar los procedimientos de comparación. Esto se debe a que los programas estadísticos comerciales no cuentan con las pruebas que se consideraron en la presente investigación.

Se utilizaron diferentes funciones del programa:

- La función `t.test` del paquete `base stats` permite realizar la prueba t de Student para comparar las medias univariadas de dos muestras independientes.
- La función `wilcox.exact` del paquete `ExactRankTests` permite comparar las medianas univariadas mediante la prueba de Wilcoxon (corregida por empates).
- La función `hotelling.test` del paquete `Hotelling` permite realizar la prueba T^2 para la diferencia de medias multivariada de dos muestras independientes.

Lo primero que se hizo fue generar diferentes conjuntos de datos simulados provenientes de una distribución normal multivariada, los cuales deben presentar distintas características que incluyan: el tamaño de las dos muestras independientes (n_1 y n_2), el número de variables a analizar (p) y la variabilidad total de los datos. Es decir, por ejemplo, se fijan las siguientes características de un conjunto de datos: $n_1=50$ y $n_2=50$

observaciones, 8 variables y una variabilidad total igual a 6. Este tipo de conjunto de datos se genera por simulación de Monte Carlo, se repite r veces y en cada una de las repeticiones se evalúan los diferentes algoritmos de interés.

Se elaboraron funciones que permitieran desarrollar los algoritmos propuestos y evaluar su potencia.

En la tabla 1 se presenta una breve descripción de los conjuntos de datos que serán simulados. Para cada escenario propuesto se indican los tamaños de las muestras (n_1 y n_2) y el número de variables (p).

Tabla 1
Descripción de la estructura de los datos simulados

Escenario	n_1	n_2	p
1	20	20	3
2	20	40	3
3	100	100	3
4	100	150	3
5	200	200	5
6	200	250	5
7	500	500	7

Elaboración propia

En cada escenario se estimará la potencia de prueba de los diferentes algoritmos propuestos.

2.2 Métodos

Antes de definir los métodos y algoritmos que se desarrollaron, se presentan los términos utilizados:

k : Número de muestras independientes (en la presente investigación $k = 2$).

p : Número de variables cuantitativas del conjunto de datos.

n_1 : Tamaño de la muestra de la población 1.

n_2 : Tamaño de la muestra de la población 2.

$n = n_1 + n_2$: Tamaño total de la muestra.

\bar{X}_1 : Promedio de la muestra 1.

\bar{X}_2 : Promedio de la muestra 2.

S_1^2 : Varianza de la muestra 1.

S_2^2 : Varianza de la muestra 2.

S: Matriz de covarianza ponderada.

S_j: Matriz de covarianza de dimensión p x p del grupo j, j = 1,2,...,k.

A continuación se describen los aspectos teóricos presentados en Efron y Tibshirani (2011) y Higgins (2004) para poder entender los algoritmos desarrollados en la presente investigación.

2.2.1 Prueba t

En el caso univariado, para determinar si las medias poblacionales son iguales, es decir, $H_0: \mu_1 = \mu_2$, se puede hacer uso de la siguiente estadística, siempre que se cumplan los siguientes supuestos:

Las varianzas de las dos poblaciones son iguales (homogeneidad de varianzas).

La variable de interés en ambas poblaciones tiene distribución normal.

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - \mu_0}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \sim t_{(n_1+n_2-2)}$$

Donde S_p es la desviación estándar ponderada definida por:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}}$$

Con respecto al supuesto de normalidad, si n_1 y n_2 son suficientemente grandes, se cumple el Teorema Central del Límite y se puede proceder como si las poblaciones fueran normales. La prueba t es bastante robusta para las violaciones de la suposición de normalidad siempre que cada población sea relativamente simétrica con respecto a su media.

Una prueba equivalente puede ser utilizando el estadístico t^2 de la siguiente manera:

$$t^2 \sim F_{(1, n_1+n_2-2)}$$

2.2.2 Prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney

En el caso univariado se puede utilizar para determinar si las medianas poblacionales son iguales, es decir, $H_0: Me_1 = Me_2$. A diferencia de la prueba t, no requiere del cumplimiento de normalidad para las muestras, pero sí que las muestras provengan de la misma distribución teórica.

$$Z = \frac{U - E(U)}{\sqrt{V(U)}} \sim N(0,1)$$

Donde:

U puede ser calculado mediante las siguientes expresiones:

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1 \text{ y } U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2$$

R_1 y R_2 son las sumas de los rangos de la primera y segunda muestra respectivamente.

Se elige el menor valor entre U_1 o U_2 para reemplazarlo en la prueba de la aproximación a la normal.

$$E(U) = \frac{n_1 n_2}{2}$$

$$V(U) = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}$$

$$V(U) = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} - \left[\sum_{i=1}^g \frac{t_i^3 - t_i}{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 - 1)} \right]$$

Donde g es el número de grupos empatados y t_i el número de elementos empatados dentro de grupo i .

La primera expresión de $V(U)$ se debe utilizar cuando no hay empates (valores iguales) en los datos observados y la segunda expresión de $V(U)$ debe ser usada cuando hay empates.

2.2.3 Prueba T^2 de Hotelling

En el caso multivariado, para determinar si las p medias poblacionales son iguales, es decir, $H_0: \mu_1 = \mu_2$, donde ahora μ_1 y μ_2 son vectores de longitud p , se puede hacer uso del siguiente estadístico, si n_1 y n_2 son suficientemente grandes:

$$T^2 = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)^T \left[S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \right]^{-1} \quad (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \sim \chi^2_{(p)}$$

Donde S es la matriz de covarianza muestral ponderada

$$S = \frac{(n_1 - 1)S_1 + (n_2 - 1)S_2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}$$

Si n_1 y n_2 no son suficientemente grandes, entonces es mejor utilizar el siguiente estadístico:

$$F = \frac{(n - p)}{p(n - 1)} T^2 \sim F_{(p, n_1 + n_2 - p - 1)}$$

2.2.4 Prueba de permutación

Una prueba de hipótesis empieza con un estadístico de prueba $\hat{\theta}$. Si la hipótesis nula, H_0 no es verdadera, esperamos observar grandes valores de $\hat{\theta}$ en comparación con H_0 verdadera.

Si se ha observado $\hat{\theta}$, el nivel de significancia alcanzado de la prueba (ASL por sus siglas en inglés) es definido como la probabilidad de observar al menos un valor grande cuando la hipótesis nula es verdadera, de tal manera que se puede definir así:

$$ASL = Prob_{H_0} \{ \hat{\theta}^* \geq \hat{\theta} \}$$

La cantidad $\hat{\theta}$ en la expresión del ASL es fijada como un valor observado (en el caso univariado se puede utilizar $\hat{\theta} = \bar{X}_1 - \bar{X}_2$), la variable aleatoria $\hat{\theta}$ tiene la distribución de la hipótesis nula, la distribución de $\hat{\theta}$ si H_0 es verdadera. La notación de * marca la diferencia entre la observación actual y un hipotético $\hat{\theta}^*$ generado de acuerdo a H_0 .

2.2.5 Algoritmo de la prueba estadística de permutación para dos muestras

Seleccionar B matrices independientes $g^*(1), g^*(2), \dots, g^*(B)$, cada una compuesta por n_1 y n_2 observaciones seleccionadas aleatoriamente de un conjunto de todos los $\binom{n}{n_1}$ posibles vectores.

Evaluar las replicaciones de permutación de $\hat{\theta}$ correspondiente a cada matriz de permutación,

$$\hat{\theta}^*(b) = S(g^*(b), v) \quad b = 1, 2, \dots, B$$

Aproximadamente ASL_{perm} es

$$ASL_{perm} = \#\{\hat{\theta}^*(b) \geq \hat{\theta}\} / B$$

En el caso de prueba de permutación multivariada para dos muestras, vectores multivariados son permutados entre los grupos de igual manera que las observaciones son permutadas entre grupos en una prueba de permutación univariada.

Por otro lado, la diferencia entre los algoritmos propuestos radica en la definición de $\hat{\theta}$ (también conocido como umbral), el cual permite el cálculo del ASL.

Como en la presente investigación se consideraron tres algoritmos para evaluar la diferencia significativa entre vectores de medias, los valores de o umbrales propuestos son:

- El estadístico T^2 de Hotelling.
- El máximo en valor absoluto de los estadísticos t .

$$t_{\max abs} = \max(|t_1|, |t_2|, \dots, |t_k|)$$

Es decir, se debe calcular el estadístico t de Student para cada una de las variables y considerar como umbral al máximo de ellos (Higgins, 2004).

- El máximo en valor absoluto de los estadísticos Z de Wilcoxon

$$Z = \max(|Z_1|, |Z_2|, \dots, |Z_k|)$$

Es decir, se debe calcular el estadístico Z de Wilcoxon-Mann-Whitney para cada una de las variables y considerar como umbral al máximo de ellos (Higgins, 2004).

En resumen la metodología de la presente investigación fue la siguiente:

- a) Generar diferentes conjuntos de datos (escenarios), considerando distintos tamaños de muestra (n_1 y n_2) y cantidad de variables (p).
- b) Aplicar los tres algoritmos a cada uno de los diferentes conjuntos de datos.
- c) Calcular la potencia de prueba de cada uno de los algoritmos propuestos. La potencia de prueba es obtenida repitiendo cada escenario $r = 50$ veces.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La tabla 2 muestra el número total de permutaciones para diferentes tamaños de muestra.

Tabla 2
Total de permutaciones para diferentes tamaños de n_1 y n_2

Escenario	n1	n2	Total de permutaciones
1	20	20	1,378465e + 11
2	20	40	4,191845e + 15
3	100	100	9,054851e + 58
4	100	150	6,063025e + 71
5	200	200	1,029525e + 119
6	200	250	6,798544e + 132
7	500	500	2,702882e + 299

Elaboración propia

Obtener todas las permutaciones posibles implicaría un gasto computacional excesivo, por lo que lo primero que se debe hacer es elegir un número (B) de permutaciones necesarias para optimizar el tiempo de procesamiento. Como la prueba de permutación utiliza en su procedimiento simulación de Monte Carlo, el ASL no es fijo. Ello implica un cierto nivel de variabilidad entre sus resultados. Se desea que esta variabilidad sea la mínima posible, por ejemplo, máximo 5 %. Para determinar el número óptimo de permutaciones se utilizará la función nm, donde se pueden evaluar diferentes valores de B (50, 100, 200, 500, 1000) para una cierta cantidad de repeticiones (r). En el presente trabajo se utilizó $r = 50$ repeticiones.

Se puede observar en los tres algoritmos que, a medida que el número de permutaciones utilizadas aumenta, la variabilidad disminuye. Esto ocurre en todos los escenarios propuestos. En la figura 1 se presenta lo mencionado para el primer escenario. Se puede deducir que un número adecuado de permutaciones suficiente es de 500. Utilizar más permutaciones implicaría un gasto computacional innecesario pues no reduciría significativamente la variabilidad entre resultados propuesta.

En la tabla 3 se presentan los diferentes valores de potencia de prueba. Para obtener estos resultados se utilizó simulación de Monte Carlo para generar $r = 50$ repeticiones diferentes en cada uno de los escenarios propuestos. Se definieron parámetros adecuados para la obtención de las matrices de datos que contenían a los números pseudoaleatorios. La potencia de prueba fue calculada como el número de veces que se rechazaba la hipótesis nula sobre la cantidad de repeticiones (r) realizadas.

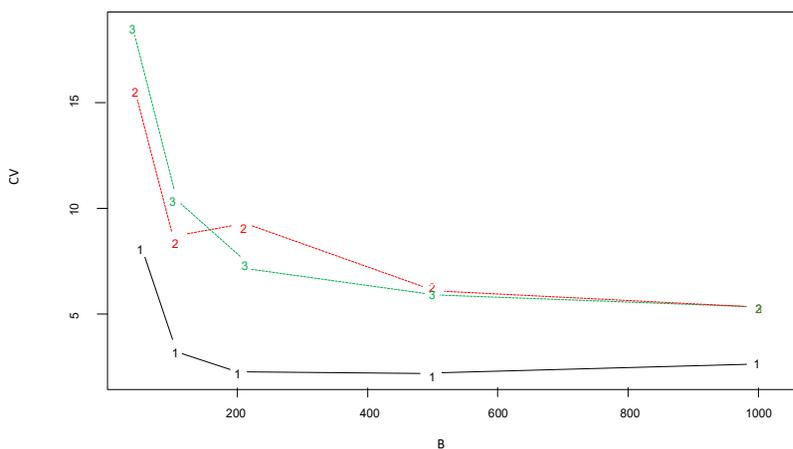


Figura 1. Número óptimo de permutaciones para $n_1 = 20$ y $n_2 = 20$

Elaboración propia

Se puede observar que el algoritmo basado en la prueba T^2 de Hotelling presenta una mayor potencia de prueba con respecto a los otros dos algoritmos propuestos. Esto se verificó estadísticamente a un nivel de significación de 0,05, mediante la Prueba de Friedman (p -valor = 0,002), donde se considera a los algoritmos en comparación como tratamientos y a los diferentes escenarios como bloques. Asimismo, al realizar las pruebas de comparación se encuentra que hay diferencia significativa entre los tres algoritmos.

Tabla 3

Potencia de prueba para los diferentes escenarios propuestos

Escenario	Algoritmo 1	Algoritmo 2	Algoritmo 3
1	0,97	0,87	0,85
2	0,95	0,88	0,86
3	0,96	0,89	0,89
4	0,94	0,91	0,90
5	0,95	0,92	0,93
6	0,96	0,93	0,92
7	0,98	0,94	0,93

Elaboración propia

En la figura 2 se puede visualizar que para los tres algoritmos propuestos las potencias de prueba se incrementan a medida que el número de variables y los tamaños de muestra aumentan.

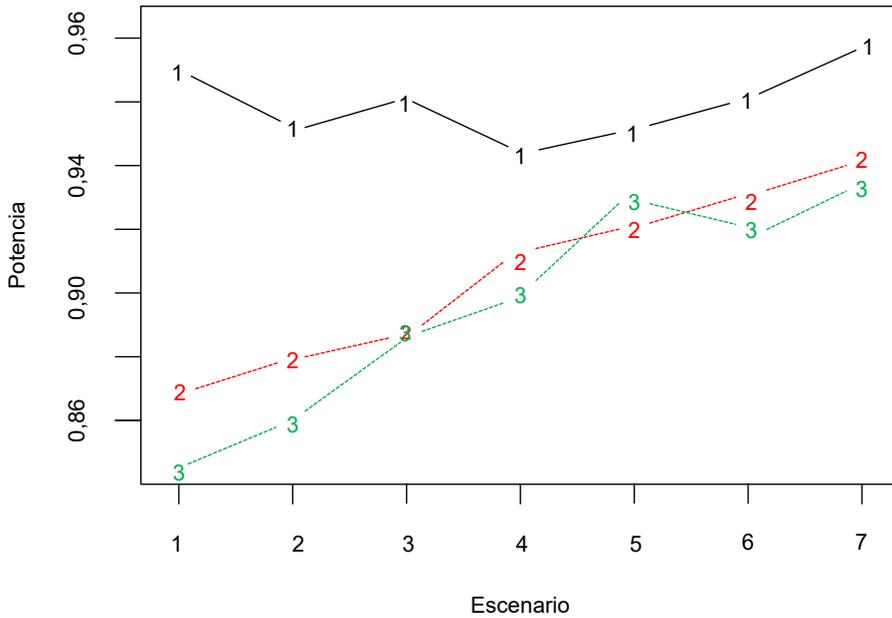


Figura 2. Potencia de prueba de los diferentes escenarios

Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo constituye un aporte en la investigación sobre la comparación de tres algoritmos para comparar las medias multivariadas de dos muestras independientes.

La prueba de permutación constituye un procedimiento alternativo a las pruebas paramétricas tradicionales que exigen el cumplimiento de ciertos supuestos que en la práctica no se cumplen.

Para investigaciones de este tipo es necesario generar diferentes escenarios que involucren criterios como: el tamaño de muestra, el número de variables consideradas en el estudio y la variabilidad representada en la matriz de covarianza. En esta investigación se utilizaron siete escenarios y solo una cantidad de permutaciones posibles para evitar un gasto computacional innecesario. Un número óptimo de permutaciones para obtener los resultados con una variabilidad máxima de 5 % es 500.

Se ha demostrado que de los tres algoritmos considerados, el que utiliza la prueba T^2 de Hotelling como criterio para determinar las diferencias significativas entre las medias poblacionales es el que presenta mayor potencia de prueba. Esto fue verificado estadísticamente mediante la prueba de Friedman.

Cabe resaltar que cuando se trabaja con una mayor cantidad de variables y los tamaños de muestra aumentan, la potencia de prueba se incrementa para los tres algoritmos.

Por otro lado, es necesario que en posteriores investigaciones similares se utilicen más escenarios para determinar con mayor precisión si para ciertos conjuntos de datos algunos de los algoritmos propuestos son más potentes que otros.

REFERENCIAS

- Blair, C., Higgins, J., Karniski, W. y Kromrey, J. (2010). A Study of Multivariate Permutation Tests Which May Replace Hotelling's T₂ Test in Prescribed Circumstances. *Journal Multivariate Behavioral Research* 29(2), pp. 141-163. doi: 10.1207/s15327906mbr2902_2
- Butar, F. y Park, J. (2008). Permutation Test for Comparing Two Populations. *Journal of Mathematical Sciences & Mathematics Education* 3(2), pp. 19-30.
- Chung, E. y Romano, J. (2011). *Asymptotically valid and exact permutation tests based on two-sample U-statistics*. (Technical report No. 2011-09). Stanford: Stanford University. Recuperado de <https://statistics.stanford.edu/sites/default/files/2011-09.pdf>
- Chung, E. y Romano, J. (2013). *Multivariate and Multiple Permutation Test*. (Technical report No.2013-05). Stanford: Stanford University. Recuperado de https://statistics.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj6031/f/2013-05_0.pdf
- Efron, B. y Tibshirani, R. (2011): *An Introduction to the Bootstrap*. Nueva York: Chapman & Hall/CRC.
- Einsporn, R. y Habtzghi, D. (2013): Combining Paired and Two-Sample Data Using a Permutation. *Journal of Data Science* 11, pp. 767-779.
- Higgins, J. (2004). *An introduction to modern nonparametric statistics*. Londres: Thomson Learning.
- Samuh, M. (2017). Ranked Set Two Sample Permutation Test. *Statistica* 3, pp. 237-249.
- The R Project for Statistical Computing (3.6) [Software]. (2019). Recuperado de <https://www.r-project.org/>

OPTIMIZACIÓN DE LA RUGOSIDAD Y LA DUREZA DEL ACERO 12L-14 EMPLEANDO LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

WILSON ARENAS, OSCAR MARTÍNEZ, MARYLIN MARTÍNEZ
RICARDO OTERO-CAICEDO, MARTHA MANRIQUE*

Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia

Recibido: 27 de noviembre del 2018 / Aprobado: 16 de mayo del 2019

doi: 10.26439/ing.ind2019.n037.4546

RESUMEN: Este estudio empleó la técnica de superficie de respuesta para optimizar la dureza y rugosidad del acero 12L-14 a partir del tiempo y la temperatura de austenizado. La aplicación multiobjetivo se realizó a partir de un escalamiento con la función de deseabilidad y ponderación, obtenida con la estrategia del proceso analítico jerárquico AHP. Los resultados muestran que la máxima dureza al someter el material a una temperatura de 846,49 °C durante 48,61 minutos.

Palabras clave: acero 12L-14 / metodología de superficie de respuesta / optimización multiobjetivo / tratamiento térmico / acero-tratamiento térmico

ROUGHNESS AND HARDNESS OPTIMIZATION OF 12L-14 STEEL USING THE RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

ABSTRACT: This research used the response surface technique to optimize 12L-14 steel hardness and roughness based on the austenitizing time and temperature. The multi-objective problem was managed by scaling the desirability and weighting function using the analytical hierarchical process (AHP). The results show that the maximum hardness is obtained at 846.9 °C for 48.61 minutes.

Keywords: 12L-14 steel / response surface methodology / multi-objective optimization / heat treatment / steel heat treatment

* wardenas@javeriana.edu.co, omartinezb@javeriana.edu.co, marylin.martinez@javeriana.edu.co, otero@javeriana.edu.co, smanriq@javeriana.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El sector industrial es un campo de constante cambio donde nuevos y numerosos retos exigen a las empresas contar con las mejores herramientas para suplir las demandas de la industria y sus clientes. Entre los puntos de interés más sobresalientes en el área de investigación industrial se encuentra el tratamiento de materiales orientados a la elaboración de piezas como bujías, tuercas, tornillos y partes automotrices, entre otras. Estas piezas deben cumplir altos estándares de resistencia con el fin de minimizar las pérdidas en producción debido a los tiempos improductivos por mantenimiento de los dispositivos. En ese orden de ideas es necesario que la tecnología empleada para fabricar estas piezas sea cada vez mejor, evitando el aumento de costos y al mismo tiempo asegurando la solución de las necesidades de producción y alta calidad de los productos.

En Colombia, el acero, cuya constitución está basada en hierro y carbono, es uno de los materiales más empleados para el diseño de herramientas industriales. El acero 12L-14 es uno de los más usados en la industria automotriz para la fabricación de piezas como tornillos, pernos y tuercas. La alta maquinabilidad de este acero, debido a su alto contenido en plomo y sulfuro de manganeso (tabla 1.) distribuidos de manera equitativa, hace que el material sea de fácil mecanizado (SAE 12L-14). Las especificaciones técnicas de este material se encuentran descritas en la hoja de especificaciones dada por el fabricante; sin embargo, para confiar en estos valores se deben conocer las propiedades que influyen dentro de su proceso de elaboración.

Tabla 1
Composición química del acero 12L-14

% C	% Mn	% P	% S	% Pb
0,15 máx.	0,85 – 1,15	0,04	0,26 – 0,35	0,15 – 0,35

Fuente: Paredes, 2016

Con el fin de mejorar algunas propiedades del material, como la dureza y la rugosidad, el acero se suele someter a tratamientos térmicos. Por ejemplo, la respuesta del material ante tratamientos térmicos como el temple, varía en cada compuesto produciendo diferentes resultados en la estructura final que no tiende a seguir un comportamiento como se describe en algunas hojas de especificaciones. Por este motivo es natural que las propiedades mecánicas como la dureza y la resistencia a la torsión tengan variaciones significativas entre tratamientos. Las pruebas aplicadas en el proceso de caracterización del material se realizan de manera idea, es decir, su respuesta por lo general varía al someterse a tratamientos reales de ingeniería (Lazcano-Ugalde, Méndez-Macías y Medina-Mendoza, 2016).

Uno de los estudios más importantes es el análisis del tratamiento térmico de temple de materiales, ya que este incide directamente en la estructura resultante de la aleación tratada, influyendo en su dureza, elasticidad y rugosidad. Este proceso está compuesto por dos fases fundamentales:

- 1) Calentar el material hasta una temperatura mayor a la crítica para austenizarlo y mantenerlo en esta fase por un tiempo.
- 2) Realizar el enfriamiento rápido del material (figura 1) (Pérez Ruiz, Galeano Perilla y Negrín Hernández, 2016).

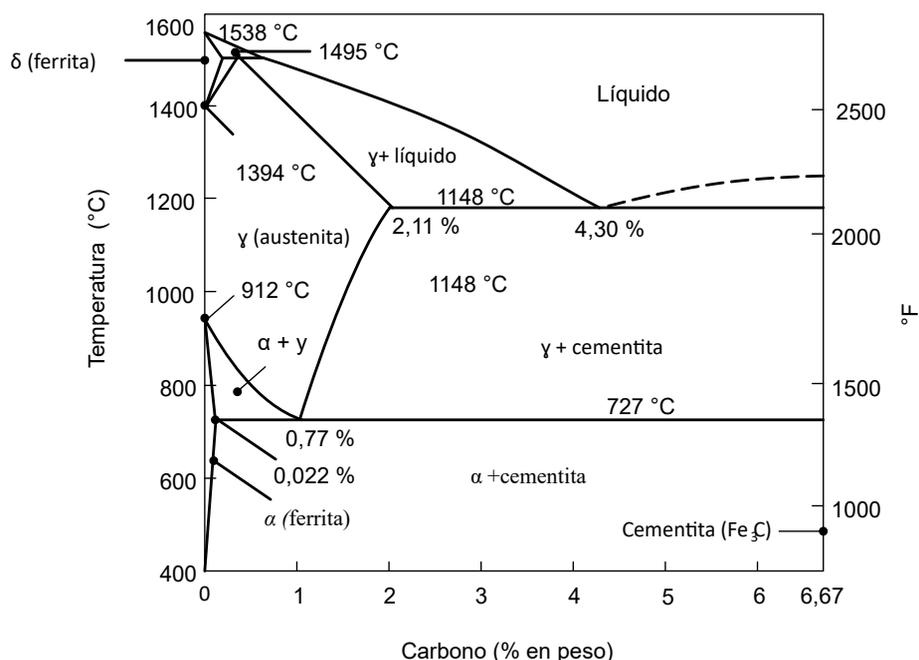


Figura 1. Diagrama de fase hierro-carburo de hierro

Fuente: Kalpakjian y Schmid, 2008

Esta última fase determina la estructura resultante y por consecuencia otorga las propiedades de dureza al material tratado. Caballero y Figueroa (1999) afirman que no existe un método ideal que favorezca la reducción de la temperatura durante el proceso de temple. Sin embargo, hay distintos medios de enfriamiento en el temple de los aceros que pueden tener un efecto cercano al deseado, tales como sumergir el material en agua, soluciones salinas, plomo, aceites, gases y sales fundidas (Pérez Ruiz, Galeano Perilla y Negrín Hernández, 2016). En ese orden de ideas, el tratamiento térmico es muy importante

en materiales como el acero 12-L14 e influye directamente en su desempeño, especialmente en procesos en que la temperatura es parte fundamental del forjado de las piezas.

Una de las propiedades que más varía en los materiales frente a tratamientos de temple es la dureza. Estudios realizados por Gresesqui-Lobaina, Rodríguez-González y Fernández-Columbié (2017) afirman que al someter a templado materiales ricos en cromo, como el acero 70XL, es posible aumentar el valor de su dureza haciéndolo más resistente. Otro estudio desarrollado por Pérez Ruiz, Galeano Perilla y Negrín Hernández (2016) concluye que el uso de refrigerante de radiador en el proceso de enfriamiento posterior al sometimiento térmico ayuda a que la dureza de aceros ricos en manganeso, como el acero 70XL, el acero AISI 1045 y el acero 12-L14, aumente considerablemente. Con estos estudios se puede deducir que es necesario analizar la influencia de los tratamientos térmicos puntualmente sobre el acero 12L14 en virtud de determinar sus variaciones mecánicas particulares debidas al tratamiento.

Otro parámetro que cambia debido a los tratamientos de temple es la rugosidad. Con el fin de evaluar si una pieza cuenta con la calidad adecuada se debe determinar el valor de la rugosidad superficial (Morales Tamayo, Pérez Rodríguez, Zambrano Robledo, Ávila Rondón y Zamora Hernández, 2014), es decir, las irregularidades ondulatorias en la capa más externa de la superficie de la pieza. Cuando la superficie del acero no tiene un acabado óptimo, el costo de producción aumenta debido a que los equipos que realizan el corte del material deben aumentar su esfuerzo reduciendo su vida útil (Gómez Barrantes y Romero Pinzón, 2017). Del mismo modo, cuando se disminuye la rugosidad de un material es posible aumentar su resistencia debido a que se minimizan los puntos de riesgo que generan grietas de ruptura, evitando así la fractura del acero. De acuerdo con Gómez Barrantes y Romero Pinzón (2017), analizar la rugosidad del material no solo es importante para mejorar las propiedades mecánicas, sino que también contribuye a la elaboración de materiales estéticamente más aceptables y con una vida útil mayor.

Para poder analizar la influencia que tienen ciertos factores sobre una variable de respuesta, es importante aplicar modelos estadísticos que ayuden a determinar cómo variar las condiciones normales de un proceso para encontrar cambios en la respuesta y concluir cuáles de dichas variaciones mejoran o no el proceso. Según De Almeida *et al.* (2018), emplear estrategias como el diseño de experimentos (DOE) minimiza los costos debido a que esta técnica estadística puede modelar y optimizar experimentos. El DOE cuenta con distintas técnicas que ayudan a plantear y analizar el procedimiento que se debe seguir para llegar a conclusiones objetivas sin sesgo, controlando factores externos que pueden afectar la prueba y permitiendo la selección de los factores que afectan la variable de respuesta con mayor relevancia.

En complemento, para determinar cuál es el mejor tratamiento posible, se emplea la metodología de superficie de respuesta (RSM por sus siglas en inglés). El objetivo es

diseñar un experimento que proporcione valores razonables de la variable de respuesta y, posteriormente determinar el modelo matemático que mejor se ajusta a los datos obtenidos, es decir, establecer los valores de los factores que optimizan (minimizan o maximizan) el valor de la variable de respuesta. Como definición, la RSM es una herramienta que admite el uso de DOE, técnicas de modelación del análisis de regresión y técnicas matemáticas de optimización, cuya ventaja es que para determinar varios parámetros y la interacción entre ellos emplea un número de pruebas reducido, permitiendo que el desarrollo del experimento y la toma de datos sean más eficientes (Gordillo, Rodríguez y Mejía, 2014; Yaguas, 2017).

Para encontrar el mejor tratamiento posible es necesario analizar las variables de respuesta de manera conjunta y no solo hacer un análisis de estas de manera separada. Esto implica la necesidad de incluir técnicas de optimización multiobjetivo. Existen distintos métodos que han sido aplicados por diferentes autores en sus estudios y generalmente son sencillos de implementar en un diseño experimental. De acuerdo con Raissi y Eslami Farsani (2009), entre estas alternativas están: dar una ponderación a cada variable de respuesta para crear una única función objetivo; diseñar un algoritmo específico para cada problema que encuentre las soluciones óptimas del sistema, y emplear el criterio de error cuadrático medio (MSE por sus siglas en inglés) cuando los datos provienen de una matriz combinada para crear un algoritmo basado en cruce aritmético, entre otras alternativas.

De acuerdo con lo anteriormente descrito, el propósito de este trabajo fue evaluar las características de dureza y rugosidad en una muestra de probetas de acero 12L-14 antes y después del temple. Con el fin de unificar las dos variables de respuesta fueron empleadas dos etapas:

1. Normalizar las variables de respuesta de acuerdo con una función de deseabilidad (*Larger-The-Best*), dando lugar a condiciones de operación que proporcionan valores de respuesta más deseables (Costa, Lourenço y Pereira, 2011).
2. Implementar el proceso de análisis jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) obteniendo las prioridades de cada variable con base en la experiencia y conocimiento de un experto.

Con ello, fundamentado el experimento en la metodología de superficie de respuesta, se determinó el tratamiento óptimo para mejorar las propiedades del material y, de esta manera, contribuir con la elaboración de piezas de mejor calidad, que soporten altas cargas manteniendo un bajo costo de fabricación e incrementando las ganancias a largo plazo.

2. ANTECEDENTES

El DOE se ha convertido en una de las herramientas más eficaces para el análisis de elementos en los que influyen uno o más factores, afectando la variable de respuesta. Según Nekouei *et al.* (2016), los métodos modernos que se utilizan en el diseño de experimentos permiten analizar el efecto mutuo de dos o más parámetros que intervienen en la estructura resultante del material, promoviendo su homogenización química. Un material distribuido químicamente de manera igualitaria favorece la creación de piezas duraderas y con condiciones aptas para procesos orgánicos. Hasta la actualidad se han investigado procesos para mejorar las propiedades mecánicas de materiales que son usados en soporte de elementos biológicos, específicamente en procesos de osteosíntesis, buscando soportar las características físicas del ser humano sin dejar de lado el factor de apoyo necesario para el crecimiento y anclaje de las estructuras del cuerpo (Serra *et al.*, 2017).

Por otro lado, para comprender mejor el comportamiento de la variable de salida en diseño de experimentos, se han implementado metodologías que permiten realizar un mejor análisis, más objetivo y con bajo sesgo en los resultados. Un ejemplo son los diseños experimentales factoriales que permiten realizar una selección de factores mayormente relevantes que influyen en la variable de respuesta. En la industria frecuentemente se usa RSM como herramienta para optimizar los parámetros de entrada de un proceso (Saba y Raygan, 2017). De esta manera, RSM se ha utilizado para determinar los mejores tratamientos sobre procesos de modificación de materiales tales como procesos de aleación, forjado, distribución química, temple, resistencia, caracterización, optimización, entre otras (Mohammed, Achara y Liew, 2018; Srivastava, Maheshwari, Kundra y Rathee, 2017; Senthilkumar, Tamaizharasan y Gobikannan, 2014).

El uso de RSM en aceros se ha orientado principalmente a determinar los mejores tratamientos para mejorar sus propiedades mecánicas, tales como dureza, rugosidad y elasticidad, con el fin de darle mayor durabilidad a las piezas forjadas con estos materiales y, finalmente, impactar en los costos de producción de las grandes empresas manufactureras (Saba y Raygan, 2017; Senthilkumar, Tamaizharasan y Gobikannan, 2014; Bagaber y Yusoff, 2017; Bagaber y Yusoff, 2018; Parida, Routara y Bhuyan, 2015). En la actualidad, el titanio se usa debido a su resistencia a la corrosión, su alta resistencia al peso y la resistencia a la fatiga. Algunos estudios con este material han sido orientados a determinar la velocidad de corte, la velocidad de avance, el desgaste del flanco de la herramienta y las vibraciones de la herramienta de corte en la rugosidad de superficie del material. En este caso, la RSM ha contribuido a determinar los valores óptimos de rugosidad media y rugosidad total en que la pieza resiste de la mejor manera las tensiones inducidas (D'Mello y Pai, 2018).

Tratándose del área ingenieril, en diversas ocasiones se genera la necesidad de realizar la optimización de variables de respuesta de manera conjunta o multiobjetivo. Con ello se contemplan diferentes variables de respuesta, otorgándoles una jerarquía subjetiva para realizar un análisis simple y determinar la mejor combinación de tratamientos para una variable transformada. En ese orden de ideas, es muy común el uso de RSM junto con la optimización multiobjetivo, puesto que es necesario determinar las mejores condiciones que permitan lograr los objetivos propuestos (Ye, Yang y Liu, 2018; Koohestanian, Samimi, Mohebbi-Kalhari y Sadeghi, 2017). No obstante, puede que la optimización de un objetivo conlleve al empeoramiento del enésimo objetivo. Como ejemplo, en el sector petrolero es ampliamente utilizada para mejorar los procesos de refinamiento de combustibles y así optimizar el rendimiento de determinados motores (Koohestanian, Samimi, Mohebbi-Kalhari y Sadeghi, 2017; Awad *et al.*, 2017).

Para llevar a cabo la optimización multiobjetivo es necesario implementar una función de normalización para garantizar que las n-respuestas se encuentren bajo un mismo rango y no tengan mayor relevancia las de magnitudes más grandes. Una de las alternativas ha sido generar las ecuaciones de la superficie de respuesta para cada una de las variables de manera independiente y emplear técnicas de optimización multiobjetivo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que lo anterior funciona solo si las variables de respuesta son independientes. En la mayoría de los casos esto no es así y por este motivo se utilizan combinaciones lineales de variables normalizadas o métodos de funciones de deseabilidad. La función de deseabilidad permite normalizar diferentes variables de respuesta en virtud de acotar la respuesta y generar propiedades estadísticas óptimas deseables (Aouici, Bouchelaghem, Yallese, Elbah y Fnides, 2014). En la tabla 2 se muestra un resumen de los estudios más importantes que se han realizado con aceros.

Tabla 2
Antecedentes del proceso de templado y RSM en materiales

Referencia	Factores	Técnica	Población de medición	Variable de respuesta
Sáenz <i>et al.</i> , 2007	Tiempo de envejecimiento	Microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (MEB)	Acero inoxidable dúplex SAF 2507	Tracción, impacto y dureza
Morales, Hormaza, y Méndez, 2009	Temperatura desestabilización	Microscopía óptica con análisis estadístico descriptivo	Aleación del tipo 26Cr2.5Mo	Microestructura y dureza
Posada Ramírez, 2009	Velocidad de corte y avance del corte	Modelo bifactorial	Acero AISI12L14	Dureza

(continúa)

(continuación)

Morales Villamil, 2009	Profundidad de corte, avance y revoluciones del husillo	RSM, regresión estadística, diseño Taguchi	Aluminio SAE 1060, bronce SAE 40 y acero SAE 12L14	Mecanizado
Robledo y Cárdenas, 2011	Temperatura y tiempo de temple y revenido	OFAT: mover un factor a la vez	Acero AISISAE 1045	Microestructura y dureza
Artigas <i>et. al.</i> , 2012	Temperatura austenizado	Análisis metalográficos y ensayos mecánicos.	Acero al CMnSi AWS 70S6	Fluencia, UTS y dureza
Pérez, Olaya y Arenas, 2013	Temperatura de austenizado y revenido	Análisis estadístico descriptivo	Acero AISI 5160H	Microestructura, dureza, tenacidad y tensión
Franco y Harrinson Paz, 2004	Tiempo de austenizado	Análisis de variables con estadística descriptiva	Aceros AISI 1018 y 1025	Dureza
Aouici, Bouchelaghem, Yaltese, Elbah y Fnides, 2014	Velocidad de corte y alimentación, y profundidad de corte	RSM, función de deseabilidad	Acero AISI D3	Rugosidad de la superficie, fuerza de corte, fuerza de corte específica y potencia
Silva Urueña y Castañeda Vargas, 2015	Temperatura	Comparación estadística entre datos teóricos y experimentales	Acero SAE 1045	Tensión, impacto y dureza
Pérez <i>et. al.</i> , 2015	Velocidad de corte	RSM y redes neuronales (NN)	Acero <i>cold rolled</i> 1018	Rugosidad superficial
Ariza, Martorano y Tschiptschin, 2015	Temperatura de austenizado	Método de elementos finitos	Acero AISI/SAE 4340	Tensiones residuales
Soria-Aguilar <i>et. al.</i> , 2015	Temperatura y tiempo de austenizado y revenido	Diseño Taguchi. ANOVA del arreglo Taguchi	Acero API 5CT J55	Dureza y tensión
Parida, Routara y Bhuyan, 2015	Velocidad del husillo, alimentación y diámetro de la broca	RSM, diseño Taguchi ortogonal, ANOVA	Compuesto GFRP	Rugosidad superficial

(continúa)

(continuación)

González Guevara, Manrique Torres y Quiroga Sanchez, 2016	Temperatura austenizado	ANOVA	Acero K 340, AISI A2 y AISI D6	Dureza
Nekouei <i>et al.</i> , 2016	Temperatura y tiempo de austenizado	RSM	Acero 30CrMnSi	Propiedades mecánicas
Rodríguez-Baracaldo, Arroyo-Osorio y Parra-Rodríguez, 2016	Temperatura de revenido	MEB	Acero DP580	Microestructura, dureza y tracción
Lazcano-Ugalde, Méndez-Macías y Medina-Mendoza, 2016	Temperatura y tensión	Análisis estadístico descriptivo	Acero AISI 12L-14	Resistencia a la tensión, límite elástico, elongación y reducción de área
Gómez Barrantes y Romero Pinzón, 2017	Velocidad de corte, del husillo de avance y profundidad	RSM	AISI/SAE 1045	Rugosidad superficial
Gresesqui-Lobaina, Rodríguez-González y Fernández-Columbié, 2017	Tratamiento térmico y revenido	Análisis estadístico descriptivo	Acero AISI 4140	Dureza y peso
Serra, <i>et al.</i> , 2017	Temperatura y tiempo de austenizado	Análisis de microestructura por observación y análisis estadístico descriptivo	Acero AISI 304L y AISI 316L	Microestructura, dureza, tenacidad y tensión
Saba y Raygan, 2017	Duración de la molienda, tamaño de las partículas de polvo fino y grueso y sustrato endurecido y recibido	Difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido (SEM)	Sustrato de acero AISI D2	Espesor del recubrimiento, la microdureza y el número de dureza al rayado

(continúa)

(continuación)

D'Mello, Pai y Puneet, 2018	Velocidad de corte, velocidad de avance, desgaste de la herramienta y vibraciones de la herramienta de corte	Redes neuronales artificiales: Multi Layer Perceptron, Radial Basis Function Neural Network y Summation Wavelet- Extreme Learning Machine	Ti-6Al-4V	Rugosidad aparente y rugosidad total
Lario, Castaño, Viera, Segovia y Amigo, 2018	Temperatura y tiempo de revenido	Microscopia electrónica de barrido de emisión de campo	Nanotubos TiO ₂	Rugosidad superficial

Elaboración propia

En este trabajo se va a analizar la influencia del tratamiento térmico de temple sobre la dureza y la rugosidad del acero 12L-14, teniendo como referencia los métodos de análisis estadísticos empleados en la literatura, como por ejemplo RSM, función multiobjetivo y AHP, con el fin de obtener los límites de temperatura bajo los cuales el acero 12L-14 presenta máxima dureza.

3. METODOLOGÍA

Para poder realizar este experimento se aplica el desarrollo de etapas mostrado en la figura 2, en donde se evidencian las actividades a realizar.

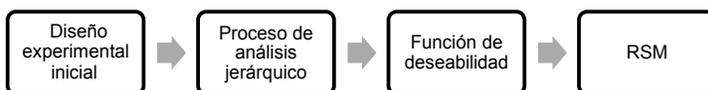


Figura 2. Metodología propuesta

Elaboración propia

3.1. Diseño experimental inicial

Para determinar las condiciones de operación basadas en la temperatura y tiempo de austenizado, que maximiza la dureza del acero y afecta la rugosidad del material, se tomó una muestra de 36 probetas de acero 12L-14, en forma de cilindro de 627,4 mm³ (20 mm de alto por 6,32 mm de diámetro). Se partió de un diseño experimental 3² y posteriormente, con estos resultados, se realizó la superficie de respuesta de primer orden, teniendo como referencia la ecuación de regresión y los respectivos gradientes.

Para la obtención de los valores máximos y mínimos de temperatura de austenizado se tomó el rango de temperaturas sugeridos por el fabricante siendo este desde 820 hasta 850 °C. El rango de tiempo de austenizado fue determinado por la experiencia y conocimiento al trabajar con el material (considerando el espesor y composición química del acero), siendo este de 30 a 50 minutos.

3.2. Proceso de análisis jerárquico

Una de las metodologías propuestas para la solución de problemas multicriterio es el proceso de análisis jerárquico (AHP), el cual evalúa alternativas cuando se tiene más de una variable de respuesta y se fundamenta en la experiencia y el conocimiento de expertos. La ecuación de unificación de variables de respuesta por el método de AHP es:

$$\varphi = w_D \cdot D + w_R \cdot R \quad (1)$$

De acuerdo con Saaty (2008), AHP realiza comparaciones entre pares de elementos para establecer las respectivas prioridades frente al objetivo principal. En este orden de ideas y con base en la experiencia se determinaron las variables que son relevantes al momento de realizar tratamientos de temple. De este análisis se concluyó que los criterios relevantes al tratar un material son: costo, funcionalidad, durabilidad y rigidez. Los resultados de las comparaciones por pares se exponen en las tablas 3 y 4.

Tabla 3
Matriz de comparación de los criterios

Criterio	Costo	Funcionalidad	Durabilidad	Rigidez
Costo	1	1/5	1/6	6
Funcionalidad	5	1	1	7
Durabilidad	6	1	1	7
Rigidez	1/6	1/7	1/7	1

Elaboración propia

Tabla 4
Matriz de prioridad de los criterios

Prioridad de las alternativas	Costo	Funcionalidad	Durabilidad	Rigidez	Resultado
Dureza	0,0204	0,2018	0,3455	0,0211	0,5888
Rugosidad	0,1019	0,2018	0,0864	0,0211	0,4111

Elaboración propia

3.3. Función de deseabilidad

Ya que las variables de respuesta se encuentran bajo diferentes unidades y oscilan en diferentes rangos, es injusto realizar la unificación de las variables sin haber realizado una estandarización previa. Con esto se busca que ambas variables de respuesta oscilen entre 0 y 1 y así, que los pesos W_D y W_R otorgados por el AHP sean los únicos descriptores de la relación entre ellas.

Con base en las normas ISO 4287, DIN 4762, DIN 4768 (*Surface Roughness Testing*) y en los datos experimentales de rugosidad aparente luego de la prueba de temple, el rango de esta variable para métodos de mecanizado individuales está dado entre los grados de rugosidad 0 y 2, es decir, entre 0,0125 y 0,05 .

Con respecto a la dureza, el acero 12L-14 no responde a tratamientos de temple convencionales, por lo que no es posible determinarla mediante temple convencional. Ante esto, los rangos de la variable fueron determinados por la experiencia y conocimiento del experto. De esta manera, la dureza del acero 12L-14 después de un proceso de temple y bajo las condiciones de tiempo preestablecidas se encuentra entre 195 y 290 Vickers.

A partir de los mínimos y máximos de las variables en cuestión se emplea una función de deseabilidad (*Larger-The-Best*), dando lugar a condiciones de operación que proporcionan valores de respuesta más deseables (Costa, Lourenço y Pereira, 2011), dada por:

$$d = \left(\frac{\hat{y} - L}{U - L} \right), L \leq \hat{y} \leq U \quad (II)$$

Donde \hat{y} es la variable de respuesta a normalizar y L y U son el valor mínimo y máximo deseable de la variable de respuesta, respectivamente.

Finalmente, hallada la normalización es posible realizar la unificación de las variables de respuesta reemplazando (II) con los resultados de la tabla 3, de la siguiente manera:

$$\varphi = 0,5888 \cdot \left(\frac{D - 195}{95} \right) + 0,4111 \cdot \left(\frac{R - 0,0125}{0,0375} \right) \quad (III)$$

Donde φ es la variable de respuesta normalizada [0,1] dependiente de la dureza y rugosidad aparente, D es la dureza en Vickers y R es la rugosidad aparente en μm .

4. MÉTODOS Y MATERIALES

Con el fin de recopilar los datos de dureza se siguen los pasos mostrados en la figura 3. Para comprender mejor la manera en la que fue desarrollado, se explica detalladamente cada uno de los apartados a continuación.



Figura 3. Etapas del desarrollo experimental

Elaboración propia

Para la preparación de las probetas se cortó la varilla de acero 12L-14 para la obtención de 18 probetas. Cada una de estas fue limada por su dorso mediante una lima plana bastarda, hasta obtener una superficie plana. Posteriormente, por medio del MP-2B *Grinder Polisher* y una lija n.º 320 se lijó la superficie obtenida de manera horizontal a 175 revoluciones por minuto y luego se pulieron con una lija n.º 600 que giraba con las mismas revoluciones mencionadas.

Con el fin de evitar confusión en las muestras se etiquetaron las probetas de manera aleatoria y se capturaron imágenes de cada una de estas con ayuda del microscopio invertido metalográfico (figura 4). A continuación se procedió con la medición de la rugosidad del material. Para esto se calibró el rugosímetro Mitutoyo SJ210 y se midió dicho parámetro inicial en tres diferentes puntos espaciales para cada una de las muestras; de allí se calculó el valor medio a partir de los valores obtenidos. Luego se obtuvo el valor medio entre las réplicas de las probetas.

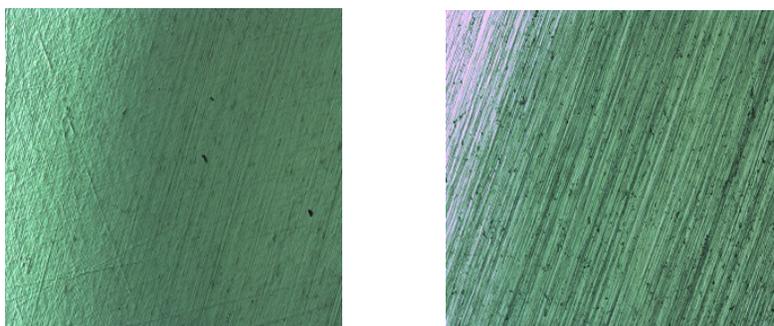


Figura 4. Vista al microscopio de la probeta 1.1 antes del tratamiento térmico (izquierda) y después del tratamiento térmico (derecha)

Elaboración propia

Para la medición de dureza se empleó el microdurómetro HVS1000A (fuerza de 0,981 N y duración de fijación de 10 segundos). Como primera instancia se calibró el dispositivo y posteriormente se midió la dureza inicial en tres puntos espaciales diferentes para cada una de las probetas, obteniendo el valor medio a partir de las tres mediciones. Finalmente se calculó el valor medio entre las réplicas de las probetas.

Para el tratamiento térmico se deben introducir las probetas al horno durante un tiempo determinado a una temperatura específica e invariante. Posteriormente es necesario retirar las probetas del horno y rápidamente bajar la temperatura sumergiéndolas en aceite. Ya que este experimento contempla diferentes mediciones variando los dos factores, es necesario replicar los tratamientos de tal forma que se contemple la realización de todas las combinaciones con el procedimiento previamente descrito. En este caso se utilizó el horno Borel KP 11001 a una temperatura de austenizado de 820 °C durante treinta minutos. Luego se ubicaron dos nuevas probetas durante cuarenta minutos y, finalmente, se introdujeron las últimas dos probetas para esta temperatura durante un tiempo de cincuenta minutos. Esto para cada una de las dos temperaturas restantes.

Por último, por medio de la pulidora industrial se pulieron las probetas nuevamente con una lija n.º 600 sobre su dorso plano para eliminar las partículas de óxido originadas por el tratamiento térmico. Seguidamente, se limpiaron y se tomaron los datos referentes a dureza y rugosidad en tres puntos espaciales diferentes de las muestras.

5. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

A continuación se describen de manera general los pasos realizados para poder obtener una función matemática que permita establecer la relación existente entre las variables de respuesta y los factores de entrada.

Experimento inicial: recolección inicial de datos experimentales con el propósito de estimar el efecto que los factores tienen sobre las variables de respuesta. En este caso se suelen utilizar diseños con baja granularidad de exploración pues solo se desea conocer una estimación lineal de la superficie de respuesta.

Exploración de la región de búsqueda: una vez que se haya estimado una relación lineal, usualmente a partir de una regresión por mínimos cuadrados, se procede a una exploración del espacio de búsqueda, realizando variaciones en los valores de los factores. En primer lugar, con esto se busca optimizar la variable de respuesta con cada una de las variaciones sucesivas de los factores y también tiene como propósito encontrar zonas de curvatura, donde es necesario utilizar diseños factoriales de mayor orden para analizar posibles efectos no lineales. En este caso se agregan puntos axiales que permitan estimar de forma eficiente efectos de curvatura.

Obtención de los valores óptimos de los niveles de los factores: una vez que se haya estimado una ecuación de regresión con componentes polinomiales, se procede a utilizar algoritmos de optimización no lineal que permitan encontrar los valores del factor temperatura y del factor tiempo que maximicen la dureza.

Experimento de verificación: para garantizar que los resultados han sido obtenidos de manera adecuada es necesario realizar una medición experimental adicional en los

puntos considerados óptimos para garantizar que la dureza sea mayor a las encontradas previamente.

6. RESULTADOS

El experimento inicial fue un 3^k con el fin único de medir el efecto de los factores a partir de un análisis de varianza ANOVA. Si bien en estas situaciones usualmente se utiliza tan solo un diseño 2^k , se contó con la oportunidad de tomar más mediciones con el fin de obtener una mejor estimación de su relación lineal.

Inicialmente se tomaron los valores de dureza y rugosidad cuando las probetas no habían sido sometidas al proceso de temple. Teniendo dichos datos se realizó el tratamiento térmico.

Después de limpiar y lijar las probetas se tomaron nuevamente los datos correspondientes a las variables de respuesta con el fin de analizar su variación respecto a los parámetros que se modificaron durante el tratamiento térmico (tabla 5).

Posteriormente se determinó la ecuación de regresión a partir de mínimos cuadrados.

$$y = \eta + \varepsilon = f(x_1, x_2) + \varepsilon \quad (IV)$$

Donde η es la función de rendimiento, que está en función del tiempo de austenizado (x_1) y de la temperatura de austenizado (x_2), y ε es el error observado en las variables de respuesta.

Después del análisis de varianza se obtuvieron *p-values* de 0,236, 0,300, 0,099 y 0,158, referentes al intercepto, tiempo de austenizado, temperatura de austenizado y ecuación de regresión, respectivamente. Esto indica que, usando como referencia un nivel de confianza del 95 %, ninguno de los factores evaluados fue significativo estadísticamente. A partir de estos resultados y con el fin de analizar por qué los factores no son significativos, se realizó la regresión para cada variable de respuesta, sin tener presente el proceso de análisis jerárquico ni la función de deseabilidad (tabla 6).

De acuerdo con lo anterior se evidencia que al tener en cuenta la dureza como variable de respuesta, tanto el tiempo como la temperatura de austenizado son significativos. En contraste, cuando la variable de respuesta se basa en la rugosidad, ni el tiempo ni la temperatura de austenizado son significativos. Por ende, cuando se analiza la regresión de la variable de respuesta ponderada a partir de AHP, esta no es significativa. Teniendo en cuenta lo anterior se infiere que para los rangos medidos los factores tiempo y temperatura de austenizado no están relacionados con la rugosidad.

Tabla 5
Configuración del diseño experimental inicial 3²

Prueba	Medidas iniciales				Factores del proceso				Variables de respuesta			
	Dureza [Vickers]	Rugosidad [μm]	Variables naturales		Variables codificadas		Número de probetas	Dureza [Vickers]	Rugosidad [μm]	Dureza normalizada [Vickers]	Rugosidad normalizada [μm]	AHP
			Tiempo de austenizado [min]	Temperatura de austenizado [$^{\circ}\text{C}$]	Tiempo de austenizado [min]	Temperatura de austenizado [$^{\circ}\text{C}$]						
1	165,7167	0,0253	30	820	-1	-1	2	254,2554	0,0327	0,6237	0,5391	0,588
2	199,383	0,0358	40	820	0	-1	2	261,5337	0,0362	0,7004	0,6324	0,67
3	199,1667	0,0312	50	820	1	-1	2	259,7875	0,0330	0,6820	0,5457	0,62
4	186,0167	0,0300	30	835	-1	0	2	260,6203	0,0355	0,6907	0,6143	0,65
5	194,7333	0,0315	40	835	0	0	2	267,5201	0,0385	0,7634	0,6946	0,73
6	187,3167	0,0275	50	835	1	0	2	267,6534	0,0362	0,7648	0,6318	0,71
7	199,7167	0,0260	30	850	-1	1	2	262,3887	0,0356	0,7094	0,6164	0,67
8	197,6500	0,0275	40	850	0	1	2	269,3704	0,0384	0,7828	0,6901	0,74
9	198,5000	0,0245	50	850	1	1	2	268,9929	0,0347	0,7789	0,5932	0,70

Elaboración propia

Tabla 6
Resultados de la regresión para cada una de las variables de respuesta

Variable de respuesta	Factor	Estimado	Error estándar	Valor T	Pr (> t)	p-value regresión
Dureza	Intercepto	41,1471	71,0924	0,5790	0,5838	
	Tiempo de austenizado	0,3195	0,1300	2,4590	0,0492	0,0240
	Temperatura de austenizado	0,2516	0,0851	2,9570	0,0254	
Rugosidad	Intercepto	-1,54E-02	4,80E-02	-0,3210	0,7590	
	Tiempo de austenizado	1,67E-06	8,772E-05	0,0190	0,9850	0,5944
	Temperatura de austenizado	6,12E-05	5,74E-05	1,0660	0,3280	
Dureza + rugosidad	Intercepto	-1,2615	0,9580	-1,3170	0,2360	
	Tiempo de austenizado	0,0020	0,0018	1,1340	0,3002	0,1588
	Temperatura de austenizado	0,0022	0,0011	1,9480	0,0993	

Elaboración propia

Por lo tanto, teniendo en cuenta el protocolo del diseño de experimentos realizado, donde el tiempo inicial para las probetas dentro del horno fue corto (menos de diez minutos) y, de acuerdo con la regresión realizada para cada variable por separado, se puede concluir que solo la dureza obtiene valores significativos en tiempo y temperatura. Por este motivo el presente documento se fundamentará sobre la variable dureza. Así se realiza un análisis de la estadística descriptiva de los datos a partir de los valores encontrados. En la figura 5 se pueden ver los diagramas de caja para cada factor.

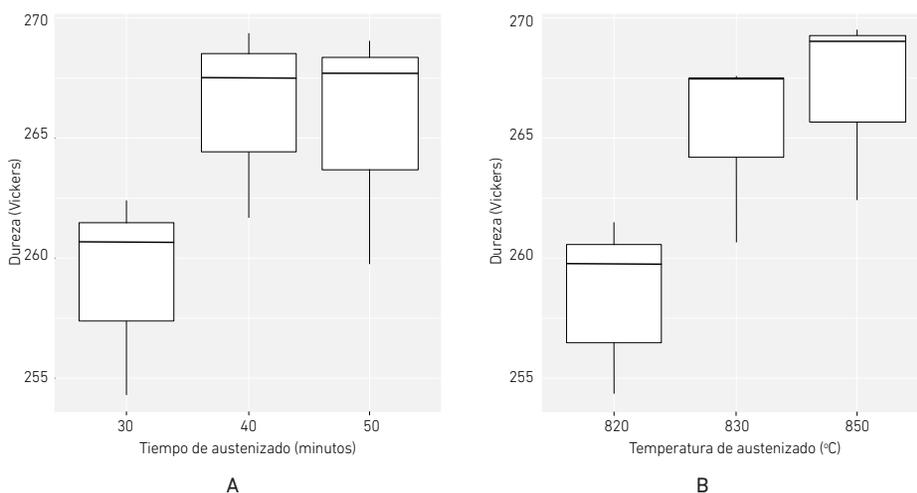


Figura 5. Diagrama de cajas de los factores según la variable de respuesta. A: tiempo de austenizado y B: temperatura de austenizado

Elaboración propia

La normalidad de los residuos fue verificada a través de la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling ($p > 0.05$); la independencia de los residuos fue verificada a través de un gráfico de tendencia y una prueba de rachas ($p > 0.05$). El análisis de varianza se presenta en la tabla 7. Como referencia se usó un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 7
ANOVA de los datos de dureza postemple

Factor	SC	CM	DF	Valor F	Pr (> F)
Tiempo de austenizado	91,0183	45,5092	2	172,5794	0,0001
Temperatura de austenizado	118,5689	59,2845	2	224,818	0,0001
Residual	1,0546	0,2637	4		

Elaboración propia

Y su ecuación de regresión está dada por:

$$y = 17.218 + 0,25x_1 + 0,1968x_2 \quad (V)$$

Según el ANOVA, el valor del coeficiente $R^2 = 99\%$ muestra el buen ajuste del modelo lineal, indicando que en esta región de exploración inicial no se requieren estimaciones de efectos polinómicos. Para la fase de exploración de la región de búsqueda se implementó el algoritmo de gradiente descendiente. Para definir la variable que guiará el tamaño del paso de la trayectoria se eligió la variable del proceso cuyo coeficiente de regresión absoluto fue mayor. En este sentido, el mayor coeficiente corresponde al factor de tiempo de austenizado, por lo que se determinó que gradiente de x_1 igual a $\Delta x_1 = 0,25$. Con ello, el gradiente para x_2 estuvo dado por $\Delta x_2 = 0,1968$, por lo que estos gradientes en unidades naturales de tiempo y temperatura de austenizado fueron $\Delta \xi_1 = 2,5 \text{ min}$ y $\Delta \xi_2 \approx 3 \text{ }^\circ\text{C}$. Tomando el punto correspondiente a 0,0, y un tamaño de paso de 1,0 se realizan experimentos individuales adicionales, incrementando las variables en los pasos previamente enunciados (tabla 8 y figura 6).

Se observó que el tercer punto representaba el valor máximo de la trayectoria de experimentación por lo que se actualizó el nuevo punto central (0,0) al punto 47,5, 844 y la región de experimentación para ξ_1 fue de 45 a 50 minutos y para ξ_2 fue de 841 a 847 $^\circ\text{C}$, obteniendo los datos mostrados en la tabla 9. En este caso, resulta evidente que cerca de este punto se forma una curvatura, por lo que es necesario generar puntos axiales adicionales que permitan estimarla. En este experimento se generaron los puntos axiales con α .

Tabla 8
Trayectoria de experimentación

	Variables				Dureza
	Codificadas		Naturales		
	x_1	x_2	ξ_1	ξ_2	
Origen	0	0	40	835	–
Δ	0,25	0,1968	2,5	3	–
Orig. + Δ	0,25	0,1968	42,5	838	268,8353
Orig. + 2 Δ	0,5	0,3936	45	841	269,9515
Orig. + 3 Δ	0,75	0,5904	47,5	844	272,1383
Orig. + 4 Δ	1	0,7872	50	847	268,9122
Orig. + 5 Δ	1,25	0,984	52,5	850	266,7368

Elaboración propia

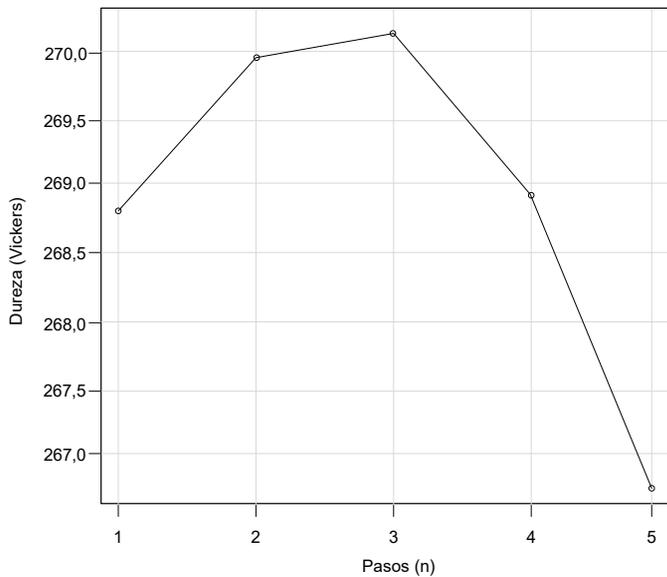


Figura 6. Gráfica de la dureza contra los pasos de la trayectoria de ascenso más pronunciado

Elaboración propia

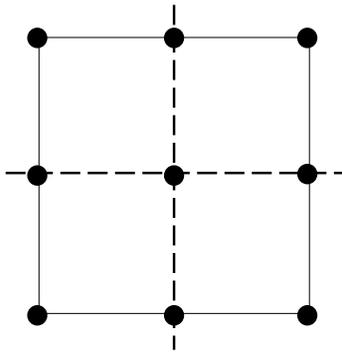


Figura 7. Esquema de los puntos axiales agregados con $\alpha = 1$

Elaboración propia

En la tabla 9 se presentan las mediciones obtenidas y en la tabla 10 los resultados del análisis de varianza. La normalidad de los residuos fue verificada a través de un QQ-Plot, la independencia de los residuos fue verificada a través de un gráfico de tendencia.

Tabla 9

Diseño factorial 3^2 con base en la trayectoria de experimentación

Prueba	Factores del proceso				Variable de respuesta
	Variables naturales		Variables codificadas		
	Tiempo de austenizado (minutos)	Temperatura de austenizado (°C)	Tiempo de austenizado (minutos)	Temperatura de austenizado (°C)	
1	45	841	-1	-1	269,3354
2	47,5	841	0	-1	269,2105
3	50	841	1	-1	268,1808
4	45	844	-1	0	272,0578
5	47,5	844	0	0	271,7229
6	50	844	1	0	268,6224
7	45	847	-1	1	269,6854
8	47,5	847	0	1	270,2398
9	50	847	1	1	268,9846

Elaboración propia

Tabla 10

Resultados de la regresión de segundo orden según la trayectoria de experimentación

Variable de respuesta	Factor	Pr (> t)
Dureza	Intercepto	0,0056
	Tiempo de austenizado	0,3798
	Temperatura de austenizado	0,0057
	Tiempo de austenizado ²	0,0017
	Temperatura de austenizado ²	0,0057
	Tiempo de austenizado, temperatura de austenizado	0,3669

Elaboración propia

En la ecuación de regresión, para garantizar la jerarquía se decidió conservar el término lineal asociado al tiempo de austenizado. La ecuación de regresión de segundo orden está dada por:

$$y = -609648 + 29.76x_1 + 476.7x_2 - 0.6173x_1^2 - 0.2826x_2^2 \quad (VI)$$

De igual manera, se presenta la gráfica de la superficie de respuesta (figura 8).

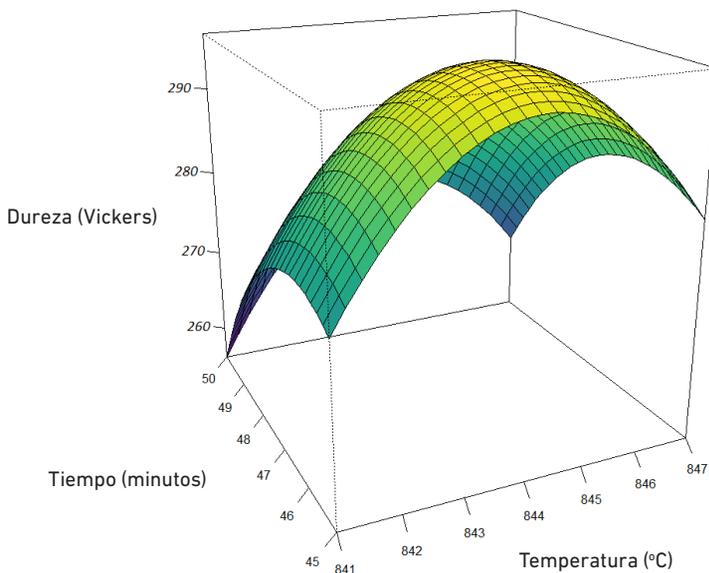


Figura 8. Superficie de respuesta

Elaboración propia

A partir de la regresión, la cual obtuvo un p -value igual a 0,0007 y un valor R^2 ajustado correspondiente a 0,9903, se determinó la ecuación polinómica que permite establecer la relación entre la dureza, la temperatura y tiempo de austenizado. De acuerdo con esto y teniendo como referencia las restricciones del proceso para ambos factores, se determinó que, con un tiempo de 48,61 minutos y 846,49 °C, se obtiene la máxima dureza referente a 284,69 Vickers.

Con el fin de constatar de manera práctica este resultado, se realizó el proceso de temple a tres probetas bajo un tiempo de 48,61 minutos y 846,49 °C debido a la resolución del horno (tabla 11).

Tabla 11
Resultados del experimento confirmatorio

Probeta	Factores del proceso		Variable de respuesta	Predicción del modelo de regresión
	Tiempo de austenizado [minutos]	Temperatura de austenizado (°C)	Dureza (Vickers)	Dureza (Vickers)
1	48,61	846,0	285,3900	276,587
2	48,61	846,0	284,2968	276,587
3	48,61	846,0	285,1922	276,587

Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos en el experimento confirmatorio y teniendo como referencia una media de dureza de 284,9597 Vickers, se infiere que el punto de inflexión que maximiza la dureza fue hallado satisfactoriamente.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según el experimento realizado, la dureza sí tiene relación con el factor temperatura y tiempo de austenizado, mientras que la rugosidad no. Con estos resultados se ajustó una superficie de respuesta para la dureza en función de estas dos variables, encontrando que la máxima dureza estimada se consigue al momento de usar un tiempo de austenizado de 48,61 minutos y una temperatura de 846 °C, logrando una dureza promedio de 284,95 Vickers. A un tiempo mayor la dureza disminuye, haciendo que el material sea débil y ya no funcione de manera adecuada porque se fractura con mayor facilidad.

Adicionalmente, por la diferencia que se presenta entre la predicción de la dureza y el valor observado en el experimento confirmatorio, se recomienda agregar más puntos

axiales que permitan estimar otro tipo de curvatura que puede ajustarse mejor a la naturaleza de la dureza.

La metodología de AHP permitió analizar de manera conjunta las dos variables de respuesta. Sin embargo, al no ser significativa, no pudo usarse para desarrollar la metodología de superficie de respuesta. Para futuras investigaciones se recomienda probar otras variables adicionales que puedan tener relación con la dureza y la rugosidad.

REFERENCIAS

- Aouici, H., Bouchelaghem, H., Yallese, M., Elbah, M. y Fnides, B. (2014). Machinability investigation in hard turning of AISI D3 cold work steel with ceramic tool using response surface methodology. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 73(9-12), pp. 1775-1788.
- Ariza, E. A., Martorano, M. A. y Tschiptschin, A. P. (2015). Esfuerzos residuales generados en el tratamiento térmico de temple para un cilindro de acero de medio carbono, simulación por elementos finitos y verificación experimental. *La Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* 35(1), pp. 55-64.
- Artigas, A., Colás, R., Toledo, S., Barra, F., Pizarro, F., Carvajal, L. y Monsalve, A. (2012). Producción en laboratorio de acero dual phase laminado en caliente, para la fabricación de cilindros de gas licuado. *La Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* 32(2), pp. 202-209.
- Awad, O. I., Mamat, R., Ali, O. M., Azmi, W. H., Kadirgama, K., Yusri, I. M., ... Yusaf, T. (2017). Response surface methodology (RSM) based multi-objective optimization of fuel oil-gasoline blends at different water content in SI engine. *Energy Conversion and Management* 150, pp. 222-241.
- Bagaber, S.A. y Yusoff, A. R. (2017). Multi-objective optimization of cutting parameters to minimize power consumption in dry turning of stainless steel 316. *Journal of Cleaner Production* 157, pp. 30-46.
- Bagaber, S. A. y Yusoff, A. R. (2018). Sustainable Optimization of Dry Turning of Stainless Steel based on Energy Consumption and Machining Cost. *Procedia CIRP* 77, pp. 397-400.
- Caballero, S.N. y Figueroa, C. G. (1999). Medios de enfriamiento para el temple. *Ingeniería Mecánica* 2(2), pp. 63-66.
- Costa, N. R., Lourenço, J. y Pereira, Z. L. (2011). Desirability function approach: A review and performance evaluation in adverse conditions. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 107, pp. 234-244.

- De Almeida, F. A., Gomes, G. F., De Paula, V. R., Corrêa, J. E., De Paiva, A. P., De Freitas, J. H. y Turrioni, J. B. (2018). A Weighted Mean Square Error Approach to the Robust Optimization of the Surface Roughness in an AISI 12L14 Free-Machining Steel-Turning Process. *Journal of Mechanical Engineering* 64(3), pp. 147–156.
- D'Mello, G. D. y Pai, P. S. (2018). Surface roughness modeling in high speed turning of ti-6Al-4V using response surface methodology. *Materials Today: Proceedings* 5(5), pp. 11686–11696. doi: 10.1016/j.matpr.2018.02.138
- D'Mello, G., Pai, P. S. y Puneet, N. P. (2018). Surface Roughness Prediction in High Speed Turning of Ti6Al-4V: A Comparison of Techniques. *Materials Science and Engineering* 376, pp. 1-10. doi: 10.1088/1757-899X/376/1/012115
- Franco, F. y Harrinson Paz, J. (2004). Tratamiento Térmico de Aceros de Bajo Carbono en Horno de Atmósfera Controlada. *Ingeniería y Competitividad* 6(2), pp. 56–63.
- Gómez Barrantes, C. F. y Romero Pinzón, H. F. (2017). Optimización de la rugosidad superficial en acero AISI 1045 utilizando el método de superficie de respuesta. (Tesis de pregrado). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- González Guevara, J. M., Manrique Torres, M. R. y Quiroga Sanchez, A. M. (2016). Diseño de un proceso de tratamiento térmico para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de una herramienta de acero de conformado en frío. (Tesis de pregrado). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Gordillo, M., Rodríguez, E. D. y de Gutiérrez, R. M. (2014). Optimización de la resistencia mecánica de cementos binarios MK/GBFS activados alcalinamente por Metodología de Superficie de Respuesta. *Ingeniería y Ciencia* 10(19), pp. 197–220.
- Gresesqui-Lobaina, E., Rodríguez-González, I. y Fernández-Columbié, T. (2017). Caracterización del acero 70XL empleado en la fabricación de bolas para la molienda del Clinker. *Minería y Geología* 33(4), pp. 486–497.
- Kalpakjian, S. y Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Educación.
- Koohestanian, E., Samimi, A., Mohebbi-Kalhari, D. y Sadeghi, J. (2017). Sensitivity analysis and multi-objective optimization of CO2CPU process using response surface methodology. *Energy* 122, pp. 570-578. doi: 10.1016/j.energy.2017.01.129
- Lario, J., Castaño, O., Viera, M., Segovia, F. y Amigo, V. (2018). Efecto de un tratamiento térmico sobre la composición química y morfología de nanotubos de TiO2 obtenidos por anodizado. *La Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* 38(1), pp. 100–109.
- Lazcano-Ugalde, E. M., Méndez-Macías, G. y Medina-Mendoza, J. (2016) Análisis de falla de pernos de acero AISI 12L14. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería* 3(6), pp. 1-7.

- Mohammed, B. S., Achara, B. E. y Liew, M. S. (2018). The influence of high temperature on microstructural damage and residual properties of nano-silica-modified (NS-modified) self-consolidating engineering cementitious composites (SC-ECC) using response surface methodology (RSM). *Construction and Building Materials* 192, pp. 450-466.
- Morales, I., Hormaza, W. y Méndez, L. (2009). Efecto del tratamiento térmico de desestabilización en el desgaste de hierros blancos de alto cromo. *Revista de Ingeniería* 30, pp. 41-48.
- Morales Tamayo, Y., Pérez Rodríguez, R., Zambrano Robledo, P., Ávila Rondón, R. y Zamora Hernández, Y. (2014). Estudio experimental de la rugosidad superficial en el torneado en seco de alta velocidad del acero AISI 316L destinado a la agroindustria alimenticia. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 23(3), pp. 54-59.
- Morales Villamil, D. A. (2009). Determinación de parámetros para la operación de cilindrado de acero SAE12L 14, bronce SAE40 y aluminio SAE 1060 en el torno PC Turn 125 por medio de una metodología experimental. (Tesis de pregrado). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Nekouei, R., Akhaghi, R., Ravanbakhsh, A., Tahmasebi, R., Moghaddam, A. y Mahrouei, M. (2016). A Study of the Effect of Two-Stage Tempering on Mechanical Properties of Steel 30CrMnSi Using Analysis on Response Surface in Design of Experiment. *Metal Science & Heat Treatment* 57(11-12), pp. 694-701.
- Paredes, Y. (2016). Uso de la metodología de superficie de respuesta en la definición de parámetros que permitan mejorar la dureza del acero 12L14 a través de cementado. (Tesis de pregrado). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Parida, A. K., Routara, B. C. y Bhuyan, R. K. (2015). Surface roughness model and parametric optimization in machining of GFRP composite: Taguchi and Response surface methodology approach. *Materials Today: Proceedings* 2(4-5), pp. 3065-3074.
- Pérez Ruiz, E. A., Galeano Perilla, A.C. y Negrín Hernández, L.L (2016). Evaluación de la dureza y microestructura del acero 1045 templado en sustancias refrigerantes no tradicionales. *Scientia et Technica* 21(3), pp. 213-218.
- Pérez, W., Olaya, J. J. y Arenas, J. A. (2013). Influencia de las condiciones del tratamiento térmico sobre las propiedades mecánicas del acero 5160H. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia* 36(1), pp. 23-31.
- Posada Ramírez, J. E. (2009). Evaluación de la integridad superficial del acero AISI-12L14 para maquinaria, sometido a procesos de maquinado. (Tesis doctoral). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- Raissi, S. y Eslami Farsani, R. (2009). Statistical Process Optimization Through Multi-Response Surface Methodology. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation* 3(3), pp. 197-201.
- Robledo, D. M. y Cárdenas, A. O. (2011). Evaluación de los parámetros de temple y revenido para el acero AISI/SAE1045 a escala industrial. *Scientia et Technica* 3(49), pp. 25-29.
- Rodríguez-Baracaldo, R., Arroyo-Osorio, J. M. y Parra-Rodríguez, Y. (2016). Influencia del proceso de revenido en el comportamiento mecánico de un acero de fase dual de uso industrial automotriz. *INGENIARE, Revista Chilena de Ingeniería* 24(1), pp. 94-101.
- Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1(1), pp. 83-98.
- Saba, F. y Raygan, S. (2017). Application of response surface methodology for modelling of TiC coating on AISI D2 steel using a mechanical milling technique. *Powder Metallurgy* 60(4), pp. 280-292.
- Sáenz, P. L. A., Hilders, O. A., Hergueta, R. D. y Zabala, E. A. (2007). Estudio de un acero inoxidable dúplex saf 2507 sometido a un tratamiento térmico de envejecimiento a una temperatura de 850 °C por tiempos entre 1 hora y 48 horas. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela* 3, p. 21.
- Senthilkumar, N., Tamizharasan, T. y Gobikannan, S. (2014). Application of Response Surface Methodology and Firefly Algorithm for Optimizing Multiple Responses in Turning AISI 1045 Steel. *Arabian Journal for Science & Engineering* 39(11), pp. 8015-8030.
- Serra, J. C., Bernasconi, G., Lagrutta, J. M., Bergesio, A., Negreira, A. y Mendoza, S. M. (2017). Evaluación De Tratamientos Térmicos en Aceros Comerciales Aisi 304L Y Aisi 316L Para Implantes Óseos. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica* 21(1), pp. 23-30.
- Silva Urueña, J. y Castañeda Vargas, J. F. (2015). *Influencia del Tiempo de Revenido en las Propiedades Mecánicas de Dureza y Resistencia a la Tensión de un Acero SAE 1045*. (Tesis de pregrado). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
- Soria-Aguilar, M. J., Reyes-Guzmán, F., Carrillo-Pedroza, F. R., García-Garza, F., Álvarez-Jiménez, H. y Silva-Guajardo, L. A. (2015). Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades mecánicas y microestructura de un acero para tubería API 5CT J55. *Ingeniería, Investigación y Tecnología* 16(4), pp. 539-550.

- Srivastava, M., Maheshwari, S., Kundra, T. y Rathee, S. (2017). Multi-Response Optimization of Fused Deposition Modelling Process Parameters of ABS Using Response Surface Methodology (RSM)-Based Desirability Analysis. *Materials Today: Proceedings* 4(2), pp. 1972–1977.
- Yaguas, O. J. (2017). Metodología de superficie de respuesta para la optimización de una producción agrícola. *Ingeniería Industrial* 16(2), pp. 205–222.
- Ye, W., Yang, P. y Liu, Y. (2018). Multi-objective thermodynamic optimization of a free piston Stirling engine using response surface methodology. *Energy Conversion and Management* 176, pp. 147–163.

**INGENIERÍA
DE NEGOCIOS**

Business Engineering

AGROINDUSTRIA DE LA QUINUA A PARTIR DE LAS VARIEDADES SALCEDO INIA, ROSADA DE TARACO Y CANCELLO EN LA MANCOMUNIDAD MUNICIPAL QHAPAQ QOLLA, PUNO, 2016

RUBÉN WILFREDO JILAPA HUMPIRI*
Universidad Nacional de Juliaca

Recibido: 2 de mayo del 2018 / Aprobado: 6 de noviembre del 2018
doi: 10.26439/ing.ind2019.n037.4547

RESUMEN: El trabajo del desarrollo agroindustrial de la quinua se basa en las siguientes variables: producto transformado, nivel de procesamiento, variedades de la materia prima y procedencia de la materia prima. La metodología consta de dos etapas: la elaboración y caracterización de los productos (panecillos, cremas y pizza) con niveles de sustitución de las variedades de quinua Salcedo INIA, rosada de Taraco y Cancolla. Los niveles de procesamiento óptimos corresponden al II y el III.

Palabras clave: agroindustria / harina de quinua / quinua-producción y comercio / quinua-variedades / quinua-nutrientes / Puno-Perú

AGRO-INDUSTRY OF QUINOA VARIETIES (SALCEDO INIA, ROSADA DE TARACO AND CANCELLO) IN THE MUNICIPAL ASSOCIATION QHAPAQ QOLLA, PUNO, 2016

ABSTRACT: The agro-industrial development of quinoa is based on the following variables: processed product, processing level, raw material varieties and raw material origin. The methodology consists of two stages: elaboration and characterization of the products (rolls, creams and pizza) with substitution levels of the varieties Salcedo INIA, Rosada de Taraco and Cancolla. The optimal processing corresponds to levels II and III.

Keywords: agro-industry / quinoa flour / quinoa production and trade / quinoa varieties / quinoa nutrients / Puno-Peru

* ceturqap@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de desarrollo de la agroindustria andina con base en recursos potenciales como la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) se encuentra en una etapa emergente. Aunque hay avances mínimos, en el territorio de origen de la quinua no se han desarrollado tecnologías adecuadas al contexto, fundamentalmente con el propósito de fomentar el consumo de los granos andinos y principalmente la generación de alternativas de transformación con un valor agregado.

El uso y aplicación de la quinua en la industria y la gastronomía han permitido su incorporación como un alimento completo y de calidad para la nutrición.

El presente estudio se basa en el dimensionamiento de las variedades de quinua (Salcedo INIA, Rosada de Taraco y Cancolla; todas de color blanco crema) para su aplicación en determinados productos, considerando que poseen divergencias fisicoquímicas.

En los mercados no se comercializa por variedades; sin embargo, en el estudio las variedades se han aplicado en las formulaciones para la obtención de subproductos como panecillos de quinua, crema de quinua y pizza a base de almidón de quinua. Estos productos fueron elaborados con el fin de evaluar y caracterizar la aplicación de las variedades en su procesamiento.

El estudio muestra las posibilidades de emprender un desarrollo agroindustrial con las variedades óptimas para su uso y aplicación en el ámbito rural, como posibilidad de garantizar la seguridad alimentaria y así contribuir con la adecuada nutrición de las personas.

2. ANTECEDENTES

2.1 La quinua y sus posibilidades alimentarias

El altiplano peruano se ha constituido en uno de los centros de producción de mayor importancia de quinua. Hay un gran número de estudios basados en la ciencia de los granos andinos. Se ha demostrado que la quinua tiene propiedades nutraceuticas, razón por la cual existe una demanda en los principales mercados nacionales e internacionales.

Durante mucho tiempo la quinua se ha consumido en los sectores rurales del altiplano. Hoy en día la producción se ha incrementado y es comercializada en mercados nacionales e internacionales.

Aunque las familias que producen quinua han desarrollado subproductos, es pertinente iniciar un proceso de innovación para el uso de este recurso (Ballón y Vera, 1984).

Tabla 1
Elaboración de productos alimentarios ancestrales de quinua

Preparado	Tipo de alimento	
Sopas y segundos	Sopa de quinua	Mazamorra
	Lawa (allpi)	Phiri
	Huaricha	Phisara (graneado)
	Juchacha	P'esque huracha
	Chiwa de quinua	P'esque con leche
	P'esque con ahogado	P'esque con queso
	Chiwa de quinua	
Masas	Kispiña	Kispiña de ajara
	Mucuna	K'api kispiña
	Buñuelos	Acu kispiña
	Pan	Jupha t'anta
	Galletas	Buñuelos de quinua
	Kispiña de ajara	Kaswira de quinua
	Tortas de quinua	Queque de quinua
	Tortillas de quinua	Turucha kispiña
	Tacti o tactacho	Quichi quispiña
	Mululsito quispiña	
Bebidas	Refresco (ullpu)	Quinua con leche
	Q'usa (chicha)	Jugo de quinua
	Api	
Merienda seca	Pito de quinua	

Fuente: Flores, Tapia y Ticona, 2008

2.2 Rentabilidad productiva de los granos andinos

El Perú es uno de los primeros países que reporta una considerable producción de quinua; su mayor producción proviene de la región Puno, zona con un gran potencial agroalimentario gracias a sus condiciones agroecológicas, así como a su biodiversidad y al conocimiento ancestral de su población sobre el uso de la flora y la fauna nativas. Estas características le dan ventajas comparativas para la producción de los granos andinos, especialmente la quinua.

Tomando como antecedentes los diversos procesos de preparación, es posible iniciar el desarrollo de la agroindustria de la quinua; desde su aplicación en un determinado producto, como es el caso del estudio de la rentabilidad productiva de la cadena productiva de la quinua en la región Puno, Perú. Se busca fomentar su desarrollo innovando procesos y productos a partir de la quinua, y buscando la anhelada sostenibilidad para los involucrados en la cadena productiva de la quinua (Jilapa Humpiri, 2008).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluación del proceso de desarrollo agroindustrial de la quinua a partir de las variedades (Salcedo INIA, rosada de Taraco y Cancolla) en la Mancomunidad Municipal Qhapaq Qolla.

3.2 Objetivos específicos

Elaborar panecillos, cremas y pizza con niveles de sustitución óptimos de quinua de las variedades Salcedo INIA, rosada de Taraco y Cancolla.

Caracterizar los productos elaborados con niveles de sustitución de quinua y establecer su calidad diferenciada para cada una de las tres variedades.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Identificación y descripción de la quinua

La quinua es un grano andino de la familia Quenopodiáceas; una especie cultivada y domesticada desde tiempos prehispánicos en la cuenca del Lago Titicaca, donde existe la mayor diversidad biológica de este cultivo.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han calificado a la quinua como un alimento único por su altísimo valor nutricional, que permite sustituir las proteínas de origen animal, y por su contenido balanceado en proteínas y nutrientes, más cercano al ideal para el ser humano que cualquier otro alimento (FAO, 2004).

Tabla 2

Características alimenticias de la quinua (%) (valor nutritivo promedio por cada 100 g)

Grano	Proteína	Grasa	Fibra	Carbohidratos
Quinua	12,6-17,8	6,6-8,5	3,5-9,7	54,3-73
Trigo	8,6	1,5	3	73,7
Arroz	9,9	1,6	0,7	74,2
Maíz	9,2	3,8	9,2	65,2

Fuente: Mesa de Trabajo Producto Quinua (MTPQ), 2015

La biodiversidad ha contribuido de manera positiva a los programas de fitomejoramiento que han permitido generar variedades comerciales de amplia adaptación, con una producción superior a los 1200 kg/ha, con calidad de granos adecuada para

la transformación y comercialización (Salcedo INIA, blanca de Juli, Cancolla, Tahuaco, Chehueca, Pasancalla, entre otras variedades) (Mujica, 1993).

La variedad real solamente es producida en Bolivia, en los departamentos de Oruro y Potosí, en los alrededores de los salares de Uyuni y Coypaza, tierras y salares que contienen una contextura apropiada para la producción de la quinua real (Soto y Pinto, 2006).

4.2 Importancia de la quinua

La quinua contiene mayor contenido de minerales que los cereales y gramíneas (fósforo, potasio, magnesio y calcio), entre otros que son esenciales para el desarrollo físico e intelectual. Contiene también algunas vitaminas.

Los estudios también demuestran que las hojas de la quinua son un gran alimento como verdura, tanto hervida como en ensalada. El contenido de proteínas es superior al de algunas hortalizas de uso diario (Mujica, 1993).

4.3 Aspectos nutricionales

Existen alimentos con un alto contenido de proteínas como la soya y el maíz, pero la quinua supera el contenido de proteínas a muchos alimentos de consumo masivo (trigo, arroz, maíz y cebada) y es comparable con algunos de origen animal como la leche, los huevos y el pescado.

Desde el punto de vista nutricional y alimentario, la quinua es una fuente natural de proteína vegetal económica y de alto valor nutritivo por la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales. Proteína de calidad: contiene alta proporción de aminoácidos con un alto contenido de lisina y mayor proporción de embrión (FAO, 2004).

Es el único alimento de origen vegetal con un balance ideal de aminoácidos. Entre sus 21 aminoácidos resalta la lisina que juega un papel muy importante en el desarrollo físico e intelectual, y la metionina, de gran importancia para la metabolización de la insulina. La composición de los aminoácidos esenciales le confiere un valor biológico comparable solo con la leche, el huevo y las menestras (Mujica, 1993).

El valor calórico es mayor que en otros cereales; tanto en grano como en harina alcanza 350 Cal/100 g, lo que caracteriza a la quinua como un alimento apropiado para zonas y temporadas frías.

La quinua como proteína vegetal ayuda al desarrollo y crecimiento del organismo, conserva el calor y la energía corporal, es fácil de digerir y representa una dieta completa y balanceada (Mamani y Assennato, 1993).

Tabla 3
Composición nutricional de la quinua frente a otros alimentos

Componentes (%)	Quinua	Carne	Huevo	Queso	Leche de vaca	Leche humana
Proteínas	14	30	14	18	3,5	1,8
Grasas	6,1	50	3,2	-	3,5	3,5
Hidratos de carbono	71	-	-	-	-	-
Azúcar	-	-	-	-	4,7	7,5
Hierro	5,2	2,2	3,2	-	2,5	-
Calorías/100 g	370	431	200	24	66	80

Fuente: Nieto y Vimos, 1999

Tabla 4
Comparación de componentes de la quinua con otros productos

Componentes	Quinua	Trigo	Maíz	Arroz	Cebada
Proteínas	14,22	8,6	8,4	5,9	6,3
Grasas	5,1	1,5	1,1	0,16	1,8
Fibras	4,1	3	3,8	9,9	7,3
Cenizas	3,4	1,7	1,2	4,5	2,6
Hidratos de carbono	57,7	73,7	69,4	74,7	76,6

Fuente: INIA, 2004

4.4 Agrobiodiversidad y economía de la quinua en comunidades aymaras de la cuenca del Titicaca

La quinua es un grano andino con origen en la zona geográfica habitada por el pueblo aymara; sus nombres en la lengua originaria son *jirwa* y *jupha*. En el siglo XIX, con la creación de los Estados de Perú, Bolivia, Chile y Argentina, el territorio aymara fue dividido entre los cuatro países, lo que generó impactos socioeconómicos y políticos que afectaron su identidad (Rocha, 2003).

Según el viejo agricultor aymara J. Apolinario, "para el pueblo aymara, la labor agrícola de contacto directo con la tierra, juntamente con el descanso y la buena alimentación son considerados de una celebración imprescindible para la salud física y mental humana" (Murra, 2002).

4.5 Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (negra collana, Pasankalla roja y blanca Junín)

Los almidones se han constituido en el polisacárido más utilizado en la industria alimentaria como ingrediente esencial por su gran versatilidad y su costo relativamente bajo. Debido a sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, los almidones se emplean como agentes espesantes para incrementar la viscosidad en salsas y potajes, como agentes estabilizantes de geles o emulsificantes, como elementos ligantes y agentes de relleno (Fundación PROINPA, 2008).

4.6 Análisis social

La posibilidad de un desarrollo integral a partir de los granos de la quinua para los involucrados en su cadena productiva ha demandado un esfuerzo de cohesión entre los actores, asumiendo un compromiso, primero, de conservación y, luego, de producción en niveles considerables. Se pone atención en la quinua por sus cualidades nutricionales, por su capacidad de adaptación a diferentes ecosistemas y por su fácil conservación (Repo-Carrasco, 1998).

4.7 Aspecto económico

En estos últimos años se ha fomentado la producción en diferentes ecosistemas. Sin embargo, cabe precisar que hasta el momento las características propias de los granos del altiplano no han sido superadas; es así que el aumento de la productividad, la mejora de la calidad física y de presentación del grano en sus diversas formas se han constituido en oportunidades para incrementar los ingresos económicos de los productores (Mujica, 1993).

4.8 Análisis del aspecto cultural

Una de las fortalezas clave de los granos andinos ha sido el proceso de conservación de las semillas por miles de años. Un buen sector de los productores se dedica a esta actividad, considerada como una oportunidad para la generación de ingresos económicos para sus familias y para su consumo, que contribuye a la nutrición y a la salud. La quinua es una alternativa para ser incluida en las dietas de las personas del mundo. Su consumo ha caracterizado el significado de la buena alimentación en la cultura andina. El cultivo de la quinua está relacionado con aspectos religiosos y rituales a lo largo de todo el proceso productivo (Murra, 2002).

4.9 Análisis del aspecto tecnológico

El proceso de la tecnología inicia con la aplicación de instrumentos y herramientas ancestrales con la posibilidad de mejorar los procedimientos tecnológicos. El contexto

actual requiere sistemas, métodos y procedimientos innovadores. Si bien se reportan avances en la etapa de producción, el desarrollo de una agroindustria a partir de los granos andinos es incipiente. Es importante el proceso de desarrollo tecnológico, fundamentalmente para lograr una adecuada competitividad de producción. Para la formación de una agroindustria se necesita diseñar máquinas y procesos de comercialización, así como mejorar los aspectos de germinación, vigor, desarrollo de la semilla, deterioro de la semilla, etcétera (MTPQ, 2015).

Tabla 5
Producción de quinua, campaña agrícola 2015-2016

Provincia	Toneladas métricas	Porcentaje
El Collao	6408,00	18
Azángaro	7547,00	21
Chucuito	4797,00	14
San Román	5952,00	16
Puno	5436,00	15
Huancané	3890,00	11
Total	34 030,00	95

Fuente: MTPQ, 2016

En cuanto a la poscosecha, esta etapa comprende los procesos de manejo y almacenamiento, incidiendo en la mejora de las técnicas de cosecha y poscosecha, así como las de limpieza, preparación y envasado de los granos de quinua para asegurar el consumo de alimentos sanos y nutritivos, con cualidades organolépticas aceptables (Nieto y Vimos, 1992).

4.10 Importancia de la agroindustria de los granos andinos

La agroindustria juega un rol importante en el desarrollo de la producción de numerosos cultivos andinos. En función de la localización de las plantas y el ámbito de su demanda, contando con un mercado seguro, las zonas de producción pueden especializarse e intensificar la producción. Las empresas agroindustriales constituyen un vehículo eficaz para difundir tecnología que incremente la productividad y mejore la calidad (Mamani y Assennato, 1993).

4.11 Sistemas de producción de quinua

Los sistemas de producción de quinua en la región andina del Perú son muy variables debido a la diferenciación de las zonas agroecológicas, la rotación de cultivos,

organizacionales, así como sistemas de siembra (monocultivo y asociaciones); el uso de herramientas tradicionales, manejo de cultivos, y todo lo referente a rendimientos y calidad del producto cultivado (Mujica *et al.*, 2002).

En el altiplano se usan los siguientes sistemas tradicionales de producción: *aynokas*, *waru-warus*, canchas, cochas y andenes (rotaciones después de la papa, campos extensos de quinua de diferentes ecotipos y cultivares como monocultivo). Asimismo, se practican en menor escala las asociaciones de quinua con haba, papa, cebada y tubérculos andinos, principalmente para evitar riesgos ante factores climáticos adversos como sequías, heladas, granizadas, salinidad e inundaciones (Jilapa Humpiri, 2008).

5. MATERIALES

Los materiales aplicados en la investigación son:

- Variedades de quinua (Salcedo INIA, rosada de Taraco, Cancolla).
- Insumos básicos (mejoradores, estabilizantes y conservantes naturales).
- Utensilios básicos.
- Horno.
- Probetas graduadas.
- Balanzas.
- Medidor de pH.
- Refractómetro.
- Refrigeradora.
- Cinta de rotulación.
- Envases.

6. METODOLOGÍA

6.1 Etapa I: proceso de elaboración de panecillos, cremas y pizza con niveles de sustitución de quinua de las variedades Salcedo INIA, rosada de Taraco y Cancolla

El estudio consta de dos etapas: el proceso de elaboración y la caracterización de los productos (panecillos, cremas y pizza) con niveles de sustitución de quinua de las variedades Salcedo INIA, rosada de Taraco y Cancolla. La figura 1 muestra el diagrama de flujo de procesos de elaboración de panecillos de quinua.

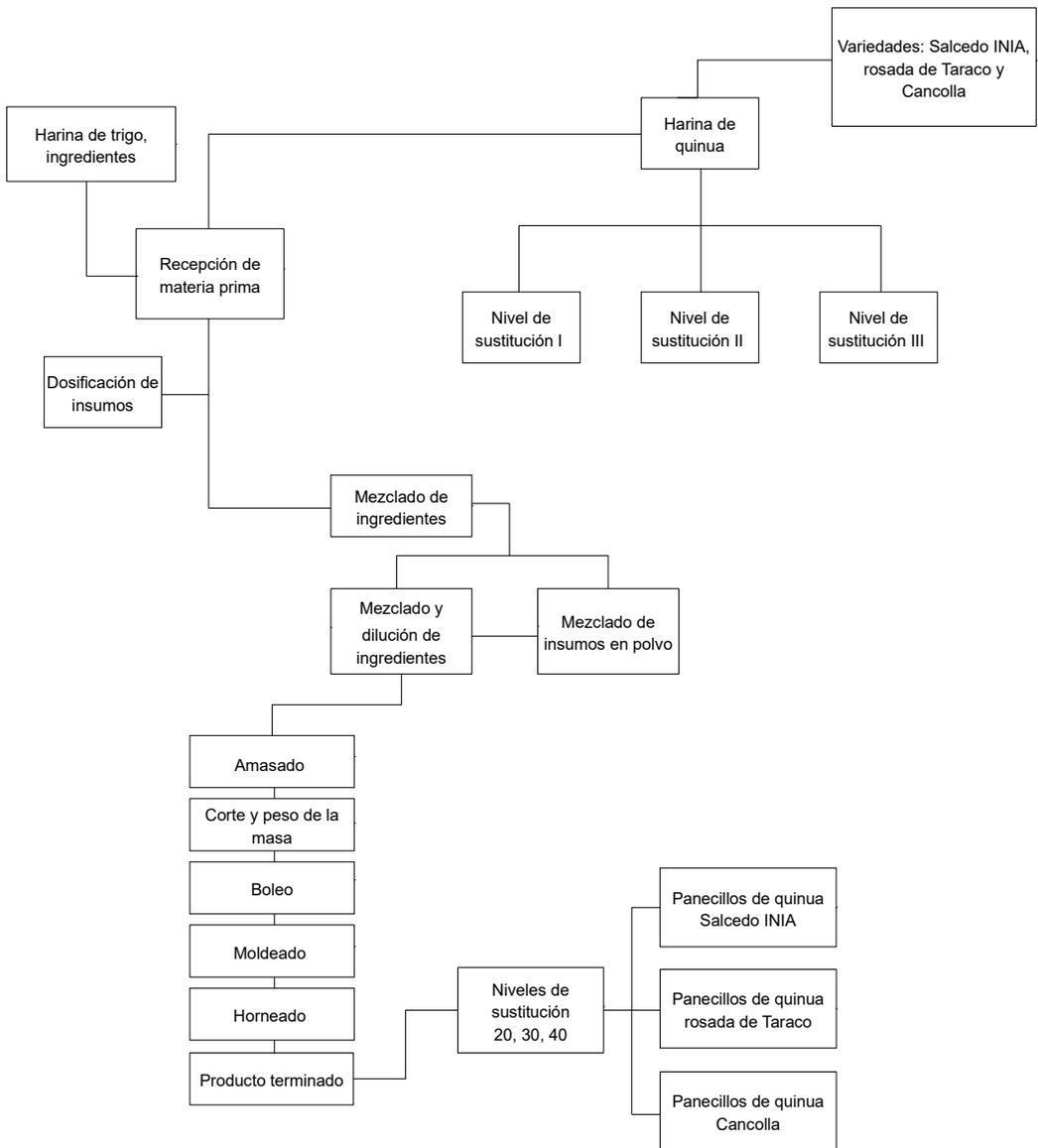


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de panecillos de quinua
Elaboración propia

6.1.1 Descripción del proceso de elaboración de panecillos de quinua

La investigación se realiza con la finalidad de obtener un producto horneado fortificado con cualidades nutricionales y de calidad que contribuyan en el proceso de la alimentación de los productores, ya que ancestralmente los granos andinos han sido usados en

la alimentación de las poblaciones del altiplano peruano-boliviano. Los panecillos son obtenidos con la sustitución parcial de la quinua y la harina comercial de quinua.

La elaboración de panecillos con sustitución de las variedades comerciales de quinua (Salcedo INIA, rosada de taraco y Cancolla) tiene el propósito de evaluar la adaptabilidad de las variedades en su utilización para la elaboración de panecillos que tendrían las mejores características y adaptabilidad.

Recepción de la materia prima

Se reciben las materias primas básicas y son tamizadas para la liberación de impurezas. Asimismo, es importante considerar la etapa de la oxigenación de las harinas pues contribuye en el proceso de mezclado de los componentes de las materias primas.

Niveles de sustitución

Los niveles de sustitución se han determinado en función de los antecedentes de sustitución de las harinas. En estudios similares las sustituciones establecidas son de 20, 30 y 40 % para cada variedad, con la finalidad de determinar qué variedad muestra mejores cualidades para la elaboración de los panecillos.

Dosificación de las harinas

Esta etapa consiste en la determinación y definición de los pesos de las harinas, considerando los niveles de sustitución así como las variedades de quinua. Asimismo, se considera el proceso de las relaciones en términos de cantidades.

Mezclado de los insumos o ingredientes

Esta etapa se caracteriza por iniciarse con el preparado de la masa, que se realiza en dos fases: la primera corresponde al mezclado de los ingredientes líquidos, como la leche, el agua, las esencias, el huevo, así como el azúcar. Estos ingredientes deben lograr una homogeneidad y dilución completas, ya que esta mezcla es la base para el agregado de las harinas o la mezcla de los ingredientes en polvo. En la segunda fase se realiza la mezcla de los insumos e ingredientes sólidos (polvos), considerando los niveles de sustitución y los correspondientes insumos (como el polvo de hornear).

Amasado

Permite lograr el compuesto inicial para el proceso de elaboración de los panecillos; el amasado inicia a partir de las mezclas, considerándolas en líquido o sólido. El amasado es la operación de homogeneidad de los ingredientes, insumos y agregados, resultando una masa ligable, manipulable y moldeable.

Corte y pesado

El proceso de cortado y pesado es una operación de definición de pesos; del total de la masa se calculan las fracciones para su corte y para la formación de los panecillos con la ayuda de una divisora. Esta etapa es determinante para la homogeneidad de peso de cada uno de los panecillos.

Boleado

El boleado es la operación de formación de pequeñas porciones para moldear los panecillos.

Moldeado

Se realiza con la finalidad de dar al panecillo la forma correspondiente y prepararlo para el horneado. Es una operación manual; se da a la masa una forma circular buscando la uniformidad de los panecillos.

Horneado

El horneado es una de las últimas operaciones. El proceso se efectúa en un horno a 120 °C por unos 20 minutos. Después de esta etapa los panecillos están listos para su consumo.

Producto terminado

Los panecillos con sustitución de harina de quinua son evaluados por panelistas semientrenados.

Los productos obtenidos corresponden a los tres niveles de sustitución y son sometidos a las evaluaciones correspondientes de aceptabilidad.

6.1.2 Descripción del proceso de elaboración de crema de quinua

Recepción de materia prima

Es la etapa en la que se cuenta con los insumos y materiales necesarios para el proceso de elaboración de la crema de quinua de las variedades de quinua Salcedo INIA, rosada de Taraco y Cancolla.

Pesado de insumos ingredientes

Consiste en el proceso de definición de las cantidades de los componentes para la elaboración de la crema de quinua, con el fin de realizar los cálculos de dosificación y acondicionamiento para su cocción, una de las etapas iniciales.

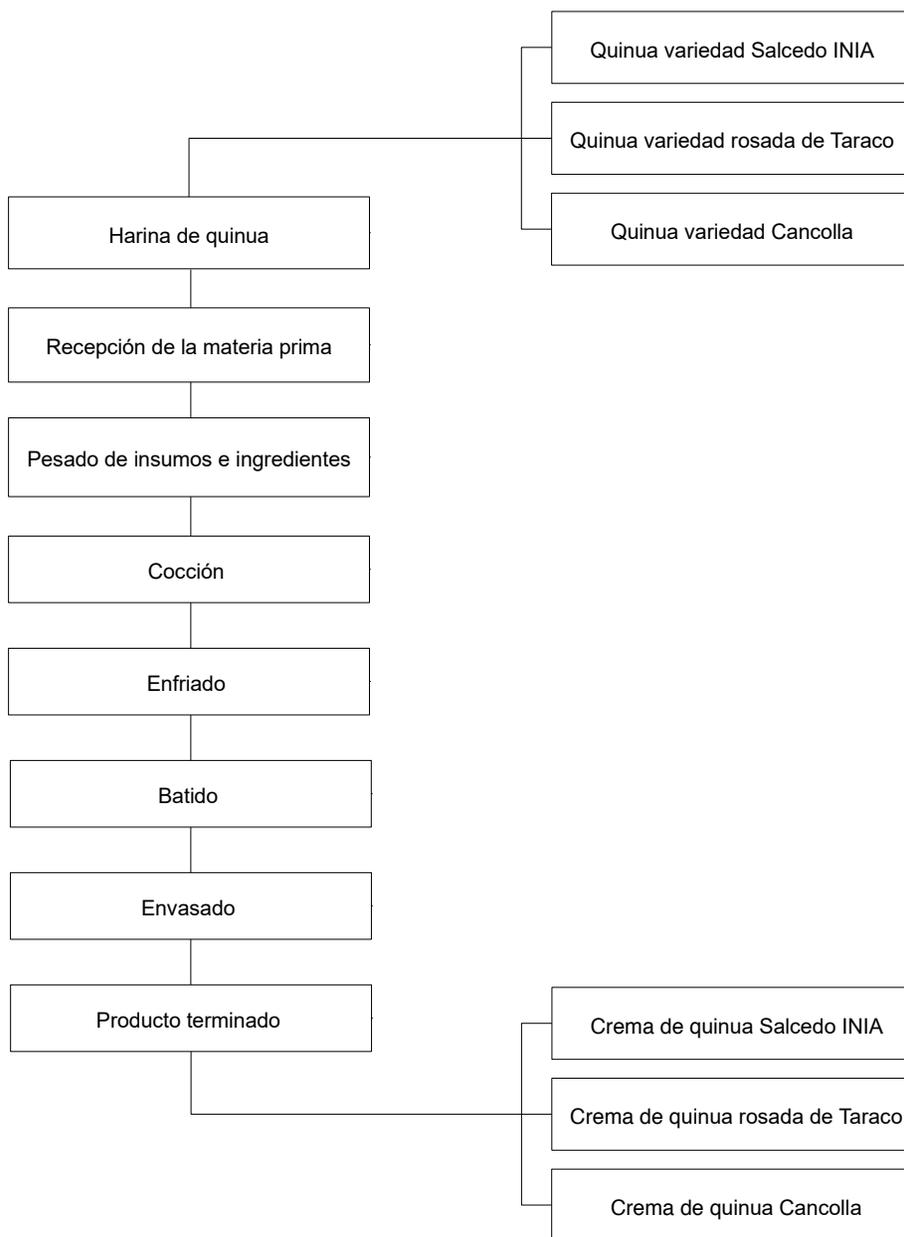


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de crema de quinua
Elaboración propia

Cocción

El proceso de cocción es una de las operaciones básicas de preparación de la crema de quinua. Consiste en el sometimiento de la mezcla a temperaturas de cocción, lo que es determinante en la elaboración de la crema puesto que es así como se logra su estabilización.

Enfriado

Es una operación de estabilización de la temperatura del producto con la finalidad de acondicionarlo a la temperatura ambiente. El enfriado es una operación importante porque logra homogeneizar el producto.

Batido

Es una acción de homogenización que se realiza con el propósito de lograr una pasta consistente. Se realiza con una técnica que busca la desintegración de los granos, factor determinante para evaluar la adaptabilidad de las variedades de quinua, así como para elaborar una crema con cualidades óptimas.

Envasado

Es el proceso de dosificación estandarizada en determinados envases que garanticen la duración durante el almacenamiento y la vida útil del producto.

Producto terminado

El producto terminado requiere de condiciones de temperatura de refrigeración para su almacenamiento; lleva todos los detalles del producto en cada envase, así como la información nutricional, de producción y de vencimiento.

6.1.3 Descripción del proceso de elaboración de pizza con almidón de quinua

Acondicionamiento de insumos

Este proceso consiste en contar con todos los insumos e ingredientes básicos. En el caso del almidón de quinua, esta ha sido utilizada en proporciones menores, lo que da una calidad distinta al producto común ya que el almidón de quinua contribuye en la mejora de la calidad nutricional de la masa de pizza.

Mezclado

La operación de mezclado consiste en la disposición de los insumos e ingredientes para la homogeneización y su posterior amasado.

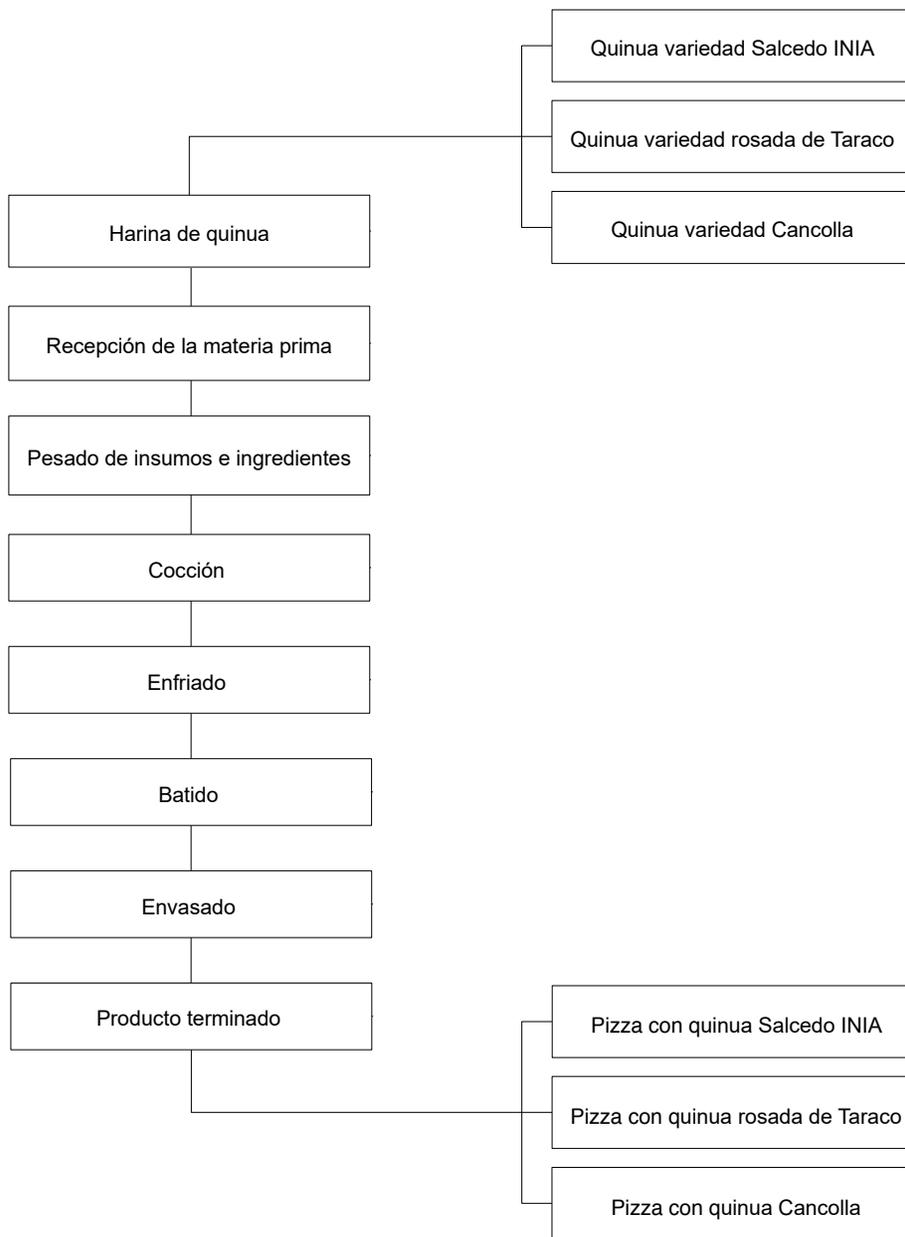


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pizza con almidón de quinua
Elaboración propia

Amasado

Permite lograr el compuesto inicial para el proceso de elaboración de la masa de pizza. Se inicia a partir de las mezclas, siempre considerándolas en líquido o sólido. El amasado es la operación de homogeneidad de los ingredientes, insumos y agregados, resultando una masa ligable, manipulable y moldeable.

Corte y peso de la masa

Esta es una operación de definición de pesos; del total de la masa se calculan las fracciones para su moldeado como masa de pizza y para la formación de las porciones. Toda esta operación se realiza manualmente; es una etapa determinante para el factor de la homogeneidad de los pesos en cada proporción.

Moldeado

Consiste en darle la forma correspondiente a la masa de la pizza en la que se coloca el relleno característico de una pizza.

Adaptación de relleno superficial

Es el proceso de relleno de la pizza. Como toda pizza, lleva ingredientes e insumos característicos. Sin embargo, la particularidad en este producto es que la masa contiene almidón de quinua que le da mayor calidad nutricional.

Horneado

Se realiza con la finalidad de dar al producto la formación correspondiente y prepararlo para el horneado. El proceso es realizado manualmente para dar la forma circular, buscando uniformidad en cada unidad de pizza.

Producto terminado

Luego de las operaciones de proceso implementadas se ha logrado obtener el producto terminado con la sustitución del almidón de quinua. El producto es evaluado por panelistas semientrenados con el fin de determinar su calidad.

Los productos obtenidos corresponden a los tres niveles de sustitución y las tres variedades de quinua, las cuales son sometidas a las evaluaciones correspondientes de aceptabilidad.

6.2 Etapa II: caracterización de los productos en estudio (panecillos, cremas y pizza) para establecer su calidad diferenciada de acuerdo a las variedades Salcedo INIA, rosada de Taraco y Cancolla

Para el proceso de caracterización de los productos obtenidos a base de quinua de las variedades Salcedo INIA, rosada de taraco y Cancolla, se han sometido a pruebas físicas

y de aceptabilidad, considerando que cada variedad tiene determinadas bondades y diferente adaptabilidad para el procesamiento de productos específicos.

En esta etapa se ajustan los datos mediante el análisis estadístico ANVA y posteriormente DUNCAN, métodos que nos permiten tener un nivel de caracterización basado en cualidades organolépticas.

7. RESULTADOS

Con el estudio del proceso del desarrollo de la agroindustria de la quinua a partir de las variedades (Salcedo INIA, rosada de Taraco y Cancolla) en la mancomunidad municipal Qhapaq Qolla, Puno, Perú, periodo 2016, se han logrado mejorar las posibilidades de consumo a partir de la elaboración de los productos planteados en el estudio. Se cuenta con una diversidad de variedades de quinua que tienen divergencias significativas en sus contenidos nutricionales, así como su utilidad o su aplicación en la obtención de un determinado producto con características óptimas.

7.1 Etapa I

Se ha trabajado con tres variedades comerciales de quinua y se han elaborado los niveles de sustitución de 20, 30 y 40 % con el fin de evaluar sus cualidades y mejores posibilidades de sustitución para el procesamiento de panecillos de quinua. En el caso de la crema de quinua y la pizza con almidón de quinua, se han aplicado niveles de sustitución de 15, 25 y 35 %. A excepción de la crema, en la que se utilizó 100 % de quinua, las sustituciones fueron parciales.

Es importante determinar la cantidad adecuada de sustitución y, además, evaluar las particularidades de cada variedad, ya que tienen cierta adaptabilidad para el procesamiento de determinados productos.

7.2 Etapa II

Para la caracterización de los productos elaborados con sustitución parcial y total de quinua de las variedades Salcedo INIA, rosada de Taraco y Cancolla, se han sometido a evaluación organoléptica con la participación de 10 panelistas. Los datos fueron ajustados mediante los análisis estadísticos ANVA y DUNCAN.

Como resultado del ajuste de los datos mediante el análisis de varianza entre las particularidades (color, olor, sabor y textura) de cada producto, se ha observado que sí presentan diferencias significativas. En consecuencia, los datos son sometidos al proceso de diferenciación e identificación de los productos que muestren mejores condiciones de aceptabilidad de acuerdo a la calificación obtenida.

Se ha logrado la elaboración de panecillos con niveles de sustitución del 20, 30 y 40 %. Considerando la evaluación del nivel de sustitución, se ha identificado que el

adecuado corresponde al 30 %, ya que presenta óptimas cualidades de aceptabilidad en las tres variedades de estudio.

En el caso de la crema, se ha trabajado con 100 % de quinua, considerando que se trata de una pasta. Se ha logrado obtener el producto con las variedades planteadas en el estudio; se han identificado las características organolépticas y de aceptabilidad, de las cuales las tres variedades muestran aptitudes óptimas para el procesamiento del producto.

Se ha planteado la obtención de pizza con almidón de quinua. El producto ha sido sometido a evaluación con niveles de sustitución de 15, 25 y 35 %, con las variedades en estudio. De acuerdo a las calificaciones obtenidas en la evaluación sensorial, se determina que el nivel de sustitución adecuado se encuentra entre 25 y 35 %, ya que se pueden diferenciar las particularidades del producto en las tres variedades.

Tabla 6
Prueba de Duncan con panecillos de quinua

Característica	Trat	Prom	Nivel de significancia 0,01		
Color	C	2,5395	a		
	B	2,5295	a		
	A	2,5395	a		
	I	2,5388	a		
	G	2,3077	a		
	F	2,3077	a		
	E	2,2319	a		
	H	2,2308	a		
	D	2,2308	a		
Olor	E	2,8462	a		
	A	2,8462	a		
	B	2,7692	a	b	
	C	2,7692	a	b	
	D	2,4615	a		c
	F	2,4615	a		c
	G	2,4420	a		c
	H	2,4420	a		c
	I	2,3846	a		c
Sabor	B	2,6923	a		
	A	2,6922	a		
	H	2,6922	a		
	C	2,6678	a		
	D	2,6534	a	b	
	E	2,6334			c
	F	2,6334			c
	I	2,6177			c
G	2,6154			c	

(continúa)

(continuación)

Textura	I	2,6923	a	
	B	2,6923	a	
	C	2,5039	a	
	H	2,5039	a	
	F	2,4734		b
	D	2,4523		b
	A	2,4521		b
	E	2,3528		b
	G	2,3089		b

Elaboración propia

Tabla 7
Prueba de Duncan con crema de quinua

Característica	Trat	Prom	Nivel de significancia 0,01	
Color	C	2,6856	a	
	B	2,6565	a	
	A	2,5819		b
Olor	B	2,8843	a	
	A	2,8462		b
	C	2,7692		c
Sabor	A	2,6234	a	
	C	2,6177	a	
	B	2,6054	a	
Textura	C	2,6923	a	
	A	2,6823	a	
	B	2,6639	a	

Elaboración propia

8. DISCUSIÓN

Los resultados nos permiten argumentar que es posible la obtención de productos con la sustitución de variedades de quinua y que estas se constituyen en una posibilidad de desarrollo para la agroindustria de los granos andinos.

El proceso de sustitución es importante para lograr un producto con cualidades óptimas. Si bien el desarrollo agroindustrial rural con base en el recurso quinua no ha avanzado, existen preparaciones ancestrales, en muchos casos no muy consumidas que, como muestra el estudio, representan alternativas de desarrollo agroindustrial, y están soportadas por las evaluaciones y pruebas de procesos de innovación.

Tabla 8
Prueba de Duncan con pizza de almidón de quinua

Característica	Trat	Prom	Nivel de significancia 0,01		
Color	B	2,6865	a		
	D	2,6860	a		
	A	2,6459	a		
	I	2,6388	a		
	G	2,6177	a		
	F	2,6177	a		
	E	2,1319		b	
	H	2,1308		b	
	C	2,1308		b	
Olor	A	2,8462	a		
	B	2,8462	a		
	I	2,7692	a		
	C	2,7692	a		
	D	2,2615		b	
	F	2,2615		b	
	E	2,2420		b	
	G	2,2420		b	
	H	2,0846			c
Sabor	E	2,6923	a		
	F	2,6922	a		
	B	2,6922	a		
	A	2,6678	a		
	H	2,3534		b	
	I	2,1334			c
	G	2,1132			c
	C	2,1132			c
	D	2,1122			c
Textura	H	2,8822	a		
	E	2,8668	a		
	B	2,8533	a		
	C	2,7839	a		
	F	2,7060		b	
	D	2,6734		b	
	G	2,5527		b	
	I	2,5084		b	
	A	2,4898		b	

Elaboración propia

Los productos elaborados se han evaluado y caracterizado con la finalidad de establecer parámetros de calidad y de aceptabilidad, considerando que las distintas variedades de quinua tienen particularidades en su composición, principalmente las de colores, y esto incide en el proceso y el producto final; principalmente en algunas características organolépticas.

9. CONCLUSIONES

En relación al producto transformado, se han logrado establecer los parámetros de procesamiento para panecillos de quinua, crema de quinua y pizza a base de almidón de quinua. En la clasificación de niveles de procesamiento, quedan definidos como II y III, que corresponden a productos elaborados a base de quinua. La procedencia de la materia prima influye en las características de los productos elaborados. Las variedades consideradas en el estudio presentan cualidades óptimas en el siguiente orden: Salcedo INIA, Cancolla y rosada de Taraco.

Se elaboraron y caracterizaron panecillos con sustitución parcial de quinua de 20, 30 y 40 %, de las tres variedades. Se ha establecido que para este tipo de producto horneado un nivel de sustitución adecuado es de 30 % para las tres variedades de estudio.

A partir de las tres variedades se ha obtenido crema de quinua. Las variedades no muestran diferencias significativas en relación a las cualidades organolépticas; se observa un nivel de aceptabilidad con similares calificaciones.

En el caso de la pizza de almidón de quinua, se trabajó con niveles de sustitución de 15, 25 y 35 %, con las tres variedades. Presentan cierta diferencia en cuanto a sabor, sobresaliendo la variedad Cancolla.

REFERENCIAS

- Ballón, E. y Vera, R. (1984). Respuesta ambiental de ocho variedades de quinua en el Altiplano norte centro y sur. En: *Cuarto Congreso Internacional de Cultivos Andinos*. Pasto, Colombia.
- Calcina, V. (2014). *Contaminación del río Torococha*. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquez.
- Flores, M., Tapia, P. y Ticona, P. (2008). *Manual de organización de agricultores para el mejoramiento de la producción, industrialización y comercialización de la quinua*. Bolivia.
- Fundación PROINPA (2008). Desarrollo de nuevos productos derivados de las EOS con sustento teórico y práctico para la producción y comercialización por los mismos agricultores. La Paz.

- Gobierno Regional de Puno. (2016). *Identificación y evaluación en la gestión de riesgos del Río Torococha en el distrito de Juliaca*. Puno. Recuperado de <http://sigrid.cene-pred.gob.pe/sigridv3/documento/3713>
- Hernández, L. (3 de diciembre del 2014). Auditoría ambiental de verificación del río Torococha, Juliaca [Diapositivas]. Recuperado de <https://prezi.com/9mnevk-0ar-w/auditoria-ambiental-de-verificacion-del-rio-torococha-de-la/>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) (2004). *Informe de desarrollo del proyecto Quinoa Lampa*. Lima.
- Jilapa Humpiri, R. W. (2008). *Rentabilidad productiva de la cadena productiva de la quinua en la región Puno*. Puno: Universidad Nacional de Altiplano.
- Laura, D. (2016). *La contaminación ambiental y su influencia en el crecimiento de niños 1 a 5 años que viven en las riveras del río Torococha de Juliaca*. Juliaca.
- Mamani, L. M. y Assennato, D. (1993). *La ingeniería en el desarrollo, manejo y tratamiento de granos post cosecha*. Roma: FAO.
- Mesa de Trabajo Producto Quinoa (MTPQ) (2015). Plan operativo 2015. Puno, Perú.
- Mesa de Trabajo Producto Quinoa (MTPQ) (2016). Consolidación de resultados de las acciones desarrolladas de la Mesa de Trabajo Producto Quinoa. Puno.
- Mujica, A. (1993). *Cultivo de quinua*. Lima: INIA.
- Mujica, A., Dupeyrat, R., Jacobsen, S., Marca, S., Canahua, A., Apaza, ... Chura, E. (2002). *La cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) en la nutrición humana del Perú*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Murra, J. V. (2002). *El mundo andino. Población, medio ambiente y economía*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Nieto, C. y Vimos C. (1992). *La quinua, cosecha y poscosecha. Las experiencias en Ecuador*. Quito: Estación Experimental Santa Catalina INIAP.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Recuperado de <https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/LCL1799S.PDF>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2004). *Necesidades nutricionales de energía y de proteínas*. Ginebra: FAO/OMS.
- Repo-Carrasco, R. (1998). *Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y de granos andinos*. Lima: Edi-Agraria.

- Rocha, P. (2003). *Identificación de prácticas de procesamiento y obtención de derivados de amaranto (millmi) a nivel familiar*. La Paz.
- Soto, J. L., Rojas, W. y Pinto, M. (2006). *PROINPA – Regional: F Guachilla N° 820*. La Paz, Bolivia.
- Yana , E. (2014). *Contaminación por materia orgánica en el río Torococha de la ciudad de Juliaca*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

**PROYECTOS
EMPRESARIALES
INDUSTRIALES**

Industrial Business Projects

CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE UN COMPLEMENTO NUTRICIONAL PARA NIÑOS

LORENA GODEFROY, MARGARITA BRICEÑO*

Universidad de Lima

Recibido: 12 de junio del 2018 / Aprobado: 5 de septiembre del 2018

doi: 10.26439/ing.ind2019.n037.4548

RESUMEN: En el Perú existe el problema de mala nutrición infantil. La presente investigación busca demostrar la viabilidad social, técnica y económica de un producto dirigido al mercado infantil con alto valor nutricional, que utilice parte de sus ganancias para financiar un programa para combatir la desnutrición infantil crónica al interior del país. Se usaron herramientas de la ingeniería industrial para determinar la demanda del mercado, la formulación técnica del producto, el tamaño y diseño de la planta de producción, el análisis económico y financiero y el impacto social.

Palabras clave: nutrición / impacto social / cereales andinos

CONSIDERATIONS TO SET UP A MANUFACTURING PLANT FOR PRODUCING A NUTRITIONAL SUPPLEMENT FOR CHILDREN

ABSTRACT: Child malnutrition is a current problem in Peru. This research aims to demonstrate the social, technical and economic feasibility of manufacturing a nutritional product for children, and using part of the profits to support a social program to reduce chronic child malnutrition in the country's provinces. To this end, industrial engineering tools were used to calculate the market demand, the technical specifications of the product, the size and design of the manufacturing plant, the economic and financial analysis, and the social impact.

Keywords: nutrition / social impact / Andean cereals

* lorena.godefroy@gmail.com, margaritabricenom@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú coexisten dos problemas de alimentación infantil: por un lado, desnutrición crónica en las poblaciones más pobres y, por el otro, falta de opciones saludables en las ciudades más desarrolladas, lo cual causa obesidad infantil. Esta también afecta a los más pobres, llegando a un 11,9 % de incidencia en el quintil V (INS, 2012).

La desnutrición incrementa la mortalidad, morbilidad y tiene resultado adverso sobre el proceso de aprendizaje. La principal causa es una ingesta insuficiente de nutrientes, tales como carbohidratos, proteínas, minerales, vitaminas y minerales. En el Perú, la desnutrición crónica afecta al 19,5 % de los niños menores a 5 años; los más afectados son aquellos en el quintil inferior de riqueza, en áreas rurales de la sierra y de la selva y con madres sin educación. Los departamentos más afectados son Huancavelica, Huánuco y Apurímac (INEI, 2012, p. 300).

La tasa de sobrepeso y obesidad en los niños de 0 a 5 años ha venido en aumento, con 5,1 % en 1992, 5,5 % en 1996 y 6 % en el 2007 (Ministerio de Salud, 2012). La obesidad infantil se ha asociado con la aparición de alteraciones metabólicas como diabetes, hipertensión, dislipidemia a edades más tempranas, hígado graso, apnea de sueño, asma y estrés mecánico. Las principales causas de la obesidad se asocian a un componente genético y a un estilo de vida donde priman el sedentarismo, patrones de alimentación con regímenes hipercalóricos y pobre ingesta de nutrientes esenciales.

El proyecto plantea ofrecer un producto que mejore ambos problemas alimenticios, enmarcados en el término “niños con mala nutrición”. Se propone elaborar un complemento nutricional natural instantáneo para niños hecho a base de cereales andinos. El proyecto creará una empresa social que genere ingresos mejorando la calidad de la alimentación infantil en los niveles socioeconómicos (NSE) A, B y C del Perú para, con esas utilidades, brindar la nutrición requerida a poblaciones con pocos recursos (Huancavelica) y resolver una necesidad de poblaciones menos favorecidas.

¿Qué significa que sea “una empresa social”? Una empresa social es aquella que nace para resolver un problema social y cuyo fin social es tan importante como el económico. Se diferencia de una organización sin fines de lucro porque busca generar ingresos que sean sostenibles en el tiempo utilizando las herramientas de negocio.

2. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El producto que se va a elaborar es un complemento nutricional instantáneo para niños hecho a base de cereales andinos. Como producto básico tenemos el complemento nutricional instantáneo homogéneo hecho con 15 % harina de quinua, 15 % harina de kiwicha, 30 % de leche en polvo y 40 % de cocoa. El producto real incluye presentación en *stand-up pouches* de polietileno de 200 g con cierre hermético y rotulado conforme

a la ley. El producto aumentado incluye garantía de calidad, atención al cliente, página en internet y el aporte social que cada compra provee al proyecto de lucha contra la desnutrición crónica en Huancavelica. A continuación se describe el aporte nutricional:

2.1 Quinoa

Es un cereal andino que “cuenta con un contenido de proteína superior a otros cereales, teniendo un rango entre 14 y 16 %, y proporciona una cantidad ideal de aminoácidos esenciales para el consumo humano” (Mestanza, Riegel, Silva y Vásquez, 2015). El 37 % de las proteínas que posee la quinoa son aminoácidos: ácido glutámico (producción de energía para el cerebro y aprendizaje), ácido aspártico, isoleucina, lisina (crecimiento muscular), fenilalanina, tirosina y valina, siendo los cuatro últimos, aminoácidos esenciales. Además contiene grasas mono y poliinsaturadas, es rica en fibra, libre de gluten y contiene 1,5 veces más calcio que el trigo.

Tabla 1
Análisis nutricional de la quinoa blanca (base 100 g)

Contenido	Valor	Elemento	Valor
Calorías	376 Cal	Calcio	120 mg
Agua	10,1 g	Fósforo	165 mg
Proteínas	11,5 g	Hierro	0 mg
Grasas	8,2 g	Retinol	0 mcg
Carbohidratos	66,7 g	Vit.B1	0,12 mcg
Fibra	5,1 g	Vit.B2	0,14 mcg
Ceniza	3,5 g	Vit.B5	1,35mcg

Fuente: Soluciones Prácticas, s. f.

2.2 Kiwicha

La kiwicha tiene un valor energético comparativamente mayor que, por ejemplo, el maíz (14,5 de proteínas contra 10 %, respectivamente). El balance de aminoácidos de la kiwicha es cercano al requerido para la nutrición humana, siendo el limitante la leucina. Contiene ácido graso oleico y linolénico.

Tabla 2
Análisis nutricional de la kiwicha (base 100 g, tostada)

Elemento	Valor	Elemento	Valor
Calorías	428 cal	Calcio	283 mg
Agua	0,7 g	Fósforo	502 mg
Proteínas	14,5 g	Hierro	8,1 mg
Grasas	7,8 g	Ácido ascórbico	0,5 mcg
Carbohidratos	74,3 g	Vitamina B1	0,01 mcg
Fibra	3,0 g	Vitamina B2	0,01 mcg
Ceniza	2,7 g	Vitamina B5	1,30 mcg

Fuente: Soluciones Prácticas, 2013

2.3 Leche

Es el insumo que más calorías aporta a la mezcla, así como proteínas y lisina, aminoácido importante para el crecimiento, desarrollo óseo y absorción del calcio.

2.4 Cocoa

Dado que el producto está dirigido a niños, debe contar con un sabor agradable. El cacao en polvo puro tiene propiedades beneficiosas, como mejorar la función cerebral, bajar el colesterol “malo” y estabilizar la presión arterial. Para obtener el cacao en polvo se parte del cacao en polvo crudo y se refina a altas temperaturas, de modo que se reducen ligeramente sus propiedades nutricionales.

2.5 Complemento nutricional

La empresa Certificaciones Peruanas (CERPER, 2016) analizó una muestra del producto y se obtuvieron los resultados de la tabla 3.

Tabla 3
Especificaciones técnicas del producto (base: 1 kg del complemento nutricional)

Ensayos	Prueba utilizada	Información nutricional por 100 g
Humedad (g/100g)	Método gravimétrico NTP 209.264. 2013	4,60 g
Proteína (g/100 g) (N x 6,25)	Método Kjeldahl de proteína NTP 209.262.2013	19,39 g

(continúa)

(continuación)

Grasa (g/100g)	Método gravimétrico NTP 209.263. 2013	11,73 g
Ceniza (g/100g)	Método gravimétrico NTP 209.265. 2013	6,25 g
Hierro (mg/kg) (LC: 0,56 mg/kg)	Método de espectrofotometría de absorción atómica	12,99 mg
Zinc (mg/kg) LC: 1,26 mg/kg	NOM-117-SSA1. 1994.	4,05 mg
Calcio (mg/kg) (LC : 41,27 mg/kg)		772,82 mg
Carbohidratos (g/100g)	Por cálculo	58,03 g
Calorías (Kcal/100g)		415,25 kcal
Calorías provenientes de las proteínas (Kcal/100g)		77,56 kcal
Calorías provenientes de las grasas (Kcal/100g)		105,57 kcal
Calorías provenientes de los carbohidratos (Kcal/100g)		232,12 kcal

Nota: LC: Límite de cuantificación.

Fuente: Cerper, 2016

3. ESTUDIO DE MERCADO

Para determinar la demanda del producto en estudio se siguió la siguiente metodología.

3.1 Definir y analizar el mercado objetivo

El mercado objetivo son niños (de 2 a 12 años, excluyendo al periodo de lactancia) de los NSE A, B y C del Perú. Se utilizan datos de NSE utilizando como fuentes a Ipsos, APEIM, INEI; estudios de mercado correspondientes a preferencias del consumidor, perfil del consumidor y del niño, características de los hogares, hábitos de compra y estadísticas poblacionales del Perú.

3.2 Clasificar comercialmente al producto y obtener la demanda interna aparente

Con la clasificación comercial se puede obtener la competencia y, con ello, las exportaciones, importaciones y producción nacional de una categoría. El producto se define como complemento nutricional natural, hecho con insumos nacionales ("cereales andinos").

Los principales competidores serían Kiwigen y Nesquik Cereales Andinos, los cuales se producen internamente. Cabe resaltar que no se encontraron importaciones al analizar la data. Con ello se obtiene la demanda interna aparente (DIA) del producto en estudio.

Tabla 4
Demanda interna aparente en kg por año

	2011	2012	2013	2014	2015
Importaciones	0	0	0	0	0
Producción	434 412	463 378	473 101	497 806	546 308
Exportaciones	37 556	42 141	46 313	59 000	112 644
DIA	396 856	421 237	426 788	438 806	433 665

Fuente: Sunat, 2016

3.3 Encuesta exploratoria al mercado objetivo

La encuesta es aleatoria, empleando un procedimiento probabilístico de muestreo estratificado, por lo que el resultado será representativo. La población objetivo son niños y su madre, padre o apoderado, de NSE A, B y C. Se aplica la encuesta en Lima Moderna porque, dado que el 98 % de su población pertenece a los NSE A, B y C, el encuestado tiene altas probabilidades de pertenecer a los NSE objetivo. El tamaño de la muestra depende del nivel de confianza (95 %, $Z = 1,96$), error (0,05) y variabilidad positiva (60 % de aceptación en una encuesta previa):

$$\eta = \frac{p \times q \times z^2}{E^2} = \frac{0,6 \times (1 - 0,6) \times 1,96^2}{0,05^2} = 368,8$$

Se deberían aplicar 369 encuestas pero, dado que la investigación no es un estudio de factibilidad sino de prefactibilidad, la cantidad de encuestas a aplicar es de alrededor de 150. En total, se aplicaron 178 encuestas, de las cuales 130 aceptaron el producto (82 %). A los encuestados que aceptaron el producto se les preguntó la intensidad de compra, en una escala del 1 al 10, teniendo como promedio un 7,4 de intensidad.

3.4 Demanda específica del proyecto

Finalmente, la DIA obtenida es segmentada de acuerdo al mercado objetivo y a los resultados de la encuesta. El mercado objetivo son niños entre 2 y 12 años de los NSE A, B y C. La proporción de dichos segmentos es se muestra en la tabla 5.

Tabla 5
Porcentaje de población del Perú perteneciente a NSE A, B y C

Año	Porcentaje NSE A, B y C
2011	29,0 %
2012	34,4 %
2013	34,4 %
2014	37,2 %
2015	37,8 %

Elaboración propia con datos de Ipsos, 2015

La segmentación demográfica de “niños entre 2 y 12 años” no se considerará debido a que la venta de los productos Kiwigen y Nesquik, datos con los que se halló la DIA, ya se encuentra segmentada a niños. En base a los resultados de la encuesta, el 82 % sí compraría el producto con una intensidad media de 7,4. El resultado de aceptación e intensidad es de 61 %.

Tabla 6
Demanda específica del proyecto del 2011 al 2015

Año	Demanda específica (kg)
2011	70 204
2012	88 392
2013	89 557
2014	99 574
2015	99 994

Elaboración propia

Se proyecta la demanda del 2016 al 2025 con ajuste lineal (figura 1, tabla 7).

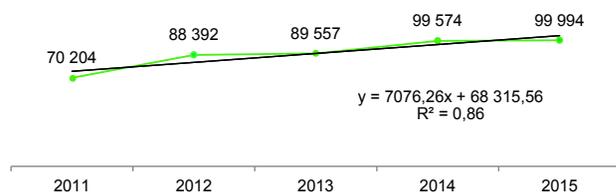


Figura 1. Demanda específica del proyecto del 2011 al 2015 (kg)

Elaboración propia

Tabla 7
Demanda específica del proyecto del 2016 al 2025 (kg/año)

Año	Demanda específica (kg)
2016	110 773
2017	117 849
2018	124 926
2019	132 002
2020	139 078
2021	146 154
2022	153 231
2023	160 307
2024	167 383
2025	174 459

Elaboración propia

4. TECNOLOGÍA DEL PROCESO

4.1 Almacenamiento de materia prima e insumos

El proceso comienza con la recepción de insumos, se realiza un control de calidad. Los insumos serán recibidos en sacos y almacenados en el almacén de materias primas.

4.2 Pesado inicial

El proceso de producción será por lotes. Se realizará un pesado inicial del lote utilizando una balanza digital.

4.3 Extruido

La extrusión se realiza solo a los cereales quinua y kiwicha. Los granos pasan por sistema de cocción de alta temperatura y compresión, junto con cizallamiento durante periodos cortos. El proceso se desarrolla entre 150 y 160 °C y a 1,2 atm de presión. Antes de ingresar a la extrusora el grano debe hidratarse hasta 15 % de humedad durante 25 minutos. La duración de la extrusión es de entre 5 y 12 segundos, de acuerdo a la cantidad ingresada. La masa obtenida es cortada por una cuchilla rotatoria. El producto obtenido tiene entre 10 y 11 % de humedad.

4.4 Molido y tamizado

Los cereales extruidos ingresan al molino de martillos por la tolva superior. Luego ingresan a una cámara que cuenta con martillos de alto impacto que trituran los granos hasta que puedan pasar a través del tamiz encontrado en la parte inferior. Este tamiz tiene una malla ASTM E-11/05 (N.o 120) de 125 μm . A la salida del molido y tamizado se realizará un control de calidad para verificar la granulometría de la quinua y kiwicha antes de pasar al mezclado.

4.5 Dosificado

El dosificador volumétrico es accionado por un motor eléctrico que controla la velocidad del tornillo dosificador de salida, de manera que se puede programar el caudal de salida por lotes para llegar a la proporción final adecuada. En esta etapa se incluye la leche en polvo y la cocoa en las proporciones requeridas.

4.6 Mezclado

En la mezcladora horizontal un agitador genera el movimiento de las dos cintas helicoidales, una interior y una exterior; esta última posee un diámetro y alcance mayor. La mezcla homogénea de quinua, kiwicha, leche en polvo y cocoa terminada se descarga por una compuerta inferior.

4.7 Envasado

La máquina envasadora automática contiene una tolva donde se coloca el producto mezclado y, por otro lado, es alimentado por una película plana dispuesta en forma de bobina, la cual vendría a ser el empaque de polietileno. El avance de la lámina se efectúa mediante rodillos laterales de tracción accionados por motor y el resto de los movimientos es neumático. Una vez terminado el sellado se depositan las bolsas en una paila y son movidas a la zona de encajado. Se colocan 20 bolsas en una caja y, tras una inspección final de calidad, se procede a sellarlas. El llenado de los sacos de 10 kg destinados al Programa Nutri+ (ver sección 6), se realizará de manera manual con ayuda de una balanza. Tanto las cajas selladas como los sacos de papel en parihuelas son llevados al almacén de productos terminados.

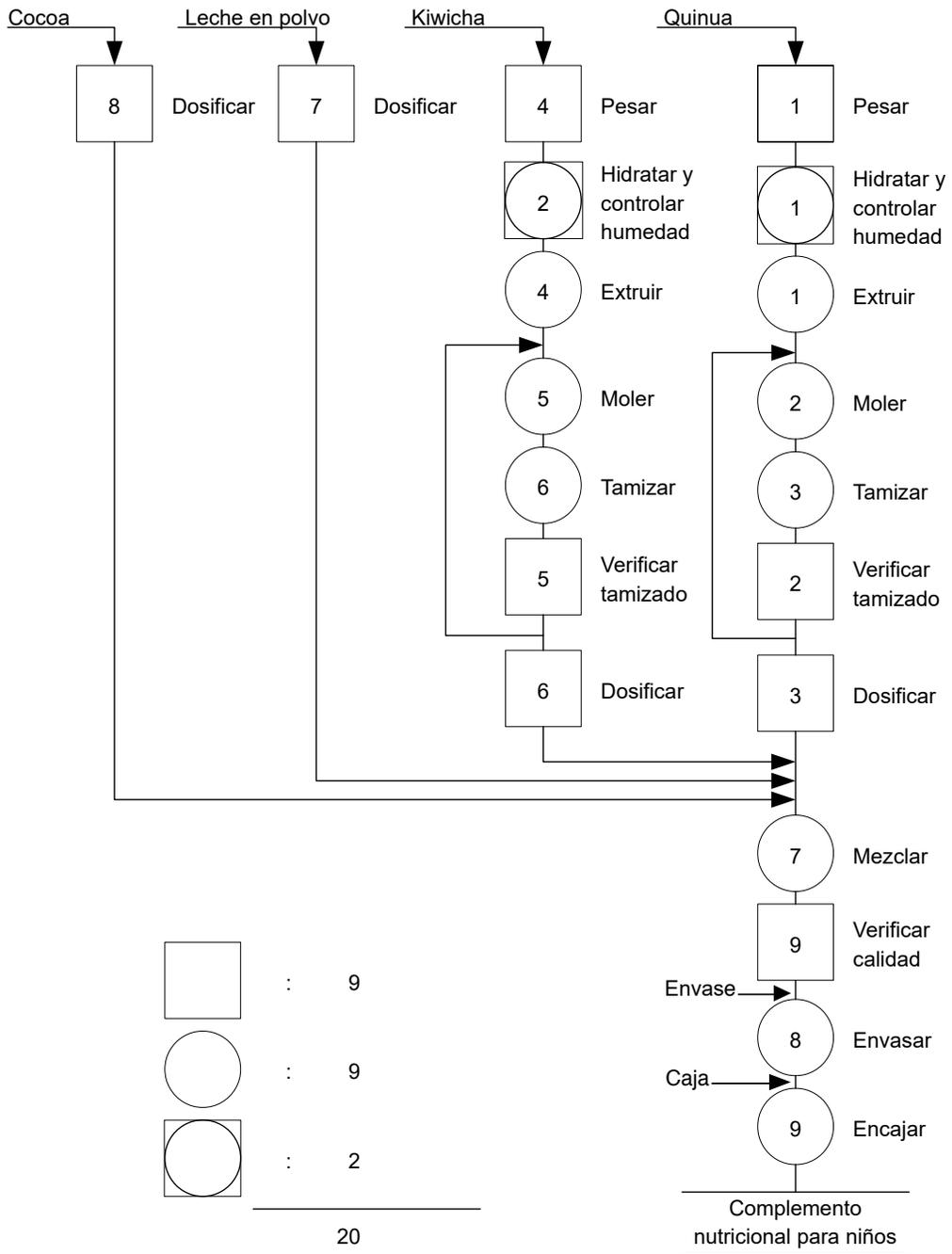


Figura 2. Diagrama de operaciones del proceso de elaboración del complemento nutricional
Elaboración propia

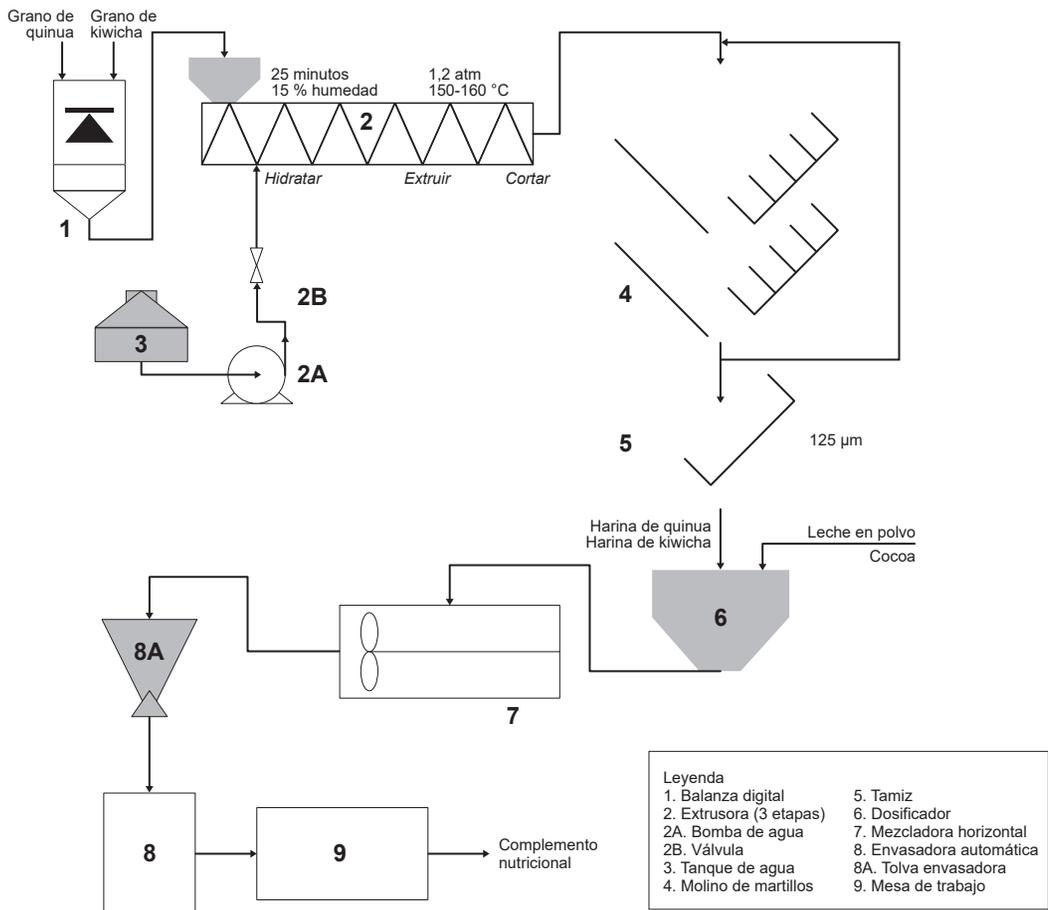


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de complemento nutricional
Elaboración propia

5. DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

La planta estará localizada en el distrito de Villa El Salvador, en Lima Metropolitana. La decisión se basó en comparar factores como distancia a los almacenes de los distribuidores, disponibilidad y costo del terreno, acceso a energía y agua, y facilidad de obtener permisos municipales.

Se diseña la planta teniendo como tamaño requerido la producción del último año del proyecto, en el cual la demanda es mayor: 174 459 kg de producto. El programa de producción incluye inventario de seguridad y el producto destinado al programa social Nutri+ (ver sección 6).

Tabla 8
Programa de producción anual (kg)

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Inventario inicial	0	318	339	359	379	400	420	440	461	481
Demanda	110 773	117 849	124 926	132 002	139 078	146 154	153 231	160 307	167 383	174 459
Nutri+			2356	2569	2800	3052	3326	3626	3952	4308
Producción	111 092	117 870	127 302	134 591	141 898	149 226	156 577	163 953	171 356	178 285
Inventario seguridad	318	339	359	379	400	420	440	461	481	502
Inventario final	318	339	359	379	400	420	440	461	481	0

Elaboración propia

En base a la producción anual y a la capacidad de cada máquina, se determina el número de máquinas requerido, siempre en función de la producción del último año.

Con la cantidad de máquinas y equipos se determina el área mínima de producción mediante el método de Guerchet, el cual considera el área de la maquinaria, el espacio requerido para operarlas y el uso de elementos móviles. El área requerida solo para la zona de producción es de 53,40 m².

Además de la zona de producción, la planta requiere de un almacén de insumos y de productos terminados, área de control de calidad, baño de planta, oficinas administrativas, un comedor, patio de maniobras, zona de desechos y finalmente una caseta de seguridad. Tomando en cuenta espacios para desplazamiento y disposición, la planta tendría un área de 28 por 21 m o 588 m².

Tabla 9
Número de máquinas requeridas

Máquina	Capacidad (kg/hora)	Q procesado (kg)	U	E	N.º Máq.
Balanza	150	55 043,3	0,95	0,83	1
Extrusora de 3 etapas	80	55 875,8	0,95	0,83	1
Molino de martillos	65	55 595,8	0,96	0,83	1
Malla ASTM E-11/95	65	55 039,8	0,96	0,83	1
Dosificador volumétrico de tornillos	271	182 598,7	0,92	0,83	1
Mezcladora de cinta horizontal	300	182 001,0	0,90	0,83	1
Envasadora automática	200	179 271,0	0,97	0,83	1

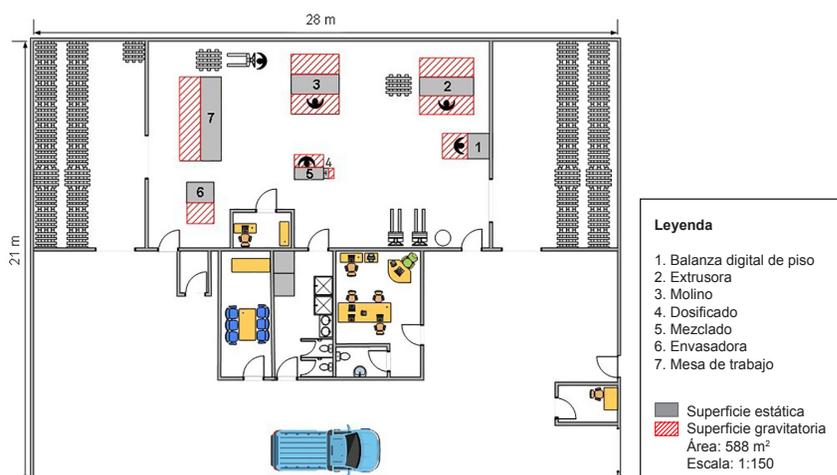


Figura 4. Plano de la planta
Elaboración propia

6. IMPACTO SOCIAL

Como se mencionó al principio, la empresa en estudio es una empresa social. El problema al que busca contribuir es combatir la desnutrición infantil en zonas menos favorecidas. Para cumplir con ello se implementó un plan integral en una zona que tenga un alto índice de desnutrición crónica infantil. En base a dicho factor y la distancia a Lima, se escogió como primera localidad la provincia de Huaytará, en Huancavelica.

Huancavelica fue seleccionada porque tiene el índice de desnutrición infantil más alto (42,4 %), seguida por Cajamarca (35,6 %) (INEI, 2009), y Huaytará porque la desnutrición infantil supera el 50 %, muy por encima del promedio del departamento.



Figura 5. Mapa del índice de desnutrición crónica infantil de Huancavelica

Fuente: INEI, 2009

6.1 Entrega de complemento alimenticio y lavado de manos

El distrito escogido es Santiago de Chocorvos, con un número potencial de niños para el programa de 1076. Se apunta a llegar al 25 % del total, lo cual equivale a 269 en el 2018, e irá incrementando a razón de 0.9 % al año, promedio del incremento anual de la población de Huancavelica (INEI, 2015).

La ejecución del programa incluye listar a los niños con su DNI o DNI de la madre, evaluación médica de los principales indicadores de desnutrición para el registro de estatura, peso, nivel de vitamina A, yodo y hierro. Estos indicadores de seguimiento serán medidos por un médico cada tres meses para obtener los impactos del programa.

En cada localidad se va seleccionar a una madre del programa: la promotora Nutri+. Ella será encargada de promocionar la asistencia para la entrega de los productos, revisión de la limpieza de manos y las capacitaciones de los padres. Además, será encargada del registro de asistencia, limpieza de manos, preparación, entrega y almacenamiento del producto. Este puesto será cambiado cada mes en coordinación con la municipalidad de Santiago de Chocorvos.

La entrega del desayuno será diaria en el centro, facilitada por la municipalidad. Los asistentes deben firmar la carta de asistencia, lavarse las manos de la forma en la que han sido capacitados. El desayuno consiste de una dosis del complemento nutricional (24 g), una fruta y un huevo. Los costos y gastos descritos serán cubiertos por las ganancias de la venta del producto en Lima Metropolitana. Se puede apreciar que, por los primeros dos años de vida del proyecto, no se realizará el Programa Nutri+ para así poder generar suficiente flujo de efectivo y en el tercer año poder implementarlo. Se presenta el detalle en la tabla 10.

Tabla 10
Costos y gastos del programa Nutri+

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Número de niños		269,0	293,2	319,6	348,4	379,7	413,9	451,1	491,7	
Producción Nutri+ (kg)		2356,4	2568,5	2799,7	3051,7	3326,3	3625,7	3952,0	4307,7	
Costos (PEN)										
Materia prima	0	0	41 124,7	44 825,9	48 860,2	53 257,6	58 050,8	63 275,4	68 970,2	75 177,5
Energía	0	0	671,4	679,5	688,4	698,1	708,7	720,2	732,8	746,5
Agua	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Total costos	0	0	41 796,2	45 505,6	49 548,8	53 955,9	58 759,7	63 995,8	69 703,2	75 924,2
Gastos (PEN)										
Distribución		20 800,0	20 800,0	20 800,0	20 800,0	20 800,0	20 800,0	20 800,0	20 800,0	20 800,0
Generales		20 000,0	21 000,0	22 050,0	23 152,5	24 310,1	25 525,6	26 801,9	28 142,0	
Capacitaciones	10 000,0	30 000,0	31 500,0	33 075,0	34 728,8	36 465,2	38 288,4	40 202,9	42 213,0	
Fruta		9818,5	10 702,2	11 665,4	12 715,2	13 859,6	15 107,0	16 466,6	17 948,6	
Huevo		24 546,3	26 755,4	29 163,4	31 788,1	34 649,0	37 767,4	41 166,5	44 871,5	
Personal		9600,0	9600,0	9600,0	9600,0	9600,0	9600,0	9600,0	9600,0	9600,0
Total gastos (PEN)	0,0	10 000,0	114 764,8	120 357,6	126 353,8	132 784,6	139 684,0	147 088,5	155 037,9	163 575,1
Total Nutri+ (PEN)	10 000,0	156 560,9	165 863,1	175 902,6	186 740,5	198 443,7	211 084,3	224 741,1	239 499,3	
Elaboración propia										

6.2 Capacitación de nutrición para los padres

Se programarán capacitaciones en los centros vecinales de los distritos vinculados o colegios donde se realizan las entregas del complemento, de forma trimestral. Además, todo el año estará disponible la entrega de material educativo por si las madres tienen consultas. Las capacitaciones están dirigidas a los padres de la zona y tendrán siempre la siguiente temática:

- La importancia de la lactancia materna exclusiva por seis meses.
- La importancia de una buena alimentación en el periodo de embarazo y lactancia.
- Educación sobre cocina saludable y balanceada para madres y niños.
- Higiene personal: lavado de manos y su importancia para tener una familia sana.
- Planificación familiar.

Para el desarrollo del material se utilizará el conocimiento de expertos y recursos del Estado como los generados por la Comisión de la Dieta Andina Nacional (platos económicos con ingredientes nacionales) y los manuales de limpieza de manos de Essalud.

7. VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA

Para analizar la viabilidad económica y financiera, primero se determina la inversión inicial (tabla 11).

Tabla 11
Inversión inicial total

Tipo de inversión	Costo (PEN)
Activos tangibles	172 373
Activos intangibles	326 121
Capital de trabajo	258 749
Total	756 749

Elaboración propia

Los activos tangibles incluyen maquinaria, equipos, muebles, equipo ofimático e imprevistos; los intangibles, estudios previos, puesta en marcha, gastos preoperativos e inversión en *software*. La inversión tiene una relación deuda-capital de 1,5, es decir 60 % préstamo y 40 % capital social. El préstamo es a cinco años de cuotas constantes y una TEA de 15,82 % (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2016).

Tabla 12
Flujo de fondos económicos considerando Nutri+

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Inversión										
- Inversión Total	- 756.749									
UJARL	203 386	246 561	256 317	317 162	365 435	425 789	469 165	490 964	532 892	571 020
Gastos financieros (70 %)	50 266	50 266	40 318	28 797	15 453	0	0	0	0	0
Depreciación no fabril	10 894	10 894	10 894	10 894	7 140	7 140	7 140	7 140	7 140	7 140
Depreciación fabril	8596	8596	8596	8596	8596	8596	8596	8596	8596	8596
Amortización de intangibles	32 612	32 612	32 612	32 612	32 612	32 612	32 612	32 612	32 612	32 612
Valor en libros										0
Capital de trabajo										258 255
FFE (PEN)	- 756.749	305 753	348 928	398 060	429 237	474 137	517 512	539 312	581 240	877 623

Elaboración propia

Tabla 13
Flujo de fondos financieros considerando Nutri+

	Inversión	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
-Inversión Total	- 756.749										
Préstamo	454.050										
UJARL	203.386	246.561	256.317	317.162	365.435	425.789	469.165	490.964	532.892	571.020	
Depreciación no fabril	10.894	10.894	10.894	10.894	7140	7140	7140	7140	7140	7140	
Depreciación fabril	8596	8596	8596	8596	8596	8596	8596	8596	8596	8596	
Amortización de intangibles	32.612	32.612	32.612	32.612	32.612	32.612	32.612	32.612	32.612	32.612	
Amortización de la deuda	0	89.859	104.070	120.529	139.591	0	0	0	0	0	
Valor en libros											0
Capital de trabajo											258.255
FFF (PEN)	-302.700	255.487	208.803	204.348	248.735	274.193	474.137	517.512	539.312	581.240	877.623

Elaboración propia

Los ingresos de la empresa están determinados por la venta del complemento nutricional, cuyo precio de venta al público es de PEN 10,50 por cada empaque de 200 g, precio definido en base al estudio de mercado y de la competencia.

Por otro lado, dentro de los gastos se tiene el costo de ventas (materia prima, insumos, servicios de planta, mano de obra, mantenimiento, alquiler fabril), los gastos administrativos (legal, contable, tecnológico), de *marketing*, logísticos, depreciación y gastos financieros (producto del préstamo obtenido).

Para analizar la viabilidad económica y financiera se toma en cuenta el retorno esperado de los accionistas [COK] a través del método de Modelo de Valoración de Activos Financieros: $COK = r_f + \beta_{proy} \times [r_m - r_f]$. El COK del proyecto es de 17,56 %.

En una empresa social, el resultado social y económico son igual de importantes. El fin social es importante puesto que es la razón de ser de la empresa y guía sus decisiones, pero la rentabilidad económica es la que determina si la empresa puede seguir funcionando, escalando y generando impacto. En las tablas 12, 13 y 14 se demuestra que una empresa con fin social puede ser rentable para los accionistas.

Tabla 14
Evaluación económica y financiera considerando Nutri+

	Evaluación económica	Evaluación financiera
VNA	PEN 1 930 917,10	PEN 1 550 628,46
VAN	PEN 1 174 167,77	PEN 1 254 928,73
TIR	48 %	82 %
B/C	2,55	5,12
P.R.	4,14	2,56

Elaboración propia

El programa Nutri+ es económica y financieramente rentable.

8. CONCLUSIONES

La instalación de una planta productora de complemento nutricional para niños es técnica y comercialmente viable porque existe un mercado interesado en el producto y la tecnología disponible para su realización.

El proyecto es económicamente viable porque los indicadores son positivos: la tasa interna de retorno es mayor al costo de oportunidad de los accionistas, el valor actual neto es mayor a cero, el beneficio costo es mayor a 1 y el periodo de recupero es inferior al tiempo de vida útil del proyecto.

Los resultados económicos son positivos aun cuando el proyecto tiene un fin social, teniendo el potencial de impactar a cientos de niños en Huancavelica.

REFERENCIAS

- Certificaciones Peruanas S. A. (CERPER) (2016). *Informe de Ensayo N.º 3-08780/16*. El Callao: Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2009). Encuesta demográfica y de salud familiar 2009. Visión nacional y departamental. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2012). Encuesta demográfica y de salud familiar (ENDES) 2012. Nacional y departamental. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2015). Población 2000 al 2015. Recuperado de <http://www.inei.gob.pe/web/poblacion/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2016). Producción manufacturera: producción de la industria de productos alimenticios y bebidas 2007-2012. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/>
- Instituto Nacional de Salud (2012). *Boletín INS (Perú) 18(11-12)*, p. 205.
- Ipsos Apoyo (2012a). *Estadística poblacional 2012*. Lima.
- Ipsos Apoyo (2012b). *Niveles socioeconómicos de Lima Metropolitana 2012. Informe Gerencial de Marketing*. Lima.
- Ipsos Apoyo (2013). *Niveles socioeconómicos de Lima Metropolitana 2013. Informe Gerencial de Marketing*. Lima.
- Ipsos Apoyo (2014). *Niveles socioeconómicos de Lima Metropolitana 2014. Informe Gerencial de Marketing*. Lima.
- Ipsos Apoyo (2015). *Niveles socioeconómicos de Lima Metropolitana 2015. Informe Gerencial de Marketing*. Lima.
- Mestanza, C., Riegel, R., Silva, H. y Vásquez, S. (2015). Characterization of the acetohydroxyacid synthase multigene family in the tetraploide plant *Chenopodium quinoa*. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0717345815000962>
- Ministerio de Salud (2012). Un gordo problema: Sobrepeso y obesidad en el Perú. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1830.pdf>

Soluciones Prácticas (2013). Kiwicha. Valor nutricional. Recuperado de <http://quinua.pe/kiwicha-valor-nutricional/>

Soluciones Prácticas (s. f.). Quinua. Valor nutricional. Recuperado de <http://quinua.pe/quinua-valor-nutricional/>

Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria (Sunat) (2016). Operatividad aduanera. Recuperado de <http://www.sunat.gob.pe/operatividad-aduanera/index.html>

Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (2016). Tasa de interés promedio. Recuperado de <http://www.sbs.gob.pe/>

BIBLIOGRAFÍA

Bazile, D. *et al.* (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. Santiago de Chile: FAO.

Briceño, M. y Godefroy, L. (2017). Estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta productora de un complemento nutricional para niños (tesis para optar el título de Ingeniero Industrial). Universidad de Lima.

Fondo Nacional de Desarrollo de la Educación Peruana (2016). Mapa de la desnutrición infantil en el Perú. Recuperado de <http://www.fondep.gob.pe/?p=1638>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2015). El mercado y la producción de quinua en el Perú. Recuperado de <http://www.iica.int/es/content/el-mercado-y-la-producci%C3%B3n-de-quinua-en-el-per%C3%BA>

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2016). La extrusión como tecnología flexible de procesamiento de alimentos. Recuperado de <http://www4.inti.gov.ar/gd/jornadas2000/Pdf/cempam-064.pdf>

Ocaña, J. (2012). Estudio de la aceptación de una bebida instantánea en base de semillas de quinua (*Chenopodium quínoa*) y amaranto (*Amaranthus cruentus*) para niños de edad escolar. (Trabajo de Investigación en Ingeniería de Alimentos). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador). Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/2030>

ESTUDIO PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOTAS PARA BEBÉS A PARTIR DE DURAZNO ENRIQUECIDO CON MACA, QUINUA, KIWICHA Y CAÑIHUA

HORACIO ALDANA MINAYA, RICARDO RIVAS ROMERO*

Universidad de Lima

Recibido: 4 de abril del 2018 / Aprobado: 29 de agosto del 2018

doi: 10.26439/ing.ind2019.n037 4549

RESUMEN: El presente artículo expone los resultados de una investigación para el desarrollo de una compota para bebés a partir de durazno, enriquecida con maca, quinua, kiwicha y cañihua, el cual es un alimento complementario para el bebé rico en vitaminas, proteínas y minerales, cuyo consumo es a partir de los seis meses de edad. Al final del estudio se concluye que el proyecto es factible técnicamente.

Palabras clave: compota / alimentos para bebés / durazno / maca / quinua / kiwicha / cañihua

A STUDY TO PREPARE BABY PEACH PURÉE ENRICHED WITH MACA, QUINOA, KIWICHA AND CAÑIHUA

ABSTRACT: This article presents the results of a research aimed at preparing a baby peach purée enriched with maca, quinoa, kiwicha and cañihua. This fruit purée is a complementary food rich in vitamins, proteins and minerals for babies from 6 months of age. At the end of the study, it is concluded that the project is technically feasible.

Keywords: fruit purée / baby food / peach / maca / quinoa / kiwicha / cañihua

* 20090027@aloe.ulima.edu.pe, ricardorivas21@outlook.es

1. PROBLEMÁTICA

Para el desarrollo del Perú no basta con tener recursos naturales, también es necesario tener un capital humano preparado, tanto física como intelectualmente, para enfrentar los retos futuros. Es por ello que esta investigación se concentra en el desarrollo de un alimento para una etapa esencial de la vida, como es la nutrición en la infancia, pues ahí se da el crecimiento y maduración cerebral, además de la multiplicación neuronal. La exposición a procesos prolongados de desnutrición en la infancia puede ocasionar deficiencias permanentes en el desarrollo, además de rezago intelectual. En la búsqueda de soluciones a este problema de desnutrición nace este proyecto, en el cual se busca rescatar los conocimientos ancestrales de los incas sobre granos andinos y combinarlos con tecnología de punta para ofrecer un alimento rico en vitaminas y proteínas para los infantes (Concha Pacheco, 1989; Mendoza Flórez, 1994).

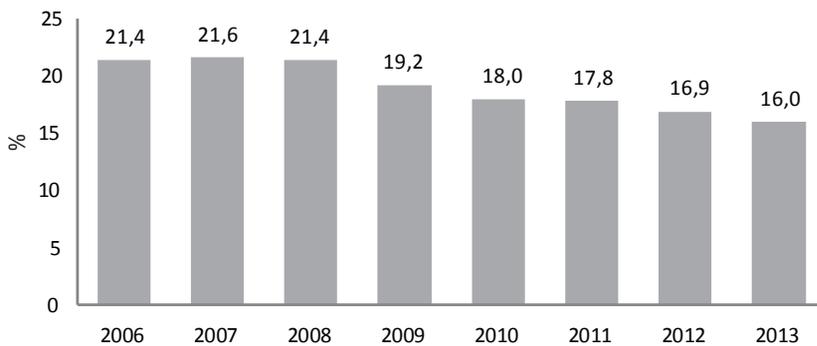


Figura 1. Perú: Proporción de menores de cinco años con desnutrición crónica, según patrón de referencia NCHS del 2006 al 2013

Fuente: INS, 2014



Figura 2. Consecuencias de la desnutrición infantil

Fuente: UNICEF, 2011

2. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

El producto final es una compota para bebés a partir de durazno enriquecido con maca, quinua, kiwicha y cañihua el cual es un alimento rico en vitaminas, proteínas y minerales. Viene en una presentación de 113 g, ideal para la capacidad gástrica del bebé, y está en un envase de plástico que garantiza la inocuidad del alimento. Asimismo, es un alimento complementario para el bebé a partir de los seis meses de edad, etapa en la que el principal alimento es la leche materna.

Tabla 1
Composición de la compota

Insumos	Gramos
Pulpa de durazno	105
Harina de maca	2
Harina de quinua	2
Harina de kiwicha	2
Harina de cañihua	2
Total	113

Elaboración propia

Tabla 2
Valor nutricional de la compota

Insumos	Energía (kcal)	Energía (kJ)	Proteínas (g)	Grasa total (g)	Carbohidratos totales (g)
Pulpa de durazno	67,2	281,4	0,63	0,105	17,955
Harina de maca	6,28	26,28	0,236	0,032	1,326
Harina de quinua	6,86	28,68	0,272	0,116	1,332
Harina de kiwicha	6,86	28,68	0,256	0,132	1,382
Harina de cañihua	6,88	28,78	0,286	0,1	1,256
Total	94,08	393,82	1,68	0,485	23,251

Fuente: INS, 2009

3. POTENCIALIDAD DEL RECURSO EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

El durazno se produce en las regiones que se indican en la tabla 3.

Tabla 3
Producción regional de durazno

Producción regional de durazno en el 2015	
Región	Producción (t)
Lima	35 750
Ancash, Ayacucho, Cusco, Apurímac, Moquegua y Tacna	19 250
Total	55 000

Fuente: Producción de duraznos y néctares, 2015

Las otras materias primas se obtienen en las regiones señaladas en la tabla 4.

Tabla 4
Producción regional de materias primas

Región	Producción 2015 (t)			
	Cañihua	Kiwicha	Quinua	Maca
Amazonas			26	
Ancash		1003	1674	
Apurímac		1280	5785	
Arequipa	7	1447	22 356	
Ayacucho		116	14 630	
Cajamarca			572	
Cusco	265	811	4337	
Huancavelica		49	1034	1 711
Huánuco			1428	
Ica			958	
Junín			8518	51 447
La Libertad		130	3172	
Lambayeque		1	778	
Lima			984	120
Moquegua			106	
Pasco			28	4 609
Piura			123	
Puno	4462		38 221	82
Tacna			891	
Total	4734	4837	105 621	57 969

Fuente: INEI, 2015

4. PROCESO DE PRODUCCIÓN

El proceso inicia con la recepción de la materia prima e insumos. Llegan los duraznos en cajas, las harinas de maca, quinua, kiwicha y cañihua en sacos, los frascos y tapas en cajas, la solución desinfectante Tego en envases de plástico de 20 l, las planchas de cartón amarradas, las etiquetas en bobinas embolsadas y los camiones cisterna con soda cáustica líquida al 50 % de concentración. Luego de la recepción se realiza el pesado de los duraznos y de las harinas de maca, quinua, kiwicha y cañihua en las básculas. Las harinas pasan por un control de calidad donde se evalúa si existe algún riesgo biológico (desarrollo de organismos patógenos y micotoxinas) mediante un análisis microbiológico, y de riesgo físico (incorporación de algún material que no sea harina) mediante un análisis físico organoléptico, en el cual el técnico de calidad mira, palpa y verifica el color de las harinas.

Luego de ser pesados, los duraznos son lavados con una solución de Tego al 0,1 % en una máquina lavadora de frutas donde son empujados por la corriente de agua en combinación con un sistema compartimental de paletas de velocidad variable. Esta lavadora contiene una cinta transportadora modular montada sobre el fondo del tanque que permite un transporte controlado de los productos con flotabilidad negativa a través de la lavadora hasta el elevador de descarga. Para reforzar la acción de lavado convencional hay un sistema especial de agitación por aire que intensifica el resultado de lavado y limpieza. Después del lavado se realiza la selección, donde se eliminan todos los duraznos no aptos para el procesamiento (verdes, podridos o dañados) y los que no cumplen con el tamaño adecuado (\varnothing 56-61 mm y altura 54-59 mm, aproximadamente). Esto se realizará a través de una cinta transportadora, mediante inspección visual, siendo separados manualmente los seleccionados.

Los duraznos elegidos ingresan a la máquina descarozadora y son ubicados en las cavidades de la cadena portafritos, la cual tiene un sistema de orientado automático (posiciona la zona de unión al pedúnculo hacia abajo y la sutura natural paralela hacia la cuchilla para que el corte la siga). Luego los duraznos son cortados mediante cuchillas planas y descarozados con cuchillas curvas. Finalmente, el conjunto de la fruta cae sobre una bandeja vibrante con perforaciones la cual separa los carozos de las mitades del durazno (6,2 % del peso). Estas mitades son enviadas a la máquina orientadora, donde son colocadas con la copa hacia abajo mediante vibración; la velocidad de la máquina es de hasta 3000 mitades por minuto. Al salir son enviados a la peladora química.

Paralelamente a esto se realiza la dilución de la soda cáustica líquida que ingresó en camiones cisterna a una concentración del 50 %, que es almacenada en tanques de polietileno de alta densidad, con muros de contención en caso de derrame. Para llevar a cabo la dilución de la soda cáustica se transporta mediante tuberías de acero al carbono a un tanque intermedio de polietileno de alta densidad el cual se llena de agua

y posteriormente se permite su paso, concentrada al 50 %, hasta obtener una solución del 1,5 al 2 %. De este tanque intermedio, la soda cáustica diluida se transporta mediante tuberías a la peladora química.

En la peladora química los duraznos con la copa hacia abajo pasan por un sistema de ducha con hidróxido de sodio del 1,5 al 2 %, a una temperatura de 92 a 95 °C. Luego pasan por un envejecimiento por cámara de vapor vivo que concentra la soda cáustica sobre la piel del durazno, haciéndolo más efectivo, y finalmente por una ducha de agua que elimina la soda cáustica y la piel (12,4 % del peso). Después de ser pelados, los duraznos en mitades pasan a un proceso de escaldado en el cual se desactivan las enzimas pécticas responsables del pardeamiento enzimático (que producen cambios desagradables en el color y sabor de las frutas) y para reblandecer su tejido para la posterior operación de despulpado, donde los duraznos en mitades pasan por la máquina despulpadora (la cual a su vez es tamizadora) y obtenemos una pasta fina (en caso de que los duraznos en mitades tengan residuos de cáscaras y carozos, estos se eliminan durante este proceso). Una vez obtenida, la pulpa de durazno está lista para el proceso de mezclado.

En el proceso de mezclado, la pulpa de durazno y las harinas de maca, quinua, kiwicha y cañihua son mezcladas de acuerdo a fórmula en la mezcladora de paletas por cinco minutos. Posteriormente, la mezcla es trasladada a la marmita de vapor eléctrica para el proceso de pasteurizado, en el cual se busca eliminar los microorganismos y patógenos que podrían alterar el producto, mediante tratamiento térmico a 90 °C por cinco minutos. En la parte izquierda de la marmita hay una bomba la que envía la pasta a un tanque de acero inoxidable para almacenar el producto y alimentar a la máquina llenadora-tapadora.

Antes de iniciar el proceso de llenado y tapado se deben esterilizar los envases de plástico y tapas en una máquina esterilizadora de tipo giratorio. El proceso de esterilizado se realiza en tres fases: en la primera se inyecta aire caliente a una temperatura de 80 °C para un calentamiento previo de los envases y tapas; en la segunda se inyecta agua oxigenada nebulizada a una concentración del 30 %, y en la tercera fase se inyecta aire caliente a una temperatura de 80 °C, el cual permite eliminar posibles residuos de agua oxigenada. Luego de esto, los envases de plástico y tapas están listos para pasar a la máquina llenadora-tapadora.

En el llenado y tapado, la mezcla pasteurizada y los envases y tapas esterilizados ingresan a la máquina llenadora-tapadora al vacío la cual garantiza tener una compota inocua y de duración de seis meses en condiciones adecuadas de almacenamiento. Luego, las compotas pasan por una máquina etiquetadora automática con sensor, la cual detecta el envase y realiza el proceso de etiquetado. Finalmente las compotas son almacenadas en cajas de cartón mediante una máquina encajadora (en cada caja hay 200 compotas) para su venta.

Tabla 5
Selección de la tecnología

Operación	Tecnología	Descripción
Pesado	Balanza portátil	Para el pesado se seleccionó la balanza portátil ya que permite movilizarla de acuerdo a los requerimientos del proceso productivo.
Lavado	Lavado por inmersión	Para el lavado se seleccionó el lavado por inmersión debido a que cumple con los requerimientos de limpieza del durazno.
Seleccionado	Faja transportadora	Para el seleccionado se utilizará la faja transportadora ya que se tendrá una sola línea de producción.
Descarozado	Máquina descarozadora por cuchareo	Para el descarozado se utilizará la máquina descarozadora por cuchareo, la cual tiene un sistema de orientado automático en las cavidades de la cadena portafritos.
Orientado	Máquina orientadora	Para colocar los duraznos copa hacia abajo se utilizará la máquina orientadora ya que realiza la función con más rapidez y evita el error humano.
Pelado químico	Método por aspersión	Para el pelado químico se utilizará el método por aspersión ya que tiene un uso más eficiente del agua.
Escaldado	Por inmersión	Para el escaldado se utilizará el escaldado por inmersión ya que se adecúa más a la configuración de la línea de producción.
Despulpado y tamizado	Máquina despulpadora	Para el despulpado y tamizado se utilizará una máquina despulpadora a la cual se alimentarán duraznos en mitades, lo que genera una mayor eficiencia en el proceso.
Mezclado	Mezcladora de paletas	Se utilizará una mezcladora de paletas ya que es la adecuada para la mezcla de productos pastosos en la industria de alimentos.
Pasteurizado	Marmita a vapor eléctrica	Se utilizará el pasteurizado mediante una marmita a vapor eléctrica debido a que no depende de otra máquina para trabajar.
Esterilizado	Esterilizadora de tipo giratorio	Se utilizará una esterilizadora de tipo giratorio la cual realiza el proceso de esterilizado mediante aire caliente y agua oxigenada.
Llenado y tapado	Llenado y tapado al vacío	Se utilizará una máquina llenadora tapadora al vacío debido a que el producto no tiene preservantes y la ausencia de oxígeno le permite una duración de seis meses.
Etiquetado	Etiquetadora con sensor	Se utilizará una máquina etiquetadora con sensor ya que realiza el proceso más rápido y con menor porcentaje de error.
Encajado	Máquina encajadora	Se utilizará una máquina encajadora ya que realiza el proceso más rápido y con menor porcentaje de error.

Elaboración propia

5. BALANCE DE MATERIA

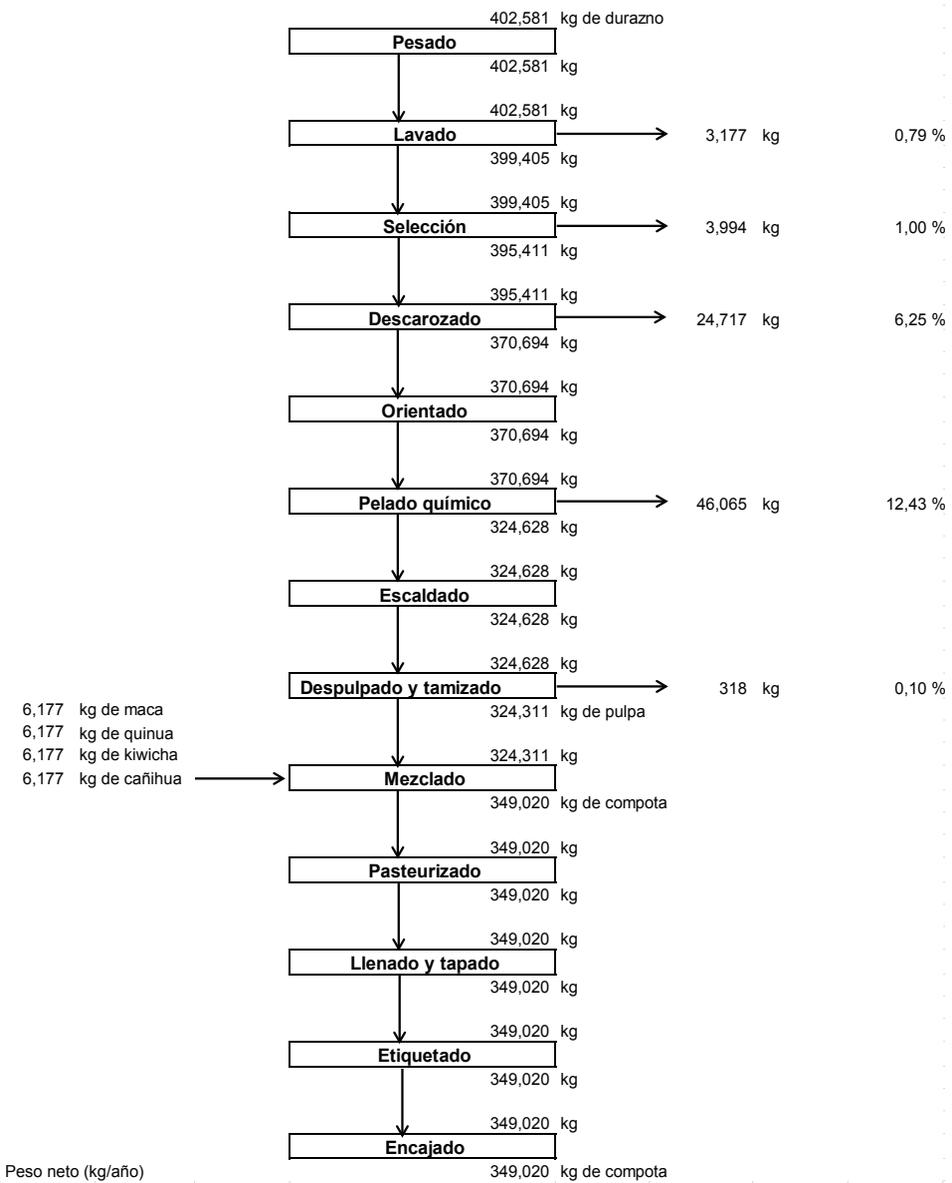


Figura 4. Balance de materia
Elaboración propia

6. RESGUARDO DE CALIDAD E INOCUIDAD DEL PRODUCTO

6.1 Calidad de la materia prima, de los insumos, del proceso y del producto

6.1.1 Calidad de la materia prima

Para que el durazno (que representa el 93 % del producto final) y la harina de maca, quinua, kiwicha y cañihua (que representan el 7 % del producto final) se encuentren aptos para el proceso de producción deben cumplir con las características de la tabla 6.

Tabla 6
Características de las materias primas

Materia prima	Requerimiento
Durazno	<ul style="list-style-type: none"> • Forma: Debe ser semiesférico, con un surco longitudinal bien marcado, de piel lisa o pubescente. • Color: amarillo o rojizo. • Peso: 127 a 132 g. • Diámetro: 56-61 mm. • Altura: 54-59 mm. • Sabor: dulce. • Olor: perfumado.
Harina de maca	<ul style="list-style-type: none"> • Debe estar libre de organismos patógenos y micotoxinas, y no debe tener ningún material extraño que no sea harina. • Color: beige claro. • Humedad: máximo 7 %.
Harina de quinua	<ul style="list-style-type: none"> • Debe estar libre de organismos patógenos y micotoxinas, y no debe tener ningún material extraño que no sea harina. • Color: beige claro. • Humedad: máximo 7 %.
Harina de kiwicha	<ul style="list-style-type: none"> • Debe estar libre de organismos patógenos y micotoxinas, y no debe tener ningún material extraño que no sea harina. • Color: beige claro. • Humedad: máximo 7 %.
Harina de cañihua	<ul style="list-style-type: none"> • Debe estar libre de organismos patógenos y micotoxinas, y no debe tener ningún material extraño que no sea harina. • Color: beige claro. • Humedad: máximo 7 %.

Elaboración propia

Dichas características deberán ser especificadas al proveedor para cumplir con la calidad de la compota.

6.1.2 Calidad de los insumos

Al igual que la materia prima, los insumos a utilizar deben cumplir ciertos requerimientos de calidad (tabla 7).

Tabla 7
Características de los insumos

Insumo	Requerimiento
Envase	Debe ser de PET y tener una superficie libre de ralladuras, abolladuras o rajaduras. De un diámetro de 55 mm y altura de 66 mm.
Tapa	Debe ser de PET. De un diámetro de 55 mm y altura 10 mm.
Etiqueta	Debe tener una impresión nítida. Una altura de 66 mm y una longitud de 173 mm.

Elaboración propia

Dichas características deberán ser especificadas a los proveedores de los insumos para cumplir con la calidad de la compota.

6.1.3 Calidad en el proceso

Se realizará un control de calidad en las siguientes etapas:

Al recibir las harinas de maca, quinua, kiwicha y cañihua, se seleccionará una muestra de cada una y se le realizará un análisis microbiológico para descartar el desarrollo de organismos patógenos y micotoxinas; asimismo, se le realizará un análisis físico organoléptico en el cual el técnico de calidad mira, palpa y verifica el color de las harinas para descartar que incorporen algún material extraño.

Después de esterilizar los frascos y tapas, se seleccionará una muestra aleatoria de frascos y tapas y se le realizará una prueba de conteo de colonias. En esta prueba se pasará un hisopo en el frasco y un hisopo en la tapa y se colocarán las muestras en un medio de cultivo. Luego se realizará una prueba de crecimiento de bacterias a temperatura ambiente, temperatura refrigerada y temperaturas mayores para saber si hay bacterias. El límite máximo permisible es de 10^3 hasta 10^6 bacterias.

Luego del pasteurizado de la mezcla, se tomará una muestra de la mezcla y se le realizará una prueba de conteo de colonias. En esta prueba se colocará la muestra en un medio de cultivo. Luego se realizará una prueba de crecimiento de bacterias a temperatura ambiente, temperatura refrigerada y temperaturas mayores para saber si hay bacterias. El límite máximo permisible es de 10^3 hasta 10^6 bacterias para resguardar la calidad del producto.

Además, para garantizar la salubridad del producto se les entregarán a los operarios que intervengan en el proceso de producción los siguientes elementos de protección: guantes, mascarillas, traje de cuerpo que incluye la protección a la cabeza y cubrezapatos.

6.1.4 Calidad en el producto terminado

Según la norma Codex STAN 73-1981, el producto final debe cumplir con lo siguiente:

- El producto se envasará en recipientes que preserven las cualidades higiénicas o de otra índole del alimento. El contenido del envase no será inferior al 80 % del volumen del envase cuando pese menos de 150 g.
- En la etiqueta, el nombre del alimento llevará el del ingrediente o ingredientes más importantes o característicos e irá seguido de las indicaciones necesarias sobre su consistencia o sobre el uso a que se destina. En la etiqueta figurará la lista completa de los ingredientes, por orden decreciente de proporciones, salvo cuando se hayan añadido vitaminas o minerales, que se indicarán como grupos de vitaminas o de minerales, respectivamente, sin que dentro de tales grupos sea necesaria su enumeración por orden decreciente de proporciones.
- La declaración de información sobre nutrición deberá contener la cantidad de energía expresada en calorías (kcal) o kilojulios (kJ), y el número en g de proteínas, carbohidratos y grasa por cada 100 g de alimento vendido, así como por cada cantidad determinada de alimento cuyo consumo se sugiere.
- Se indicará la fecha de duración mínima (precedida de la expresión "Consumir preferentemente antes del") mediante el día, mes y el año, en orden numérico no cifrado, con la excepción de que, para los productos que tengan una duración superior a tres meses, bastará la indicación del mes y del año. El mes podrá indicarse por letras en aquellos países en los que esta indicación no induzca a confusión al consumidor. Cuando se trate de productos en que solo se requiera la declaración del mes y del año, y la duración del producto alcance hasta el final de un determinado año, podrá emplearse como alternativa la expresión "fin de (indicar el año)".
- Además de la fecha se indicarán condiciones especiales para la conservación del alimento si de su cumplimiento depende la validez de la fecha. Siempre que sea factible, las instrucciones para la conservación deberán figurar lo más cerca posible de la marca que indica la fecha. En la etiqueta o en el folleto que acompaña al producto se darán instrucciones sobre su preparación y uso, así como sobre su almacenamiento y conservación después de abrirse el envase.
- El producto no es sustitutivo de la leche materna y no deberá presentarse así.

Adicionalmente, cuando la compota está en el almacén de producto terminado se seleccionará una muestra de forma aleatoria, se verificará que el envase esté sellado; luego se procederá a abrirlo, se tomará una muestra de la compota y se le realizará una prueba de conteo de colonias. En esta prueba se colocará la muestra en un medio de cultivo. Luego se realizará una prueba de crecimiento de bacterias a temperatura ambiente, temperatura refrigerada y temperaturas mayores para saber si hay bacterias. El límite máximo permisible es de 10^3 hasta 10^6 bacterias para resguardar la calidad del producto. Asimismo, se comparará el producto contra una muestra estándar y se verificará que tenga el mismo color, olor, sabor, textura y consistencia.

6.2 Medidas de resguardo de la calidad en la producción

Para el resguardo de la calidad en la producción se utilizará el sistema HACCP, que permite identificar peligros específicos y medidas para su control con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos. Se procederá a realizar el análisis de riesgos (tabla 8).

Tabla 8
Análisis de riesgos

Etapa	Peligro	¿Peligro significativo?	Justificación de la decisión	¿Qué medidas preventivas pueden ser aplicadas?
Recepción de las cajas de duraznos	- Deterioro de las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del durazno	Sí	- Mala manipulación de las cajas durante la entrega que ocasiona golpes y aceleración del proceso de putrefacción de los duraznos	Controlar y evaluar constantemente los envíos de los proveedores. Mejorar los procedimientos de descarga y recepción
Recepción de las harinas de maca, quinua, kiwicha y cañihua	- Contaminación física por materiales extraños - Aparición de insectos - Contaminación química y microbiológica	Sí	- Mal cosido de los sacos que contienen las harinas - Inadecuadas condiciones de transporte - Manejo de los sacos en condiciones higiénicas no adecuadas	Evaluación constante de los proveedores. Los envíos deben realizarse en sacos esterilizados Controles exhaustivos. Verificar la integridad de los lotes de pedido

(continúa)

(continuación)

Recepción del hidróxido de sodio	- Quemaduras nasales, en la boca, esófago, estómago y en la piel	Sí	- Mala manipulación en la descarga	Capacitación a los operarios sobre la descarga del hidróxido de sodio
Recepción de la gasolina de 98 octanos	- Explosión, los vapores generan náuseas, dolor de cabeza, alteraciones al sistema nervioso central; su ingestión provoca diarrea, mareos e intoxicación y su contacto con la piel y ojos produce irritación, conjuntivitis y quemaduras	Sí	- Mala manipulación en la descarga	Capacitación a los operarios sobre la descarga del combustible y conectar los barriles de combustible a tierra
Recepción de la solución de Tego	- Envases rajados	Sí	- El líquido desinfectante podría entrar en contacto con algún otro insumo	No recepción de envases con solución de Tego en malas condiciones
Almacenamiento de los duraznos	- Deterioro de las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del durazno	Sí	- Altera la calidad del producto final - Es perjudicial para la salud de los infantes	Evaluación de las condiciones ambientales del almacén de materias primas a fin de controlar la vida útil del durazno
Almacenamiento de las harinas de maca, quinua, kiwicha y cañihua	- Deterioro del producto y disminución de su vida útil - Enranciamiento de las harinas	Sí	- Rotura de los sacos - Posible presencia de roedores e insectos Inadecuadas condiciones ambientales en el almacén	Realizar controles de temperatura en el almacén de materia prima Realizar un programa de limpieza y fumigación en los tres almacenes
Dilución	- Explosión	Sí	- Si no se realiza el procedimiento establecido para la dilución del hidróxido de sodio concentrado hay riesgo de explosión	Capacitación a los operarios sobre el procedimiento de dilución del hidróxido de sodio concentrado

(continúa)

(continuación)

Pasteurizado	- Los microorganismos y organismos patógenos sobreviven al pasteurizado.	Sí	- Del pasteurizado depende el tiempo de duración de la compota y su calidad.	Verificar que se hace el pasteurizado de acuerdo a los parámetros establecidos.
Esterilizado	- Presencia de microorganismos en los envases y tapas después del esterilizado.	Sí	- Es indispensable que los envases y tapas estén esterilizados para garantizar la inocuidad de la compota.	Verificar que se realiza el proceso de esterilizado de acuerdo a los parámetros establecidos.

Elaboración propia

A partir de la tabla 8 es posible concluir que los puntos críticos de control son la recepción del hidróxido de sodio, la recepción de la gasolina de 98 octanos, dilución, pasteurizado y esterilizado.

Luego se procederá a realizar el análisis de los puntos críticos de control identificados en la tabla 9, los cuales son esenciales para prevenir o eliminar un peligro relacionado con la inocuidad de los alimentos o para reducirlo a un nivel aceptable.

7. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Se procederá a realizar el análisis de las operaciones del proceso de producción e identificación de los posibles impactos ambientales que pudieran generar (tabla 10).

8. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Para la planificación del sistema de gestión de la seguridad se utilizará el método IPER, que permite priorizar los riesgos en función del nivel crítico establecido, y las acciones preventivas se desarrollarán en base a los riesgos priorizados (tabla 11).

Tabla 9
Puntos críticos de control

PCC	Peligro significativo	Límites críticos por medida	Monitoreo			Acciones correctivas	Registros	Verificación
			Qué	Cómo	Frecuencia			
Recepción del hidróxido de sodio	Quemaduras nasales, en la boca, esófago, estómago y en la piel	Capacitaciones al personal 2 veces al mes	Que se cumpla el plan de capacitación sobre prevención de riesgos	Control de asistencia del personal a las capacitaciones	2 veces al mes	Controlar la asistencia del personal mensualmente e incentivar económicamente la participación	Documento con el nombre de los asistentes a las charlas sobre prevención de riesgos	Verificar que el indicador de cantidad de accidentes relacionados al manipuleo del hidróxido de sodio sea menor o igual a 1 mensualmente
Dilución del hidróxido de sodio	Explosión	Capacitaciones al personal 2 veces al mes	Que se cumpla el plan de capacitación sobre prevención de riesgos	Control de asistencia del personal a las capacitaciones	2 veces al mes	Controlar la asistencia del personal mensualmente e incentivar económicamente la participación	Documento con el nombre de los asistentes a las charlas sobre prevención de riesgos	Verificar que el indicador de cantidad de accidentes relacionados al manipuleo del hidróxido de sodio sea menor o igual a 1 mensualmente
Recepción de la gasolina de 98 octanos	Explosión, los vapores generan náuseas, dolor de cabeza, vómitos, alteraciones al sistema nervioso central, su ingestión provoca diarrea, mareos e intoxicación y su contacto con la piel y ojos produce irritación, conjuntivitis y quemaduras	Capacitaciones al personal 2 veces al mes	Que se cumpla el plan de capacitación sobre prevención de riesgos	Control de asistencia del personal a las capacitaciones	2 veces al mes	Controlar la asistencia del personal mensualmente e incentivar económicamente la participación	Documento con el nombre de los asistentes a las charlas sobre prevención de riesgos	Verificar que el indicador de cantidad de accidentes relacionados al manipuleo de la gasolina de 98 octanos sea menor o igual a 1 mensualmente

(continúa)

(continuación)

Pasteurizado	Los microorganismos y organismos patógenos sobreviven al pasteurizado	El calentamiento debe darse a 90 °C durante 5 minutos	Temperatura a la que se da el pasteurizado	Verificar el control ajustable de temperatura	Cada vez que se realiza el pasteurizado	Operario de la estación de pasteurizado	Ajustar la temperatura a lo establecido en el procedimiento antes de realizar el pasteurizado	Documento con fecha, hora y temperatura a la que se trabajó el pasteurizado	Realizar un control de calidad mediante la selección de una muestra de la mezcla pasteurizada para verificar que esté libre de microorganismos y organismos patógenos
Esterilizado	Presencia de microorganismos en los envases y tapas después del esterilizado	El aire caliente debe estar a 80 °C y el agua oxigenada nebulizada a una concentración del 30 %	Temperatura del aire Concentración del agua oxigenada nebulizada	Verificar que los valores de temperatura del aire y concentración del agua oxigenada nebulizada que muestra el PLC coinciden con los establecidos en el procedimiento	Verificar cada 30 minutos	Operario de la estación de esterilizado	Ajustar la temperatura del PLC a lo establecido en el procedimiento antes de realizar el esterilizado	Documento con fecha, hora y temperatura del aire caliente y la concentración del agua oxigenada nebulizada	Realizar un control de calidad mediante una selección aleatoria de los envases y tapas esterilizados

Elaboración propia

Tabla 10
Impactos ambientales

Actividad	Salidas	Impacto ambiental	Medida correctiva
Recepción de materias primas, insumos y combustible	Emisión de dióxido de carbono por parte de los camiones	Contaminación del aire por aumento de gases de efecto invernadero	Solicitar a los proveedores que realicen mantenimientos periódicos a los motores de los camiones para que tengan una combustión completa
Almacenamiento de materias primas e insumos	Emisión de dióxido de carbono por parte de los montacargas	Contaminación del aire por aumento de gases de efecto invernadero	Mantenimiento mensual al motor del montacargas para que realice una combustión completa
Pesado	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Control de calidad	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Lavado de los duraznos	Agua con solución de Tego y restos de tierra Envases de la solución de Tego	Contaminación del agua Contaminación por generación de residuos sólidos	Tratamiento de efluentes en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ventanilla Vender los envases de plástico a empresas recicladoras de plástico
Seleccionado	Duraznos verdes, podridos o dañados	Contaminación por generación de residuos sólidos	Vender los duraznos verdes, podridos o dañados a empresas fabricadoras de compost
Descarozado	Restos de carozo.	Contaminación por generación de residuos sólidos	Vender los restos de carozo a empresas fabricadoras de compost
Orientado	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Dilución	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Pelado químico	Agua con hidróxido de sodio y restos de cáscara de durazno	Contaminación del agua	Tratamiento de efluentes en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ventanilla
Escaldado	Agua con restos de durazno	Contaminación del agua	Tratamiento de efluentes en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ventanilla
Despulpado y tamizado	Restos de carozo y cáscaras de durazno	Contaminación por generación de residuos sólidos	Vender los restos de carozo y cáscaras de durazno a empresas fabricadoras de compost
Mezclado	Sacos que contenían las harinas	Contaminación por generación de residuos sólidos	Devolver los sacos al proveedor para su reutilización
Pasteurizado	Ninguno	Ninguno	Ninguno

(continúa)

(continuación)

Esterilizado	Vapor de agua oxigenada	Contaminación del aire	Ninguno pues la contaminación es mínima
Llenado y tapado	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Etiquetado	Bolsas de plástico que contenían las bobinas de etiquetas	Contaminación por generación de residuos sólidos	Vender las bolsas de plástico a empresas recicladoras de plástico
Encajado	Rafia	Contaminación por generación de residuos sólidos	Vender la rafia a empresas recicladoras de plástico
Almacenamiento de producto terminado	Emisión de dióxido de carbono por parte de los montacargas	Contaminación del aire por aumento de gases de efecto invernadero	Mantenimiento mensual al motor del montacargas para que realice una combustión completa

Elaboración propia

Tabla 11
IPER

Tarea	Peligro	Riesgo	Probabilidad					Índice de severidad	Probabilidad x Severidad	Nivel de riesgo	Riesgo significativo	Medidas de control
			Índice de personas expuestas (A)	Índice de procedimientos existentes (B)	Índice de capacitación (C)	Índice de exposición al riesgo (D)	Índice de probabilidad (A+B+C+D)					
Recepción y almacenamiento de materias primas sodio e insumos	Hidróxido de sodio	Probabilidad de tener quemaduras nasales, en la boca, esófago, estómago y en la piel	1	1	1	2	5	3	15	Moderado	Si	Capacitación a los operarios sobre la manipulación del hidróxido de sodio
Recepción y almacenamiento del combustible	Gasolina de 98 octanos	Probabilidad de explosión, náuseas, dolor de cabeza, vómitos, alteraciones al sistema nervioso central, diarrea, mareos e intoxicación, irritación de la piel, conjuntivitis y quemaduras	1	1	1	2	5	3	15	Moderado	Si	Capacitación a los operarios sobre la manipulación de la gasolina de 98 octanos
Pesado	Asillas de las cajas de madera	Probabilidad de enterrarse una asilla en la mano	1	1	1	3	6	1	6	Tolerable	No	Entregar a los operarios guantes protectores.
Control de calidad	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno

(continúa)

(continuación)

Lavado de los duraznos	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Seleccionado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Descarozado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Orientado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Dilución	Hidróxido de sodio	Probabilidad de explosión	1	1	1	1	5	3	15	Moderado	Sí	Capacitación a los operarios sobre el procedimiento de dilución del hidróxido de sodio
Pelado Químico	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Escaldado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Despulpado y tamizado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Mezclado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Pasteurizado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Esterilizado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Llenado y tapado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Etiquetado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Encajado	Ninguno	Ninguno	1	1	1	1	4	1	4	Trivial	No	Ninguno
Almacenamiento de producto terminado	Montacargas	Probabilidad de atropellar a un operario de planta	1	1	1	3	6	2	12	Moderado	Sí	Señalar las áreas por donde transita el montacargas
Elaboración propia												

Tabla 12
Criterios de evaluación IPER

Índice	Probabilidad			Exposición al riesgo	Severidad (consecuencia)
	Personas expuestas	Procedimientos existentes	Capacitación		
1	1 a 3	Existen, son satisfactorios y suficientes	Personal entrenado, conoce el peligro y lo previene	Al menos una vez al año, esporádicamente	Lesión sin incapacidad. INCOMODIDAD
2	4 a 12	Existen parcialmente y no son satisfactorios o suficientes	Personal parcialmente entrenado, conoce el peligro pero no toma acciones de control	Al menos una vez al mes, eventualmente	Lesión con incapacidad DAÑO A SALUD REVERSIBLE
3	12 a más	No existen	Personal no entrenado, no conoce el peligro, no toma acciones de control	Al menos una vez al día, permanente	Lesión con incapacidad DAÑO A SALUD IRREVERSIBLE

Elaboración propia

Tabla 13
Nivel de riesgo

Nivel de riesgo	Postura
Trivial 4	<ul style="list-style-type: none"> No requiere acción específica
Tolerable 5 - 8	<ul style="list-style-type: none"> Mantener eficacia de las acciones preventivas Buscar alternativas más económicas Comprobar e inspeccionar periódicamente para mantener el nivel
Moderado 9 - 16	<ul style="list-style-type: none"> Aplicar acciones para reducir el riesgo en un plazo determinado Si el riesgo está asociado a consecuencias extremadamente dañinas (mortal o grave), volver a evaluar para mejorar resultados
Importante 17 - 24	<ul style="list-style-type: none"> No empezar el trabajo hasta reducir el riesgo Es posible que requiera importantes recursos para control del riesgo Si el riesgo está asociado a un trabajo que está realizándose, solucionar en corto plazo
Intolerable 25 - 36	<ul style="list-style-type: none"> No empezar ni continuar el proceso hasta no reducir el riesgo Si no es posible reducir el riesgo, prohibir el trabajo (incluso con recursos limitados)

Elaboración propia

9. CONCLUSIÓN

El proyecto es viable técnicamente debido a que es posible producir la compota; se dispone de la tecnología y de las materias primas. Asimismo, se garantizan las medidas de seguridad y salud ocupacional y se controlan los posibles impactos ambientales. El cuello de botella es la estación de etiquetado, que tiene una tasa de producción de 339 kg/hora, la cual determina la velocidad del proceso. Los riesgos más significativos del proceso son los relacionados a las tareas de recepción y almacenamiento de materias primas e insumos, recepción y almacenamiento de combustible, dilución del hidróxido de sodio y almacenamiento del producto terminado.

REFERENCIAS

- Concha Pacheco, F. M. (1989). *La desnutrición y sus efectos en el desarrollo del niño*. Lima: San Marcos.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2015). Series nacionales. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/sistemas-consulta/>
- Instituto Nacional de Salud (INS). (2009). *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Lima: Ministerio de Salud.
- Instituto Nacional de Salud (INS) (2014). *Estado nutricional en niños y gestantes de los establecimientos de salud del Ministerio de Salud*. Lima: Ministerio de Salud.
- Mendoza Flores, A. (1994). *La niñez en el Perú: Desnutrición y déficit intelectual y físico: Cómo evitar el deterioro a las futuras generaciones*. Lima: DESA.
- Producción de duraznos y néctares (2015). Euromonitor. Recuperado de <http://www.euromonitor.com/>
- United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF) (2011). *Consecuencias de la desnutrición infantil*. Madrid.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldana Minaya, H. y Rivas Romero, R. A. (2016). Estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta productora de compotas para bebés a partir de durazno (*Prunus persica*) enriquecido con maca (*Lepidium meyenii Walpers*), quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), kiwicha (*Amaranthus caudatus Linnaeus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*). (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial). Universidad de Lima.

- Arroyo Trujillano, N. C. (2002). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de alimentos para bebés a base de quinua, kiwicha, cañihua, manzana, plátano y leche. (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial). Universidad de Lima.
- Carrillo Tan, S. R. (1992). Estudio de factibilidad para instalar una planta de extracción de pulpa de durazno (*Prunus persica*) en la provincia de Huaral. (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial). Universidad de Lima.
- Castro, J. (2007). Con su reputación de vigorizante mágico la maca se pasea por el mundo. *Perú empresarial* 12, p. 10.
- Chávez Álvarez, J. (2006). *Plantas medicinales. Caser: Riesgos de mercados*. Lima: Maximize.
- Díaz, B., Jarufe, B. y Noriega, M. T. (2007). *Disposición de planta*. Lima: Universidad de Lima, Fondo Editorial.
- Dobkin, L. (2008). Renace la quinua. *Américas* 60(5), pp. 28-37.
- Escobedo, A. P. (2011). Estudio preliminar para la instalación de una planta productora de compotas para bebés de lúcuma enriquecida con kiwicha. (Seminario de investigación de Ingeniería Industrial). Lima: Universidad de Lima.
- Konz, S. (1991). *Diseño de instalaciones industriales*. México: Noriega Limusa.
- La quinua: lágrimas del sol (2008). *Sommelier, vinos y más* 34, pp. 46-48.
- Meyhuay M. (1999). El alto valor de la quinua. *Multimodal* 7, p. 34.
- Mujica, A. E. (1999). *Resúmenes de investigaciones en quinua (Chenopodium, quinoa Willd) de la Universidad Nacional del Altiplano*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1981). Norma para alimentos envasados para lactantes y niños CODEX STAN 73-1981. Recuperado de http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2B73-1981%252FCXS_073s.pdf
- Pollitt Burga, E. (2002). *Consecuencias de la desnutrición en el escolar peruano*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Pollitt Burga, E. (2007). *Desnutrición, pobreza e inteligencia*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Reaño M., V. (2011). Sano deleite: Las grandes marcas apuestan por más granos andinos. *Semana económica* 1279(26), p. 30.

Sapag Chain, N. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. México: McGraw-Hill.

Scott, G. (1987). La kiwicha: Un enfoque socioeconómico. *Proceso económico* 64, p. 25.

Sumar Kalinowski, L. (1986). Nuevas alternativas alimentarias para el Perú. *Agro Enfoque* 4, p. 12.

Van Horne, J. (2010). *Fundamentos de administración financiera*. México: Pearson Educación.

**CIENCIA
Y TECNOLOGÍA**

Science and Technology

FIBRA DIETARIA: UNA ALTERNATIVA PARA LA ALIMENTACIÓN

RAFAEL VILLANUEVA FLORES*
Universidad de Lima

Recibido: 9 de febrero del 2018 / Aprobado: 4 de diciembre del 2018

doi: 10.26439/ing.ind2019.n037.4550

RESUMEN: La fibra dietaria está compuesta por un conjunto de elementos con características diferentes que le proporcionan distintas propiedades físicoquímicas, que determinan efectos fisiológicos definidos. Su consumo trae beneficios para la salud y está por debajo de lo recomendado en el Perú y en muchos países del mundo, lo cual es una oportunidad para la industria de alimentos del Perú de desarrollar productos de consumo masivo con elevado contenido de fibra.

Palabras clave: fibra / nutrición / beneficios para la salud / industria de alimentos

DIETARY FIBER: AN ALTERNATIVE FOR NUTRITION

ABSTRACT: Dietary fiber consists of a set of elements with different characteristics that provide several physical and chemical properties that determine clear physiological effects. Its consumption provides health benefits; however, it is below the recommended level both in Peru and many countries worldwide. This situation brings an opportunity for the Peruvian food industry to develop mass consumption products with high fiber content.

Keywords: fiber / nutrition / health benefits / food industry

* RVillan@correo.ulima.edu.pe.

1. INTRODUCCIÓN

El término fibra dietaria se utilizó por primera vez en 1953 para describir los componentes de las paredes celulares de las plantas no digeribles por el ser humano (DeVries, Prosky, Li y Cho, 1999; Jones, 2013).

La fibra dietaria incluye a un rango diverso de carbohidratos compuestos que juegan un rol protagónico en el análisis de la salud pública, por ser un nutriente consumido en menor cantidad a lo recomendado en la mayoría de países del mundo (Millen *et al.*, 2016). No hay duda de que una dieta rica en granos enteros y, por ende, en fibra, protege de la obesidad (Kyrø *et al.*, 2011), reduce el riesgo de contraer ciertas enfermedades, como diabetes tipo 2 (Pan *et al.*, 2010), enfermedades cardiovasculares (Mellen, Walsh y Herrington, 2008) y ciertos cánceres del tracto digestivo (Fardet, 2013). Por otro lado, dietas bajas en fibra aumentan el riesgo de enfermedades e impactan negativamente en la funcionalidad del intestino (Brouns, Delzenne y Gibson, 2017).

Sin embargo, algunas fibras específicas y moléculas de carbohidratos no absorbibles pueden conducir a sensaciones intestinales desagradables como resultado de cambios de fluido osmótico o relativa fermentación rápida por la microflora intestinal. Estos carbohidratos son oligosacáridos, disacáridos y polioles rápidamente fermentables (Shepherd, Lomer y Gibson, 2013). Las molestias intestinales parecen exacerbarse en personas que sufren de hipersensibilidad intestinal, comúnmente conocida como síndrome de intestino irritable (Halmos, Power, Shepherd Gibson y Muir, 2014).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de fibra dietaria

La fibra dietaria es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso (ACC International, 2001).

Según la comisión de *Codex Alimentarius* (2010), la fibra dietaria consiste en polímeros de carbohidratos con diez o más unidades monoméricas, que no son hidrolizados por enzimas endógenas en el intestino delgado de los seres humanos y que pertenecen a las siguientes categorías:

- Polímeros de carbohidratos comestibles que se producen naturalmente en los alimentos.
- Polímeros de carbohidratos que se han obtenido de materia prima alimenticia por medios físicos, enzimáticos o químicos que poseen algún efecto fisiológico beneficioso para la salud.

- Polímeros de carbohidratos sintéticos con algún efecto fisiológico beneficioso para la salud.

Sin embargo, la gran controversia sobre la definición se refiere a la inclusión o no de los oligosacáridos con grados de polimerización (DP) en el rango de 3 a 9 (como inulina, fructooligosacáridos, galactoolisacáridos, maltodextrinas resistentes, rafinosa y otros), decisión que, para efectos de rotulado nutricional, pueden tomar individualmente las autoridades de salud competentes de cada país (Howlett *et al.*, 2010).

2.2 Clasificación de la fibra dietaria

La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) clasificó en el 2016 a la fibra dietaria en dos categorías:

- Fibras intrínsecas e intactas: esencialmente componentes intactos de plantas. Se encuentran en alimentos tales como vegetales, granos integrales, frutas, salvado de cereales, cereal en hojuelas y harinas. Las fibras también se consideran intactas porque no se han eliminado de los alimentos. Se ha demostrado que los alimentos que contienen estas fibras son beneficiosos y los fabricantes no necesitan demostrar que proporcionan efectos fisiológicos beneficiosos para la salud humana.
- Fibras sintéticas y aisladas: utilizadas principalmente para fortificar alimentos. Los fabricantes que usan fibras que se agregan a los alimentos, ya sea aislándolas de otros alimentos o sintetizándolas, deben demostrar que poseen efectos fisiológicos beneficiosos para la salud humana para cumplir con la definición de fibra dietaria. Entre las más utilizadas tenemos a la goma acacia, goma guar, goma de algarrobo, celulosa, carboximetilcelulosa, pectina, beta glucano soluble, inulina, fibra de manzana, fibra de bambú, fibra de semilla de algodón, fibra de leguminosas, goma karaya, polidextrosa, fibra de papa, fibra de soya, almidón de maíz con elevado contenido de amilosa, almidones resistentes de trigo y maíz, fibra de caña de azúcar, fibra de remolacha, goma xantan.

3. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE FIBRA DIETARIA

El *Codex Alimentarius* (1997) define cuatro clases de métodos para la determinación de fibra dietaria, cada uno de ellos con su propio rango de aplicación:

- Tipo I (método de definición): determina un valor al cual solo se puede llegar mediante el método *per se* y se utiliza por definición como única metodología para determinar el valor aceptable del ítem medido.

- Tipo II (método de referencia): definido como método referencial cuando el tipo I no puede ser aplicado. Debe ser recomendado para utilizarse en casos de disputas o calibraciones.
- Tipo III (método alternativo aprobado): cumple con los requisitos del comité del *Codex* para análisis y muestreo y puede ser utilizado para control, inspecciones y aspectos regulatorios.
- Tipo IV (método tentativo): es el que ha sido utilizado tradicionalmente o que ha sido introducido recientemente pero no ha sido aceptado por la comisión del *Codex*.

4. ANÁLISIS

4.1 Consumo recomendado

Escudero y González (2006) recomiendan una ingesta rica en fibra desde los primeros años de la vida ya que a menudo va acompañada de un estilo de vida que, a largo plazo, ayuda a controlar otros factores de riesgo. El consumo recomendado de la fibra dietaria depende de la edad, sexo y cantidad de energía ingerida. En general el consumo diario de la fibra dietaria debe estar en el rango de 18 a 38 g/día para personas adultas (Vilcanqui y Vilchez, 2017).

Las Guías Alimentarias de los años 2005 y 2010 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) identificaron a la fibra dietaria como un nutriente a tener en cuenta debido a su bajo consumo (USDA, 2005, 2010) por lo cual la dosis diaria recomendada fue aumentada de 25 a 28 g para una dieta diaria de 2000 kcal (USDA, 2016). Más aún, la guía del año 2015 cambió de un modelo reduccionista de interpretación de la ciencia de la nutrición (analizando nutrientes aislados bajo situaciones controladas) a uno basado en entender patrones dietéticos (USDA, 2015).

El Panel de Productos Dietéticos, Nutrición y Alergias de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA por sus siglas en inglés) estableció en el 2010 que para el normal funcionamiento del intestino grueso es necesario un consumo diario de 25 g de fibra dietética en adultos (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2010). Canadá establece un valor de referencia diario de 25 g de fibra para mujeres adultas y de 38 g para hombres, resaltando que los canadienses consumen la mitad de fibra de lo recomendado (Gobierno de Canadá, 2017). Más aún, se ha calculado que si las personas adultas en Canadá aumentasen en un gramo por día el consumo de fibra dietaria, los gastos anuales en salud relacionados a enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2 podrían reducirse en CAD 143,2 millones (Abdullah, Gyles, Marinangeli, Carlberg y Jones, 2015).

La Asociación Americana de Diabetes (ADA por sus siglas en inglés) recomienda un consumo de fibra entre 20 y 35 g por día, tanto soluble como insoluble, para mantener un mejor control glucémico e insulínico (Asociación Mexicana de Diabetes, s. f.).

En el Perú, el consumo de fibra es 50 % de lo recomendado (Lázaro, 2013), lo cual abre una buena alternativa para la industria de alimentos de desarrollar productos con elevado contenido de fibra. Más aún cuando más del 35,5 % de la población peruana menor a 15 años tiene sobrepeso y 17,8 % obesidad (INEI, 2015).

4.2 Regulación para rotulado de alimentos

La fibra dietaria que puede declararse en la etiqueta dentro de la información nutricional incluye ciertas fibras naturales que son intrínsecas e intactas en las plantas, carbohidratos solubles e insolubles no digeribles aislados añadidos, que la autoridad sanitaria de cada país debe determinar que poseen efectos fisiológicos beneficiosos para la salud humana o que resulta de una ingesta reducida de calorías y mejora en la función intestinal.

La definición de fibra dietaria del *Codex* promueve el concepto de que compuestos que se comportan en vivo como fibra, independientemente de la fuente, pueden ser incluidos como fibra dietaria en el rotulado nutricional, siempre que se demuestren los beneficios fisiológicos y a la salud (Zielinski, DeVries, Craig y Bridges, 2013). Muchos países, basados en evidencias científicas, incluyen a los oligosacáridos con $DP \geq 3$ dentro de su definición de fibra dietaria (De Menezes *et al.*, 2013).

La EFSA, la Autoridad Estatutaria de Estándares Alimentarios de Australia y Nueva Zelanda, Health Canada y las agencias equivalentes en China, Japón, Brasil, Chile, México, Tailandia, Corea, Singapur, Malasia e Indonesia, han adoptado la definición dada por el *Codex* (que incluye a los carbohidratos con DP 3-9). Sudáfrica es el único país que ha decidido no incluir a los oligosacáridos con DP 3-9 en su definición de fibra dietaria (Dai y Chau, 2017). En el Perú no hay regulación al respecto y el etiquetado nutricional no es obligatorio, con excepción de regímenes especiales como productos infantiles. La normativa aplicable al Perú en materia de etiquetado puede resumirse en las siguientes regulaciones:

- Decreto Supremo 007-98-SA: reglamento sobre vigilancia y control sanitario de alimentos y bebidas y sus modificatorias.
- Norma Metrológica Peruana 001-2014: etiquetado de productos preenvasados.
- Ley 28405: ley de rotulado de productos industriales manufacturados (sin reglamento).
- Ley 29571: código de protección y defensa del consumidor.

- Decreto Supremo 009-2006-SA: reglamento de alimentación infantil.
- Ley 28814: reglamento que dispone la fortificación de la harina de trigo con micronutrientes.
- Decreto Supremo 004-2006-AG: reglamento técnico para los productos orgánicos o ecológicos. Ley 29196 de promoción de la producción orgánica o ecológica.
- Ley 30021: ley de promoción de la alimentación saludable para niños, niñas y adolescentes.
- Decreto Supremo 007-2017-MINAGRI que aprueba el reglamento de la leche y productos lácteos.

4.3 Fuente de fibra dietaria

Tradicionalmente los consumidores han identificado a los granos enteros, nueces, frutas y vegetales como fuente principal de fibra dietaria. El trigo, el arroz y el maíz son los granos enteros más consumidos en el mundo, seguidos por la avena, el centeno y la cebada. Los granos enteros contienen elevada cantidad de sustancias bioquímicas, como fibra, vitaminas, minerales, antioxidantes, fitoquímicos como betaína, cloro, aminoácidos sulfurados y melatonina, que representan al menos el 15 % del peso del grano (Fardet, 2013).

Sin embargo, la industria de alimentos ha introducido al mercado productos con diferentes niveles de fibra dietaria en su composición. Los ingredientes utilizados poseen propiedades únicas que elevan el contenido de fibra y adicionalmente poseen otras funciones en la formulación del producto (Nelson, 2002).

Cuando mencionamos a la fibra dietaria nos referimos tanto a fibra soluble como a insoluble. La fibra soluble se disuelve en agua para formar en el estómago una sustancia gruesa de gran viscosidad similar a un gel. Se descompone por bacterias en el intestino grueso y proporciona algunas calorías. La fibra insoluble no se disuelve en agua y pasa a través del tracto gastrointestinal relativamente intacta en forma de una mezcla de baja viscosidad y, por lo tanto, no es fuente de calorías (FDA, 2017).

Como fuente de fibra insoluble tenemos a la celulosa (trigo integral, salvado de trigo, hortalizas), hemicelulosa (cereales, hortalizas, salvado), lignina (hortalizas, frutas), cutina, suberina, ceras de plantas, quitina, quitosano y almidones resistentes, y como fuente de fibra soluble a pectinas (frutas, hortalizas), β -glucanos (cebada, avena), gomas (avena, cebada, chí) e inulinas.

El término almidón resistente fue adoptado a principios de la década de 1980 por Hans Englyst, un fisiólogo británico, y se define como almidón dietético que no se digiere

en el intestino delgado (Saura-Calixto, Goñi, Bravo y Manas, 1993). El almidón resistente, por lo tanto, se comporta como fibra dietaria y puede tener potencial como un ingrediente favorable para la salud. La principal diferencia entre los almidones digeribles y resistentes es la accesibilidad del almidón a los procesos digestivos y, posteriormente, la facilidad con la que se pueden cortar los enlaces glicosídicos contenidos en las moléculas de almidón (Stephen, 1995). El almidón resistente puede ser encontrado en granos y semillas parcialmente molidos, en plátanos verdes y en la papa, tanto cruda como cocida.

Las leguminosas (frijol, arveja, habas, lentejas, pallar, lupino) y sus derivados son una excelente fuente de fibra dietaria. Media taza de menestras proporciona, aproximadamente, la tercera parte del requisito diario de fibra.

4.4 Beneficios para la salud

Hipócrates dijo alguna vez que “el pan integral generaba heces más grandes que el pan refinado”, resaltando la importancia de la fibra en términos de sus beneficios fisiológicos para la salud como el alivio del estreñimiento (Dai y Chau, 2017).

La fibra dietaria se convirtió, entre los años 1960 y 1970, en un concepto nutricional importante debido a las observaciones de los médicos británicos Burkitt, Painter, Walker y Trowell, que indicaban que ciertas enfermedades, como diabetes, cardiopatías y cáncer de colon, que se veían regularmente en los países occidentales eran raramente vistas en el este del África rural. Lo atribuyeron específicamente a la marcada diferencia en la ingesta de carbohidratos no refinados. Con ello surgió la hipótesis de la fibra dietaria que señalaba que desde el estreñimiento hasta la enfermedad coronaria podían reducirse con la adición de fibra dietética a la dieta (DeVries, Prosky, Li y Cho, 1999; Jones, 2013).

La fibra participa en todas las funciones del sistema digestivo, desde la masticación hasta la evacuación de las heces (Escudero y González, 2006). En general los beneficios para la salud que proporciona la fibra dietaria incluyen mejoras en la salud intestinal (laxación, disminución de tiempo de tránsito, aumento de carga fecal, ablandado de heces, disminución de pH fecal y fermentación), control glicémico (glucosa en la sangre y atenuación de la insulina), reducción de colesterol (colesterol total y colesterol LDL), control de peso (reducción de ingesta calórica y aumento de saciedad) y aumento de absorción de minerales (Jones, 2013; Grabitske y Slavin, 2009). Se estima que el rol en la reducción del colesterol está relacionado con la capacidad para unir los ácidos biliares en el intestino delgado, causando que sean excretados en lugar de ser reabsorbidos en el hígado. Dado que el colesterol se convierte en ácidos biliares en el hígado, la unión y la excreción de ácidos biliares causa un aumento en la conversión de colesterol a ácidos biliares, disminuyendo así el grupo de colesterol (Nelson, 2002).

Recordemos que las fibras insolubles (presentes en la parte externa de semillas y granos, salvado de trigo, maíz, cereales integrales, en las cáscaras de las manzanas y peras, en la parte blanca de las frutas cítricas y legumbres) no son digeridas ni en el estómago ni en el intestino delgado pero pueden ser fermentadas a cierto nivel por bacterias del colon en el intestino grueso, mientras que las fibras solubles (que se encuentran principalmente en las frutas y verduras, especialmente en manzanas, naranjas, zanahorias, brócoli y cebollas, al igual que en el salvado de avena, cebada, nueces, almendras, avellanas y legumbres) escapan a la digestión del estómago y del intestino delgado pero son fermentadas rápidamente en el intestino grueso.

La acelerada investigación en microbioma intestinal ha abierto una nueva perspectiva del rol de la fibra dietaria en la salud humana. El microbioma impacta prácticamente en cualquier sistema del cuerpo y la fibra es la primera fuente de nutrición. Esta área de investigación es posible por la tecnología secuencial del genoma, que nos ayuda a decodificar la composición y función de las bacterias intestinales (Birket y Brouns, 2017).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda el consumo de cinco piezas o porciones (400 g) de frutas y verduras al día para reducir el riesgo de desarrollar enfermedades no transmisibles y ayudar a garantizar una ingesta diaria suficiente de fibra dietética (OMS, 2018).

4.5 Productos con elevado contenido de fibra

La fibra puede, durante el procesamiento de alimentos, agregar volumen, aumentar viscosidad, formar geles (por su capacidad de retención y enlace de agua) y reemplazar o imitar a las grasas (Nelson, 2002).

El tipo de procesamiento utilizado para producir ingredientes con alto contenido de fibra influye en gran medida en la funcionalidad del ingrediente final. Procesos como molienda, blanqueado, refinado, tratamientos enzimáticos, procedimientos de estabilización, extrusión, deshidratación o secado y tostado son algunos de los que se utilizan en la producción de ingredientes ricos en fibra.

De las diferentes categorías de alimentos, los más comunes enriquecidos con fibra son los productos horneados y extruidos a partir de granos que, con el desarrollo de la tecnología y los ingredientes, han logrado una textura, sabor y apariencia aceptados por los consumidores. Dentro de estos productos tenemos a los panes, panetones, galletas, fideos, hojuelas, pizzas y en menor proporción, bizcochos, obleas, muffins, dado que estos últimos contienen más agua en su formulación en comparación con panes y galletas. Debemos tener en cuenta que en panificación la fibra aumenta la absorción de agua durante la etapa de mezclado, incrementa el tiempo de mezclado modificando la reología de la masa por lo cual las condiciones del proceso deben ser adaptadas. También modifica el color y textura del producto y reduce el volumen.

Bebidas de frutas, té y batidos son productos en los cuales se pueden adicionar vitaminas, minerales, antioxidantes y fibra para mejorar su capacidad nutritiva. En estos productos, la fuente principal de fibra soluble proviene de pectina, goma arábiga e inulina, debido a su facilidad de dispersión en agua.

También pueden desarrollarse productos lácteos con fibra, como yogures, pudines, helados, quesos y productos relacionados. Para estas aplicaciones se recomienda el uso de fibras solubles en agua por su capacidad para ligar agua y su baja detección en el producto final.

El agente gelificante más utilizado en la producción de mermeladas es la pectina, la cual es un ingrediente rico en fibra. Sin embargo, su uso en niveles bajos (típicamente menos del 1 %) en mermeladas no contribuye significativamente en el contenido de fibra del producto.

Los ingredientes con elevado contenido de fibra utilizados en sopas y salsas sirven para espesar o para suspender especies. Los almidones son los agentes espesantes más comunes, usados en sopas y salsas, mientras que las gomas hidrocoloides son las más utilizadas en aderezos. Se pueden utilizar fibras solubles en agua para reemplazar la grasa, mejorar la sensación bucal y aumentar la viscosidad, mientras que fibras insolubles como celulosa, por su capacidad de retener agua y aceite, se pueden utilizar para mejorar su estabilidad.

5. CONCLUSIONES

El consumo de fibra dietaria trae beneficios para la salud y su consumo en el Perú y en muchos países del mundo es menor a lo recomendado. El bajo consumo de fibra se puede explicar por una mayor oferta y consumo de productos refinados. La industria de alimentos en el Perú tiene una gran oportunidad de desarrollar e introducir en el mercado productos de consumo masivo con elevado contenido de fibra. Esto puede ser reforzado por campañas de entidades reguladoras de salud, resaltando los beneficios del consumo de fibra en la salud de la población, lo que también podría llevarnos obtener ahorros en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2.

REFERENCIAS

Abdullah, M. M., Gyles, C. L., Marinangeli, C. P., Carlberg, J. G. y Jones, P. J. (2015). Cost-of-illness analysis reveals potential healthcare savings with reductions in type 2 diabetes and cardiovascular disease following recommended intakes of dietary fiber in Canada. *Front Pharmacol* 6, pp. 1-12. doi: 10.3389/fphar.2015.00167

- Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (25 de marzo del 2010). EFSA establece valores dietéticos de referencia para el consumo de nutrientes. Recuperado de http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/noticias_efsas/2010/valores_nutrientes.htm.
- American Association of Cereal Chemists International (2001). Definition of dietary fiber. *Cereal Foods World* 46(3), pp. 112-125.
- Asociación Mexicana de Diabetes (s. f.). ¿Es la fibra dietética importante para el control de la glucosa? Recuperado de: <http://amdiabetes.org/archivos/alimentos-articulos/la-fibra-dietetica-importante-control-la-glucosa>
- Birkett, A. y Brouns, F. (2017). Why Is Fiber a Hot Nutrient? *Cereal Food Word* 63(2), pp. 62-63. doi:10.1094/CFW-62-3-0087
- Brouns, F., Delzenne, N. y Gibson G. (2017). The Dietary Fibers-FODMAP's Controversy. *Cereal Foods World* 62(3), pp. 98-103. doi: 10.1094/CFW-62-3-0098
- Codex Alimentarius* (1997). Principles for the establishment of Codex methods of analysis. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/w5975e/w5975e09.htm>.
- Codex Alimentarius* (2010). Guidelines on nutrition labelling CAC/GL 2-1985. Roma: FAO.
- Dai, F. G. y Chau, C. F. (2017). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of Food and Drug Analysis* 25(1), pp. 37-42. doi: 10.1016/j.jfda.2016.09.006
- De Menezes, E. W., Giuntini, E. B., Dan, M. C., Sardá, F. A. y Lajolo, F. M. (2013). Codex dietary fibre definition – Justification for inclusion of carbohydrates from 3 to 9 degrees of polymerization. *Food Chemistry* 140(3), pp. 581-585. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.02.075
- Decreto Supremo 007-98-SA (24 de septiembre de 1998). Decreto legislativo que aprueba el reglamento sobre vigilancia y control sanitario de alimentos y bebidas y sus modificatorias. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/256394-007-98-sa>
- Decreto Supremo 009-2006-SA (16 de junio del 2006). Decreto legislativo que aprueba el reglamento de alimentación infantil. Recuperado de <http://www.sipi.siteal.iipe.unesco.org/normativas/188/decreto-supremo-ndeg-0092006-reglamento-de-alimentacion-infantil>
- Decreto Supremo 004-2006-AG (14 de julio del 2006). Decreto que aprueba el reglamento técnico para los productos orgánicos o ecológicos. Recuperado de <https://www.senasa.gob.pe/senasa/normas-sobre-produccion-organica/>
- Decreto Supremo 007-2017 (28 de septiembre del 2017). Decreto legislativo que aprueba el reglamento de la leche y productos lácteos. Recuperado de

<https://www.minagri.gob.pe/portal/decreto-supremo/ds-2017/19598-decreto-supremo-n-007-2017-minagri>

- DeVries, J. W., Prosky, L., Li, B. y Cho, S. (1999). A historical perspective on defining dietary fiber. *Cereal Foods World* 44(6), pp. 367-369.
- Escudero Álvarez, E. y González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria* 21(2), pp. 61-72.
- Fardet, A. (2013). *Whole Grains from a Mechanistic View*. Recuperado de <https://www.aaccnet.org/publications/plexus/cfwplexus/library/books/Documents/WholeGrainsSummit2012/CPLEX-2013-1001-01B.pdf>
- Fundación Española del Corazón (7 de abril de 2011). La fibra nos hace vivir más... ¡y mejor! Recuperado de <http://www.fundaciondelcorazon.com/corazon-facil/blog-impulso-vital/2081-fibra-vivir-mas-mejor.html>.
- Gobierno de Canadá (2017). *Fibre*. Recuperado de <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/nutrients/fibre.html>.
- Grabitske, H. M. y Slavin J. L. (2009). Gastrointestinal effects of low-digestible carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 49(4), pp. 327-60.
- Halmos, E. P., Power, V. A., Shepherd, S. J., Gibson, P. R. y Muir, J. G. (2014). A diet low in FODMAPs reduces symptoms of irritable bowel syndrome. *Gastroenterology* 146(1), pp. 67-75.
- Health Canada (2012). Do Canadian Adults Meet Their Nutrient Requirements Through Food Intake Alone? Recuperado de <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/food-nutrition-surveillance/health-nutrition-surveys/canadian-community-health-survey-cchs/canadian-adults-meet-their-nutrient-requirements-through-food-intake-alone-health-canada-2012.html>.
- Howlett, J. F., Betteridge, V. A., Champ, M., Craig, S. A. S., Meheust, A. y Miller-Jones, J. (2010). The definition of dietary fiber: Discussions at the ninth Vahouny fiber symposium: Building scientific agreement. *Food & Nutrition Research* 54(5750). doi: 10.3402/fnr.v54i0.5750
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2015). Encuesta demográfica y de salud familiar. Recuperado de http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1356/
- Instituto de Nacional de Salud (INS). (2009). Tablas peruanas de composición de alimentos. Lima: Ministerio de Salud. Recuperado de <http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Tabla%20de%20Alimentos.pdf>

- Jones, J. M. (2013). Dietary Fiber Future Directions: Integrating New Definitions and Findings to Inform Nutrition Research and Communication. *Advances in Nutrition* 4(1), pp. 8-15.
- Kyrø, C., Skeie G., Dragsted, L. O., Christensen, J., Overvad, K., Hallmans, G., ... Olsen, A. (2011). Intake of whole grains in Scandinavia is associated with healthy lifestyle, socio-economic and dietary factors. *Public Health Nutrition First Review* 10, pp. 1-9. doi: 10.1017/S1368980011000206
- Lázaro, M. (2013). *Guías alimentarias para la población peruana. Avances 2013*. Lima: Ministerio de Salud.
- Ley 28405 (19 de noviembre del 2004) Ley de rotulado de productos industriales manufacturados (sin reglamento). Lima.
- Ley 28814 (25 de julio de 2006). Ley que dispone la fortificación de la harina de trigo con micronutrientes. Lima. Recuperado de <https://www.saludarequipa.gob.pe/>
- Ley 29571 (2 de septiembre del 2010). Código de protección y defensa del consumidor. Lima. Recuperado de <http://www.leyes.congreso.gob.pe/>
- Ley 29196 (24 de julio del 2012). Ley de promoción de la producción orgánica o ecológica. Recuperado de <https://www.senasa.gob.pe/senasa/>
- Ley 30021 (17 de mayo del 2013). Ley de promoción de la alimentación saludable para niños, niñas y adolescentes. Lima. Recuperado de <http://www.leyes.congreso.gob.pe/>
- Mellen, P. B., Walsh, T. F. y Herrington, D. M. (2008). Whole grain intake and cardiovascular disease: a meta-analysis. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 18(14), pp. 283-290.
- Millen, B. E., Abrams, S., Adams-Campbell, L., Anderson, C., Brenna, J. T., Campbell, W., ... Lichtenstein, A. H. (2016). The 2015 Dietary Guidelines Advisory Committee Scientific Report: Development and Major Conclusions. *Advances in Nutrition* 7, pp. 438-444.
- Murphy, N., Norat, T., Ferrari, P., Jenab, M., Bueno-de-Mesquita, B., Skeie, G., ... Riboli, E. (2012). Dietary fibre intake and risks of cancers of the colon and rectum in the European prospective investigation into cancer and nutrition (EPIC). *PLoS One* 7(6), pp. 1-10. doi: 10.1371/journal.pone.0039361
- Nelson, A. L. (2002). *High Fiber Ingredients*. Minnesota: American Association of Cereal Chemists Inc.
- Norma Metrológica Peruana 001-2014 (29 de diciembre dl 2014) Etiquetado de productos pre envasados. (29 de diciembre del 2014). Lima. Recuperado de <https://www.indecopi.gob.pe/documents>

- Organización Mundial de la Salud (OMS) (31 de agosto de 2018). Alimentación sana. Nota descriptiva N.º 394. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs394/es/>.
- Pan, A., Lucas, M., Sun, Q., Van Dam, R. M., Franco, O. H., Manson, J. E., ... Hu, F. B. (2010). Bidirectional association between depression and type 2 diabetes mellitus in women. *Archives of International Medicine. JAMA Internal Medicine* 170(21): pp. 1884-1891. doi: 10.1001/archinternmed.2010.356
- Saura-Calixto, F., Goñi, I., Bravo, L. y Manas, E. (1993). Resistant starch in foods: Modified method for dietary fiber residues. *Journal of Food Science* 58(3), pp. 642-643.
- Shepherd, S. J., Lomer, M. C. y Gibson, P. R. (2013). Short-chain carbohydrates and functional gastrointestinal disorders. *American Journal of Gastroenterology* 108(5), pp. 707-717. doi: 10.1038/ajg.2013.96
- Stephen, A. M. (1995). Resistant starch. En: Kritchevsky, D. y Bonfield, C. (Eds). *Dietary Fiber in Health and Disease*. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc., pp.453-458.
- Sun, Q., Spiegelman, D., Van Dam, R. M., Holmes, M. D., Malik, V. S., Willett, W. C. y Hu, F. B. (2010). White rice, brown rice, and risk of type 2 diabetes in US men and women. *Archives of Internal Medicine* 170(11), pp. 961-969.
- Thomas, D. J. y Atwell, W. A. (1999). *Starches*. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc.
- U. S. Department of Agriculture y U. S. Department of Health and Human Services (2010). Dietary Guidelines for Americans, 2010. Recuperado de <https://health.gov/dietaryguidelines/dga2010/dietaryguidelines2010.pdf>
- U. S. Department of Agriculture y U. S. Department of Health and Human Services (2015). Dietary Guidelines for Americans, 2015-2020. Recuperado de https://health.gov/dietaryguidelines/2015/resources/2015-2020_Dietary_Guidelines.pdf
- U. S. Department of Agriculture y U. S. Department of Health and Human Services (2016). Dietary Guidelines for Americans, 2015-2018. Recuperado de <https://health.gov/dietaryguidelines/2015/guidelines/appendix-7/>
- U. S. Food and Drug Administration (2016). Changes to the Nutrition Facts Label. Recuperado de <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/LabelingNutrition/ucm385663.htm>
- U. S. Food and Drug Administration. (2017). Dietary Fiber. Recuperado de <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/InteractiveNutritionFactsLabel/dietary-fiber.html>

- U. S. Department of Health & Human Services y U. S. Department of Agriculture (2005). Dietary Guidelines for Americans. Washington: Government Printing Office.
- Vilcanqui-Pérez, F. y Vílchez-Perales, C. (2017). Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. Recuperado de <https://www.alanrevista.org/ediciones/2017/2/art-10/>.
- Zielinski, G., DeVries J. W., Craig, S. A. y Bridges, A. R. (2013). Dietary Fiber Methods in Codex Alimentarius: Current Status and Ongoing Discussions. *Cereal Foods World* 58(3), pp. 148-152.

AUTORES

JOSÉ GUARDIÁN SEDANO

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima, con especialidad en Sistemas Integrados de Gestión por la Universidad Agraria La Molina y Diplomado en Finanzas por el Instituto Zegel Ipae. Con experiencia en el sector *retail* supermercados y producción, especialista en análisis y mejora de procesos.

INDIRA TRUJILLO VELÁSQUEZ

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima, con especialidad en Gestión Estratégica de Marketing y Ventas por la misma Universidad. Con experiencia en el sector *retail* supermercados y farmacias, especialista en definición de estrategia comercial, manejo de categorías y desarrollo de nuevos productos.

JESÚS ESCALANTE

Ingeniero industrial y magíster en Ciencias en Planificación de Empresas y Desarrollo Regional por el Instituto Tecnológico de Mérida (ITM), es candidato a Doctor en Estadística e Investigación Operativa por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Obtuvo la certificación en Gerencia Logística por la Escuela de Negocios de la Fundación Universidad Empresa (ENAE), el Centro Ejecutivo de Logística de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Es especialista en gestión del riesgo de desastres aplicada a la seguridad alimentaria en contextos de crisis. Es miembro de la Red de Desastres Climáticos e Hidrometeorológicos (REDEsClim-CONACyT). Colabora en el Instituto Tecnológico de Mérida en la cátedra de Planeación y Diseño de Instalaciones en el programa de Ingeniería Industrial.

ILEANA CAMILA MONSREAL BARRERA

Ingeniera química industrial con Maestría en Administración por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y Diplomado en Gerencia Logística (ENAE-CELOGIS-UADY). Cuenta con 29 años de experiencia profesional y se ha desempeñado en diversos puestos y organizaciones. También ha sido consultora de diversas empresas, siendo reconocida como consultora tecnológica general del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) en 2000. Actualmente es responsable del grupo disciplinar de Ingeniería en Sistemas de Producción y Logística, coordinadora de las academias de Administración y Sistemas Productivos y profesora investigadora de la UADY, México.

ALAN GARCÍA LIRA

Especialista en gestión de tecnología, premio nacional de tecnología 2002 para ingeniería química de la UADY, evaluador del premio nacional de tecnología. Profesor e investigador del área de Gestión Tecnológica y de la Innovación. Miembro directivo de la Cámara Nacional de Empresas de Consultoría, Delegación Estatal. Secretario del Colegio de Ingenieros Químicos de Yucatán, México.

JORGE SANTOS FLORES

Doctorado en Sistemas Agropecuarios, magíster en Ciencia Animal Tropical y en Agricultural and Food Chain Systems y especialista en docencia. Es profesor de carrera titular "C" con más de 37 años de antigüedad laboral en la UADY, México. Tiene alrededor de 64 publicaciones en revistas nacionales e internacionales.

JOSEP CASANOVAS-GARCIA

Profesor de tiempo completo en la Facultad de Informática de Barcelona (FIB) en la UPC, especializado en Modelado y Simulación de Sistemas; pertenece al Barcelona Supercomputing Center (BSC-CNS). Es director de inLab FIB, un laboratorio de investigación que ha sido particularmente activo en la transferencia de tecnología a las empresas.

MAURICIO AZÁLGARA BEDOYA

Magíster en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos por la Universidad de Piura, ingeniero industrial por la Universidad Nacional de San Agustín, orientado a la dirección de proyectos con experiencia profesional de ocho años en los sectores de energía y minas, industrial, de banca y finanzas, y educación. Actualmente es doctorando en el programa de Proyectos de la Universidad Internacional Iberoamericana. Es miembro ordinario del Colegio de Ingenieros del Perú desde el 2007. Dedicar tiempo a actividades de ayuda humanitaria y aprendizaje-enseñanza de lenguas extranjeras como el alemán, inglés y francés.

MIRIAM AMABLE CIUDAD

Magíster en Ciencias con mención en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI); en Administración de Negocios MBA por la Universidad de Lima; Ingeniera de Sistemas por la UNI. Egresada del Doctorado de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Docente e investigadora de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Lima; miembro del Comité Técnico de Normalización de Ingeniería de Software, Sistemas de Información y Gestión de Proyectos del Instituto Nacional de Calidad (Inacal) por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Lima.

ROSA MILLONES RIVALLES

Magíster en Educación por la Universidad de Lima; licenciada en Estadística por la Universidad Nacional de Trujillo. Docente e investigadora de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Lima. Coautora de los textos *Estadística aplicada a la ingeniería y los negocios* (2015), *Estadística descriptiva y probabilidades y Aplicaciones en la ingeniería y los negocios* (2017). Participó en la investigación “Análisis del uso de modelos de calidad de *software*. Una propuesta de mejora de procesos en las mypes productoras de *software* de Lima, Perú” (2014).

PERCY ARAPA CARCASI

Ingeniero agroindustrial por la Universidad Nacional del Altiplano, con más de 15 años de experiencia en investigación en cultivos andinos. Con mención honorífica, Magíster en Administración Gerencial por la asociación civil Empresa Peruana del Año, con estudios de Maestría en Investigación y Docencia Universitaria en la Universidad Nacional del Altiplano. Ponente internacional y nacional en congresos de agroindustrias, ciencia y tecnología de alimentos, en temas de ciencia y tecnología de alimentos, con publicaciones en Bolivia, Venezuela y Perú.

JAIME CARLOS PORRAS CERRÓN

Ingeniero en Estadística e Informática por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Magister in Science en Matemática con mención en Estadística por la Universidad de Puerto Rico. Estudios de Doctorado en Administración en la Universidad Nacional Federico Villarreal. Docente principal del Departamento Académico de Estadística e Informática de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Publicó el libro *Pruebas no paramétricas usando R* (2017).

WILSON ARENAS

Ingeniero electrónico por la Universidad Pontificia Bolivariana, Coordinador e Investigador del Grupo BASPI-FOOTLAB y estudiante de las Maestrías en Ingeniería Electrónica y Bioingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Entre sus áreas de trabajo están el desarrollo y la investigación relacionados con la aplicación de modelos basados en Machine Learning orientados a señales electrocardiográficas para la identificación del nivel de riesgo cardiovascular.

OSCAR MARTÍNEZ

Ingeniero electrónico y estudiante de Maestría en Electrónica y Bioingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana. Es profesor de cátedra y asistente de investigación. Entre sus áreas de interés se encuentran el desarrollo e investigación en Machine Learning e Inteligencia Artificial orientada a señales neuronales.

MARYLIN MARTÍNEZ

Ingeniera electrónica con énfasis en control y bioingeniería, egresada de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Estudiante de Maestría en Bioingeniería en la misma universidad, enfocada en diseño de dispositivos médicos y regulación de equipos biomédicos.

RICARDO OTERO CAICEDO

Ingeniero industrial y magíster en Ingeniería Industrial por la Pontificia Universidad Javeriana. Sus áreas de interés en investigación y consultoría están relacionadas con la aplicación de investigación de operaciones y Machine Learning para el mejoramiento de los procesos relacionados con logística humanitaria y *healthcare*. Profesor del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana desde el 2014.

MARTHA MANRIQUE

Licenciada en Mecánica y Dibujo Técnico por la Universidad Pedagógica Nacional; especialista en Control Numérico Computarizado (CNC), Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Magíster en Educación y aspirante a Magíster en Ingeniería Electrónica en la Pontificia Universidad Javeriana. Doctora en Ingeniería Mecatrónica por la Universidad Popular del Estado de Puebla (México). Profesora Investigadora de tiempo completo, Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana.

RUBÉN WILFREDO JILAPA HUMPIRI

Con experiencia en proyectos productivos. Es investigador de temas de agroindustria, cadenas de valor, optimización de procesos y aprovechamiento de los recursos potenciales, control de calidad en procesos de producción agroindustrial (alimentaria y no alimentaria), envases y embalajes, gestión ambiental. Especialista y consultor en temas de ingeniería de procesos, producción agroindustrial, gestión empresarial, innovación tecnológica, ciencia, tecnología y medio ambiente. Director de investigación de Asprodep, evaluador y jurado de procesos concursables, docente universitario, analista de proyectos de desarrollo productivo y gerencia de empresas. Expositor regional, nacional e internacional en temas de su especialidad.

LORENA GODEFROY

Ingeniera industrial por la Universidad de Lima. Tras dos años en el área de negocios en Libélula como consultora en sostenibilidad, se mudó a Uganda para trabajar en Spouts Of Water, empresa social que fabrica y distribuye filtros de cerámica en África del Este. Desempeña el cargo de Operations and Analytics Manager, liderando Supply Chain y Data Science. Junto con Margarita Briceño crearon Proa en el 2015, primera plataforma peruana de voluntariado.

MARGARITA BRICEÑO

Ingeniera industrial por la Universidad de Lima. En el 2017 renunció a Estrategia como consultora en impacto social, para dedicarse 100 % a sus emprendimientos. Es fundadora de Ande Bar (*startup* ganadora de SUP 5.ª generación), empresa que fabrica barras energéticas que revaloran insumos peruanos. Actualmente es la directora general de Proa (www.proa.pe).

HORACIO ALDANA MINAYA

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima, con una especialización en Administración y Gestión de empresas por la Universidad del Pacífico. International MBA por la IE Business School.

RICARDO RIVAS ROMERO

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima. Asistente de planificación estratégica en PRODUCE desde 2018. Asistente de planificación de la producción en Conductores y Cables del Perú SAC (2014-2017).

Autores

RAFAEL VILLANUEVA FLORES

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima. Master of Science por Kansas State University. Gerente de operaciones de Anita Food y profesor en la Facultad de Ingeniería Industrial y Arquitectura de la Universidad de Lima. Es un ejecutivo de amplia experiencia en el gerenciamiento de plantas industriales y autor de diversas publicaciones en el campo de los alimentos.

**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 inicialrd 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 de la 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 15 días hábiles para presentar su informe de evaluación. En el caso de que los artículos se devuelvan al autor con cambios sugeridos o sustanciales, se requerirá una segunda revisión, para ello el árbitro contará con un plazo de 10 días hábiles para emitir su opinión.

Finalizado su trabajo, el Comité Editorial de la revista se reserva el derecho de recomendar o no su publicación, dando aviso a los autores sobre su decisión.

Esta revista se terminó de imprimir en diciembre del 2019
en Litho & Arte S. A. C.
Jr. Iquique 026 - Breña
Lima, Perú
Teléfono: 332-1989
Correo electrónico: ventas@lithoarte.com

Cadena de suministro para
la exportación de granos andinos
a Estados Unidos

Análisis del riesgo en un modelo
multinivel de suministro

Análisis de una operación
industrial de suministro
de combustible
diésel B5 y desarrollo
de una solución de
optimización

Uso de modelos de calidad en las
mypes productoras de *software*
de Lima

Estudio comparativo del uso
de dos tecnologías como factor
de calidad en el procesamiento
de quinua (*Chenopodium*
quinoa Willd)

Comparación de tres algoritmos
de prueba de permutación
aplicados a las medias

multivariadas de dos muestras
independientes

Optimización de la rugosidad
y la dureza del acero 12L-14
empleando la metodología
de superficie de respuesta

Agroindustria de la quinua
a partir de las variedades
Salcedo INIA, rosada de Taraco
y Cancolla en la mancomunidad
municipal Qhapaq Qolla,
Puno, 2016

Consideraciones para
la instalación de una planta
productora de un complemento
nutricional para niños

Estudio para la elaboración de
compotas para bebés a partir
de durazno enriquecido con maca,
quinua, kiwicha y cañihua

Fibra dietaria: una alternativa
para la alimentación