

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**Propuesta de mejora del proceso de análisis de calidad de arroz añejo para  
aumentar la productividad**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**Camila Alexandra Cerdan Lopez**

**ASESOR**

**Santos Confesor Gabriel Blas**

**<https://orcid.org/0000-0003-0306-108X>**

**Chiclayo, 2023**

## Informe Final TIB

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>13%</b>	<b>12%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>bdigital.zamorano.edu</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorioacademico.upc.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>prezi.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>"Tendencias en la investigación universitaria. Una visión desde Latinoamérica. Volumen XIII", Alianza de Investigadores Internacionales SAS, 2020</b> Publicación	<b>&lt;1%</b>

# ÍNDICE

Resumen .....	4
Abstract .....	5
Introducción .....	6
Revisión de literatura .....	7
Materiales y métodos .....	13
Resultados y Discusión .....	14
Conclusiones y recomendaciones.....	24
Referencias .....	25
Anexos.....	28

## Resumen

El presente trabajo de investigación se enfoca en proponer una mejora en el proceso de análisis de calidad de muestras de arroz añejo, con el objetivo de aumentar la productividad. Por ello, se llevó a cabo un exhaustivo diagnóstico de la situación actual, revelando una producción mensual de 187 muestras con un tiempo estándar de 106.05 minutos por muestra analizada. Se identificó que el cuello de botella se encontraba en la etapa de cocción, la cual consumía 38.5 minutos, debido a la presencia de movimientos improductivos y falta de equipos observados en el diagrama Ishikawa y diagrama Pareto elaborados. Como resultado, se obtuvo una eficiencia de línea de 78.33% y una productividad de 1.55 muestras por kilogramo ingresado. Se diseñó la mejora de proceso mediante el software ProModel, el cual permitió seleccionar las etapas críticas en orden de prioridad y llevar a cabo la implementación de una balanza en la etapa de pesado. Por eso, se logró aumentar la producción mensual a 225 muestras. Además, el laboratorio de calidad pudo operar al 95% de su capacidad real, lo cual se reflejó en una mayor eficiencia de línea del 86.12% y un aumento significativo del 22.58% en la productividad. Finalmente, se realizó un análisis económico de la propuesta, revelando una utilidad de S/. 7 987.00. Estos resultados confirman la plena viabilidad de la propuesta de mejora tanto desde una perspectiva operativa como económica.

**Palabras claves:** Productividad, Calidad, Arroz, Simulación, ProModel.

### **Abstract**

This research work focuses on proposing an improvement in the quality analysis process of aged rice samples, with the aim of increasing productivity. Therefore, a thorough diagnosis of the current situation was carried out, revealing a monthly production of 187 samples with a standard time of 106.05 minutes per sample analyzed. It was identified that the bottleneck was in the cooking stage, which consumed 38.5 minutes, due to the presence of unproductive movements and lack of equipment. As a result, a line efficiency of 78.33% and a productivity of 1.55 samples per kilogram entered was obtained. The process improvement was designed using ProModel software, which allowed selecting critical stages in order of priority and carrying out the implementation of a weighing scale. As a result, monthly production was increased to 225 samples. In addition, the quality laboratory was able to operate at 95% of its actual capacity, which was reflected in a higher line efficiency of 86.12% and a significant increase of 22.58% in productivity. Finally, an economic analysis of the proposal was made, revealing a utility of S/. 7 987.00. These results confirm the full viability of the proposed improvement from both an operational and an economic perspective.

**Keywords:** Productivity, Quality, Rice, Simulation, ProModel.

## Introducción

El arroz cáscara desempeña un papel fundamental en la alimentación humana, y su producción está altamente concentrada en Asia, donde representa más del 50% del total mundial. Asimismo, Brasil ha asegurado su posición como el principal productor de arroz al nivel sudamericano, logrando una producción de 11,6 millones de toneladas en el año 2021 [1]. Durante la última década, ha habido un aumento anual del 1,3% en su comercialización, y se proyecta que se alcance el 2,2 anual en los próximos diez años [2].

En el caso de Perú, según los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, la producción de arroz cáscara aumentó en 54,7% en el 2022. Así, se alcanzó un comportamiento de 517 mil 956 toneladas de las áreas cosechadas por las más grandes productoras regiones: La Libertad, Lambayeque, Cajamarca y San Martín; de modo que, en conjunto aportaron el 82,9% del total nacional producido [3].

A medida que la población mundial continúa en aumento, se prevé un correspondiente incremento en la demanda de este cereal esencial. Como resultado, el análisis de calidad del arroz se encuentra sujeto a estándares y parámetros cada vez más rigurosos, no solo a nivel nacional, sino también a nivel internacional. Por consiguiente, el objetivo es ofrecer un producto distintivo que cumpla con todos los requisitos exigidos por los consumidores y contribuya a mejorar su calidad de vida. En este contexto, las empresas molineras a nivel nacional están adoptando enfoques innovadores en sus técnicas de aseguramiento de la calidad del grano, con el fin de fortalecer su ventaja competitiva y aumentar su productividad en el mercado agroindustrial.

En el marco de la presente investigación, se ha considerado una empresa molinera ubicada en Lambayeque, cuya principal actividad se centra en la producción y comercialización de sacos de 49 kg de arroz pilado y sus subproductos asociados. No obstante, dicha empresa enfrenta un desafío relacionado con la baja productividad en el proceso de análisis de calidad del arroz añejo. En efecto, esta problemática se atribuye a la falta de equipos adecuados que permitan realizar un número óptimo de análisis en un tiempo determinado con un solo operario analista, así como la ausencia de una estandarización de tiempo y la existencia de desorden en diversas áreas del laboratorio encargado del control de calidad.

La situación actual del proceso de análisis de calidad del arroz añejo presenta ciertos inconvenientes que afectan la productividad. Con una cantidad mensual de 240 muestras de arroz añejo de 500 g cada uno, se identifica un cuello de botella en la fase de cocción, donde se requiere 38.5 minutos. Estas demoras generan una pérdida de 62 g de arroz añejo por muestra, lo que equivale a un total de 14880 g en productos desechados mensuales en muestras.

Asimismo, para una demanda de 10 muestras al día en un turno de 5 horas a partir de las 10:30 am de la activación de las añejadoras, sólo existe un solo operario analista de calidad; el cual no se abastece para la satisfacción de todas las muestras a analizar y clasificar sus resultados para las distintas presentaciones de arroz añejo. Como resultado de estos retrasos en la etapa de selección manual y cocción, se ha obtenido una productividad de 1.6 muestra analizada por kilogramo de arroz añejado ingresado. Por ende, logrando una eficiencia de línea de 79.14%. Ante esta realidad problemática, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo la propuesta de mejora del proceso de análisis de calidad del arroz añejo aumentará la productividad?

Por consiguiente, el objetivo general de esta investigación es proponer una mejora en el proceso de análisis de calidad del arroz añejo con el fin de aumentar la productividad. Además, se plantean los siguientes objetivos específicos: realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso de análisis de calidad, diseñar la mejora del proceso simulado mediante el uso del software ProModel y finalmente, evaluar económicamente la propuesta.

A través de este enfoque, se busca identificar soluciones que permitan optimizar el proceso de análisis de calidad del arroz añejo, reducir los tiempos de selección manual y cocción, minimizar las pérdidas de producto y, en última instancia, aumentar la eficiencia y la productividad en la empresa.

### **Revisión de literatura**

En principio, de acuerdo con Fontalvo, De La Hoz & Morelos [4], la **productividad** puede concebirse como la correlación existente entre la magnitud global de producción y los recursos empleados para alcanzar el nivel deseado de rendimiento. En esencia, esto implica la proporción entre los resultados obtenidos y los insumos utilizados. Por consiguiente, dicha productividad de un bien o servicio se encuentra intrínsecamente ligada a la aptitud de un producto para satisfacer plenamente las demandas de los consumidores, posibilitando así una adaptabilidad óptima a los sistemas productivos de las organizaciones.

Por otra parte, la **calidad** es concebida como un concepto de amplio alcance, que puede englobar diversas situaciones, si bien puede ser conceptualizada como el conjunto más extenso de atributos que se encuentran presentes en un producto o servicio y que se reflejan en su valor de comercialización [5]. En énfasis, según la norma ISO 9000, la calidad se refiere al nivel en el cual un conjunto de características distintivas satisface las exigencias y expectativas estipuladas por el consumidor, estableciendo así una perspectiva diferenciada.

En este sentido, el **proceso de análisis de calidad** de un grano implica llevar a cabo una evaluación sistemática y exhaustiva de sus características físicas, químicas y organolépticas. Con el propósito de determinar su nivel de excelencia y aptitud para su utilización en distintas industrias alimentarias, se aplican métodos y técnicas específicas, tales como análisis sensoriales, análisis de humedad, análisis de tamaño de partículas y análisis de contenido de nutrientes. Estos análisis se llevan a cabo siguiendo estándares y normas internacionales, lo que garantiza la precisión y objetividad de los resultados obtenidos. En función de los resultados del análisis de calidad, se pueden tomar decisiones relacionadas con la clasificación, almacenamiento, comercialización y uso de los granos. En última instancia, este proceso contribuye a asegurar la seguridad alimentaria y la satisfacción de los consumidores [6].

Por ese motivo, el **laboratorio de control de calidad** es un entorno especializado donde se llevan a cabo una serie de procedimientos y evaluaciones destinados a verificar la calidad de los productos y materiales; este espacio cuenta los equipos necesarios de medición y personal capacitado en técnica de análisis y estándares de calidad [7]. De esta manera, se realizan diversos análisis y pruebas para confirmar y validar aspectos como la composición química, propiedades físicas, características sensoriales, pureza, estabilidad y rendimiento de los productos. Para ello, se emplean métodos y técnicas específicas, como cromatografía, espectroscopia, ensayos microbiológicos y pruebas de resistencia, entre otros.

En otro contexto tecnológico, Echaveguren T., Chamorro A. & De Solminihac H. manifiestan que, la **simulación** constituye un enfoque mediante el cual se puede concebir y representar la realidad a través de la recreación de reglas que se asemejan al mundo real. A su vez, su distinción primordial como instrumento de modelación radica en su capacidad para capturar y representar relaciones intrincadas entre entidades; adicionalmente, esta simulación brinda la posibilidad de representar sistemas y sus interacciones [8]. Para ilustrar, tenemos el software **ProModel**, uno de los más populares en el ámbito comercial, dado que, facilita el empleo de herramientas y análisis con el fin de obtener resultados de mayor fiabilidad para una correcta toma de decisiones. En definitiva, ProModel posee un enfoque en procesos de fabricación de uno o varios productos [9].

Si bien es cierto ya se conocen los conceptos esenciales para la investigación, ahora serán referencias de índole científica para su correcto desarrollo. De acuerdo con, Zapata & Oviedo [10] manifiestan que, en su artículo de investigación *“Modelo de Simulación de alternativas de productividad para apoyar los procesos de toma de decisiones en empresas del sector Floricultor Antioqueño”*, la aplicación de los Modelos de Proceso de Negocio (MPN) permite utilizar la simulación discreta para realizar un análisis avanzado. Esto tiene como

objetivo aprovechar al máximo los recursos de las industrias del sector floricultor antioqueño, identificar posibles obstáculos, tomar decisiones acertadas y, en última instancia, mejorar la productividad de los procesos de precosecha y postcosecha del sector floricultor antioqueño. Además, se diseñaron escenarios en ProModel y se consideraron posibles escenarios en PowerSim para analizar la rentabilidad de las empresas. Como resultado, en el escenario 1 se logró un incremento de productividad del 96.9%, lo que significó superar las 6300 flores semanales. En el escenario 2, la productividad aumentó un 29.8%, llegando a las 6500 flores semanales. Por último, en el escenario 3, se registró un aumento del 150.4% en la productividad. Esto llevó a una rentabilidad de \$173 537.9 en el segundo año. Por lo tanto, a través de la aplicación de los modelos de simulación y el análisis detallado de los escenarios, se logró mejorar significativamente la productividad en las empresas estudiadas.

Asimismo, Díaz & Ruíz [11] menciona en su investigación titulada “*Diseño del proceso productivo en la empresa madereras Cabanillas y servicios generales S.R.L. para incrementar la productividad*”, aborda el objetivo de satisfacer la demanda y las expectativas de los clientes, al tiempo que reducen el déficit en el tiempo de entrega y mejoran la calidad de los productos madereros. Para lograrlo, se diseñó una mejora del proceso utilizando la planeación sistemática de la distribución de valor (SLP) para reducir los desplazamientos innecesarios y aumentar la utilización por encima del 50%. Se aplicó la metodología Lean Manufacturing para estandarizar los procesos. Para verificar y confirmar los resultados de estas mejoras, se utilizó el simulador ProModel, que permitió cubrir una demanda adicional de 200 unidades de producción mensuales. Los resultados fueron significativos, dado que, se logró aumentar la eficiencia del diseño de las instalaciones en un 41.38%, reducir el margen de error de los productos en un 9.76% y disminuir los retrasos en las entregas de los pedidos en un 9.21%. Además, se pudo cubrir un 15.46% de la demanda insatisfecha y se redujeron los tiempos del proceso en 3.72 minutos en la cadena de valor (VSM). Se lograron producir 57 unidades más de parihuelas al mes, se incrementó en 1.91 unidades la producción por hora-hombre y se mejoró la eficiencia física en un 5%. Además, se obtuvo una ganancia económica de 0.62 soles por cada sol invertido en términos de eficiencia económica.

En este contexto, Flores [12] plantea en su investigación titulada “*Modelado del proceso de fabricación de joyas mediante simulación para mejorar la productividad de la empresa joyería WV-San Jeronimo-Junin*”, se propone utilizar la herramienta de simulación de procesos ProModel con el objetivo principal de mejorar la productividad de la empresa, logrando ahorros tanto en costos como en tiempo. Para alcanzar este objetivo, se empleó la metodología de construcción del proceso en el simulador durante un período de estudio de 15 días. Durante este

tiempo, se utilizó un total de 126 unidades de materia prima de plata, y como resultado se obtuvieron 176 unidades de joyas, distribuidas en 23 lotes. Los resultados arrojaron que la cantidad de materia prima ingresada fue de 131 unidades, mientras que se produjeron 232 unidades de joyas, así elaborar un lote de joyas fue de tan solo 17.7 minutos. Asimismo, se planteó la posibilidad de reducir la cantidad de operarios empleados y reubicarlos en el área de ensamble. En consecuencia, a través del uso de la herramienta ProModel, la empresa joyería WV-San Jeronimo-Junin logró mejorar su productividad mediante el ahorro de costos y tiempo en el proceso de fabricación de joyas.

Por ese motivo, Magallan & et al [13] en el capítulo de su libro titulado “*Simulación de balanceo de línea con ProModel*”, presentan una comparación de resultados obtenidos por investigadores de la Universidad de Malasia en un estudio sobre una línea de ensamblaje de convertidores de potencia compuesta por 19 estaciones de trabajo. El estudio se llevó a cabo utilizando el simulador ProModel. En el diseño actual de la línea de ensamblaje, se producían 845 unidades al día. Sin embargo, se descubrió que la estación 8 solo se utilizaba en un 23%, lo que resultaba en un 77.3% de tiempo de inactividad. Para mejorar la eficiencia y alcanzar una producción de 1000 unidades al día, con un tiempo de ciclo menor o igual a 0.4860 minutos, se reasignaron las tareas en la línea de ensamblaje. Esto condujo a un total de 17 estaciones de trabajo. Como resultado, se logró una producción diaria de 1200 unidades. Además, todas las estaciones superaron el 50% de utilización, y el tiempo de inactividad se redujo al mínimo del 0.5%. En conclusión, el balanceo de líneas como herramienta de optimización demostró ser efectivo para aumentar la utilización de las estaciones de trabajo en la línea de ensamblaje. Esto no solo ofrece la ventaja de reducir el tiempo de inactividad, sino que también contribuye a la reducción de los costos de producción y los plazos de entrega del producto final.

De esta manera, no sólo se pretende conocer las aplicaciones del simulador ProModel, sino el escenario del proceso de control de calidad por el cual se rige el arroz cáscara para considerarse de producto de calidad. Así, Gavica [14] en su investigación “*Análisis comparativo de calidad físico-química y organoléptica del arroz (Oryza sativa) producido en Honduras vs arroz de origen Estados Unidos*” plantea el objetivo de analizar las propiedades físicas, químicas y organolépticas del arroz de Honduras y Estados Unidos, con el fin de identificar la característica de mayor impacto en la calidad del grano pulido y procesado. En el estudio, se tomaron muestras compuestas del 10% de cada lote evaluado, lo que equivale a 3 kg de arroz de cada lote, y se llevaron al laboratorio para su análisis. Se utilizaron los equipos necesarios para medir diversas propiedades, como temperatura, densidad, rendimiento, presencia de impurezas, daño causado por hongos, daño por calentamiento, presencia de granos

rojos, porcentaje de grano quebrado, humedad y se realizó un análisis organoléptico siguiendo la metodología del USDA. Se observó que el arroz de Estados Unidos presentaba una mayor densidad en comparación con el arroz de Honduras, lo que se traduce en un mayor rendimiento y una mejor calidad de pulido. Por otro lado, el arroz de Honduras mostró un mayor porcentaje de grano quebrado, presencia de granos yesosos, mayor capacidad de retención de agua, mayor porcentaje de granos rojos, mayor cantidad de impurezas, mayor porcentaje de granos dañados por insectos y mayores daños causados por calentamiento. En efecto, los resultados indican que el arroz proveniente de Estados Unidos tiene una mayor calidad en comparación con el arroz de Honduras. Además, se destaca que el porcentaje de grano yesoso tiene un impacto crítico directo e indirecto en la calidad del arroz.

Mientras tanto, en el estudio titulado “*Estudio de viabilidad para el análisis técnico de la calidad del arroz (Oryza sativa) según el Reglamento Técnico Nacional RTCR 202:1998 empleando procesamiento de imágenes digitales y medidor de blancura automático*”, Zuñiga [15] destaca la utilidad del análisis digital como un método altamente viable para la identificación de propiedades como grano entero, quebrado y puntilla (GEQP) en el arroz. Para llevar a cabo el análisis, se utilizaron equipos de detección de blancura como el Satake MM1D, y los resultados se analizaron digitalmente mediante el proceso de deconvolución, el cual es una transformación ortonormal de la información RGB de la imagen utilizando el software ImagenJ. Además, se emplearon métodos estadísticos, como la regresión lineal, la prueba de Shapiro-Wilk y el método gráfico Q-Q, para evaluar el comportamiento de los datos. En cuanto a los resultados obtenidos, se observó alto coeficiente de correlación (0.93-0.99) para las propiedades de GEQP, lo que indica una fuerte relación entre estas características. Por eso, el estudio demuestra que el análisis técnico utilizando el procesamiento de imágenes digitales y el medidor de blancura automático es una opción viable y precisa para evaluar la calidad del arroz según los estándares establecidos en el Reglamento Técnico Nacional RTCR 202:1998.

En este mismo sentido, Deepika & et al [16] en su artículo denominado “*Linear discriminant analysis of grain quality traits in rice (Oryza sativa L.) using the digital imaging technique*”, resalta el uso de imágenes digitales como un método preciso para la clasificación de genotipos de arroz basada en las características de calidad del grano. Se seleccionaron siete líneas de variedades de arroz, que abarcaban desde variedades agrónomicamente cortas hasta medianas, delgadas y aromáticas. Estas variedades fueron sometidas a mediciones utilizando la técnica de imagen digital con el Satake Grain Scanner y se aplicó un análisis estadístico discriminante lineal utilizando el software R para clasificar el tamaño del grano, el tipo, el

tiempo de cocción y la fragancia. Así, los resultados revelaron que la clasificación del tamaño del grano fue más precisa, dividiendo los granos en grupos cortos, medianos y largos. Sin embargo, la clasificación por tipo de grano, temperatura de gelatinización y aroma no fue tan precisa. El porcentaje de separación obtenido a través de los componentes LD1 y LD2 fue del 98.1% y 1.09%, respectivamente. Por ende, Estos hallazgos demuestran la eficacia de la técnica de imágenes digitales en la obtención de clasificaciones precisas de los genotipos de arroz.

Adicionalmente, en su investigación *“Desarrollo de una aplicación web para la clasificación de la calidad de arroz, mediante inteligencia artificial, en un molino de Ferreñafe”* de Lujan [17] plantea la efectividad de la técnica de inteligencia artificial para garantizar un funcionamiento adecuado en dispositivos con recursos limitados. Para ello, se implementó un sitio web utilizando redes neuronales supervisadas artificiales. Se tuvieron en cuenta los parámetros de calidad del arroz y se utilizó la validación cruzada para ponderarlos, logrando una precisión del 99.08%. Este sitio web permite registrar la muestra de entrada de acuerdo con el lote de arroz recibido en el molino y a la etapa de secado, ingresando los porcentajes de humedad, granos rojos, granos tizosos, granos dañados y porcentaje de quebrado. De esta manera, se logró clasificar la calidad del arroz según su variedad, lote o cliente. Las redes neuronales demostraron un alto nivel de precisión en la clasificación, lo que agiliza el proceso de aseguramiento de calidad en el laboratorio de análisis del molino.

Además, Ramírez [18] en su investigación *“Tecnología de los molinos de arroz de la localidad de Tembladera y su incidencia en la calidad y rendimiento de su producción. Año 2019”* señala que, de los 41 molinos encontrados en Tembladera, dos de ellos carecen de la tecnología adecuada y sofisticada para lograr la producción de arroz esperada. Ante esta situación, se consideró la alternativa de invertir en la implementación de tecnología calificada que garantice un proceso de pilado de alta calidad y, por consiguiente, un producto final de alta calidad. Mediante la observación y el uso de entrevistas como instrumento de investigación, se pudo evidenciar que estos molinos cuentan con maquinaria básica y una infraestructura limitada. Además, se encontró que el porcentaje de granos de arroz quebrados supera el 25%, lo cual excede el estándar establecido, y su capacidad de utilización es solamente del 52%. En consecuencia, se concluyó que la calidad del arroz depende en un 70% del acondicionamiento físico del arroz cáscara y en un 30% del equipo utilizado en el proceso de pilado. Por lo tanto, el tipo de tecnología utilizada resulta determinante para la calidad final del grano de arroz pilado.

Por último, en su artículo de investigación *“Productivity gains through standardization-of-work in a manufacturing company”*, Mor [19] destaca la importancia de la estandarización

de procesos en una industria que enfrentaba una serie de desafíos significativos. Entre estos desafíos se encontraban la falta de métodos de trabajo definidos, un cuello de botella pronunciado y tiempos de inactividad elevados, alcanzando los 199 segundos para las operaciones de máquina y 152 segundos para las operaciones realizadas por los operarios. Como resultado de la implementación de la estandarización de procesos, se lograron mejoras clave que tuvieron un impacto significativo en la productividad de la empresa. Por un lado, se consiguió aumentar la producción de piezas de 45 a 58 por turno, lo cual se acercaba considerablemente al takt time propuesto, un indicador fundamental en la planificación de la producción. Además, gracias a la eliminación de actividades que no agregaban valor (NVA), la productividad experimentó un incremento aproximado del 6.5%.

### **Materiales y métodos**

En la presente investigación, a base de los objetivos planteados, se considera aplicada, específicamente en la propuesta de una mejora del proceso de análisis de calidad de arroz añejo para aumentar la productividad. Se utilizó un enfoque cuantitativo por la recopilación de datos de fuentes confiables y proceder a cuantificarlo con el fin de determinar hasta qué punto se logren los objetivos mencionados. Además, el tipo de estudio adoptado es no experimental de corte transversal, debido que, el investigador no manipuló las variables independientes; y, por lo tanto, se realizó el estudio durante un tiempo determinado.

Este estudio se enfocó en un análisis descriptivo que buscó identificar las características fundamentales de la situación actual del proceso de análisis de calidad de las muestras de arroz añejo y su productividad asociada. Se describió el comportamiento de ambas variables con el propósito de obtener una comprensión más profunda. También, la población de estudio consistió en el proceso de análisis de calidad de todas las muestras de arroz pilado, desde su estado de producto directo hasta su estado como producto terminado, en la empresa molinera. La muestra seleccionada se centró específicamente en el análisis de calidad de las muestras de arroz añejo, dado que, este procedimiento se llevaba a cabo diariamente en el laboratorio de calidad, independientemente de la existencia de una campaña de arroz, y su tamaño era relativamente pequeño.

Con respecto al primer objetivo específico, se llevó a cabo un análisis de la demanda y producción de muestras analizadas, revelando la cantidad de muestras de arroz añejo que no se lograban analizar, es decir, la demanda insatisfecha. Asimismo, se evaluó el proceso productivo del análisis de muestras de arroz añejo, se estudiaron las etapas involucradas y se realizaron mediciones de tiempo correspondientes. Se elaboró una tabla resumen del Diagrama de Análisis

de Procesos (DAP) con el fin de obtener una mejor perspectiva para su posterior diseño y construcción. Para la toma de tiempos, se utilizó un cronómetro digital durante todo el período de estudio y se registraron los resultados necesarios para poder obtener los indicadores pertinentes. Estos indicadores estaban relacionados con la baja productividad e incluían la eficiencia de línea, la capacidad utilizada y producción. Finalmente, se recopiló esta información para su posterior simulación en el ProModel, con el objetivo de obtener una representación de la producción actual del proceso.

Para el segundo objetivo, se estableció la propuesta de mejora a base de las causas raíz obtenidas en el diagrama Pareto. Se realizó la estandarización de tiempos de transporte entre etapas dentro del laboratorio de calidad; luego, se seleccionaron las etapas óptimas, adicionan una balanza en el área de pesado para poder satisfacer las muestras demandadas a pesar y no obtener mermas en cola de espera con una sola balanza. Por consiguiente, se realizaron las simulaciones del escenario del diagnóstico y la mejora el software ProModel; también, se calcularon los indicadores antes y después de la mejora para observar sus variaciones en forma de incremento, para establecer una comparación. Finalmente, en el tercer objetivo, se realizó la evaluación económica de la propuesta, considerando los beneficios anuales y el costo por el equipo de la etapa de pesado, así obteniendo un resultado de la evaluación beneficio-costos.

## Resultados y Discusión

### Diagnóstico de la situación actual del proceso de análisis de calidad

La empresa molinera cuenta con un área de control de calidad que se encarga del análisis de diversas muestras relacionadas con el arroz pilado, así como las muestras de rums de arroz envasado. Nos enfocaremos específicamente en las muestras de arroz añejo. De esta forma, se identificó una lista de las principales causas que generan una baja productividad en la línea de análisis de calidad de muestras a arroz añejo en esta Tabla 1, las cuales se plasmaron en un diagrama Ishikawa (anexo 1) y se tomaron las frecuencias de cada una de las causas para ser representados en un diagrama de Pareto.

*Tabla 1: Check list de causas que generan la baja productividad de la línea de análisis de calidad de muestras*

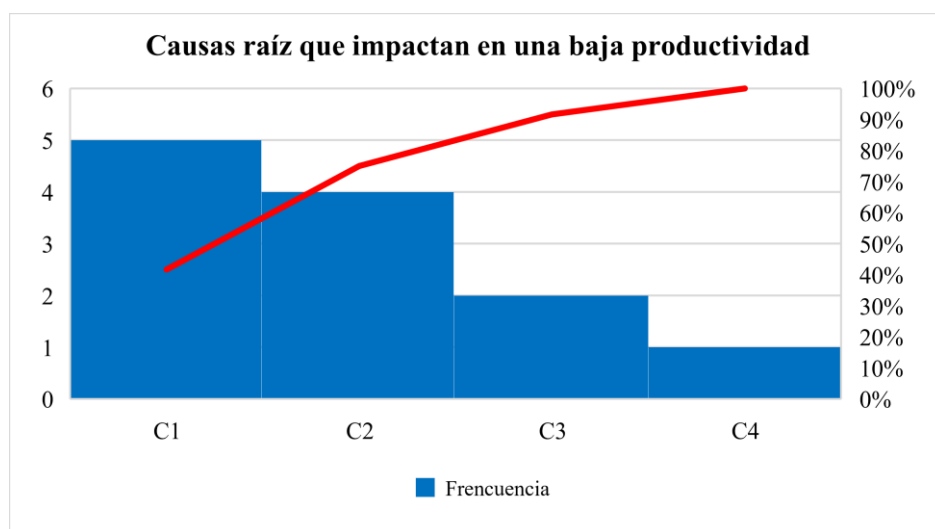
Codificación	Descripción de posibles causas	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada	Frecuencia Acumulada
C1	Movimientos improductivos	5	41.67%	41.67%	5
C2	Falta de equipos	4	33.33%	75.00%	9
C3	Falta de analistas de calidad	2	16.67%	91.67%	11
C4	Sobrecarga de trabajo	1	8.33%	100.00%	12

<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>37</b>
--------------	-----------	-----------	-------------	-----------

Fuente: Elaboración propia

A través del diagrama de Pareto, se identificó el 20% de las causas críticas del impacto en la baja de productividad. Tomando en cuenta ese postulado, se determinó que las dos causas principales son: los movimientos improductivos y falta de equipos, obteniendo una acumulación de 75%.

Gráfico 1: Diagrama de Pareto de causas de baja productividad



Fuente: Elaboración propia

Con el fin de diagnosticar la situación actual del proceso de análisis de calidad del arroz añejo, se recopiló información sobre la demanda de muestras a analizar y la producción de muestras analizadas mensualmente durante el año 2022. A partir de esta recopilación, se pudo observar que la cantidad de muestras a analizar se mantuvo constante en 240 muestras ingresantes. Sin embargo, la cantidad de muestras efectivamente analizadas (es decir, la demanda satisfecha) no alcanzó la cantidad estándar establecida. El mes con la mayor cantidad de muestras analizadas fue diciembre, con un total de 197 muestras. Estos datos se pueden visualizar en detalle en la Tabla 2.

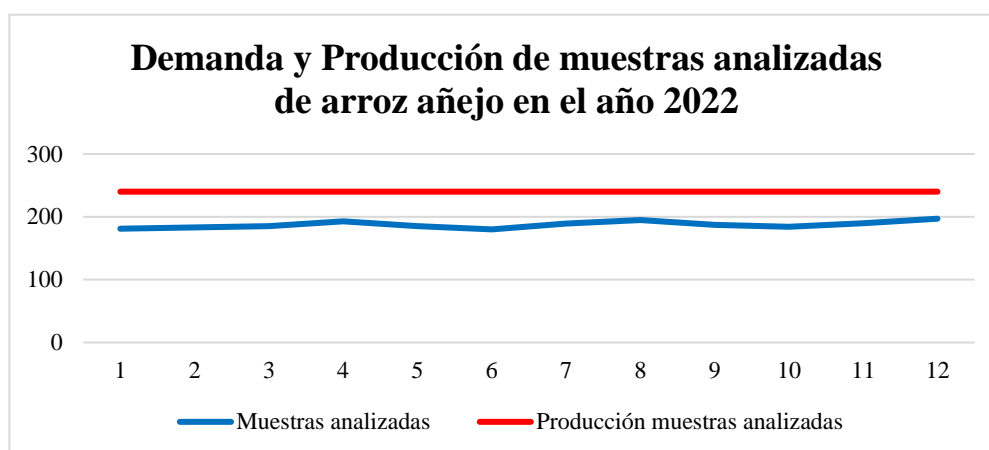
Tabla 2: Demanda y Producción anual mensual de muestras analizadas de arroz añejo durante el año 2022

Nº	Mes	Demanda de muestra a analizar	Producción de muestras analizadas
1	enero	240	181
2	febrero	240	183
3	marzo	240	185
4	abril	240	193
5	mayo	240	185

6	junio	240	180
7	julio	240	189
8	agosto	240	195
9	setiembre	240	187
10	octubre	240	184
11	noviembre	240	190
12	diciembre	240	197
<b>Total</b>		2880	2249
<b>Promedio</b>		<b>240</b>	<b>187</b>

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2: Demanda y Producción de muestras analizadas de arroz añejo en el año 2022



Fuente: Elaboración propia

De manera similar, se puede observar en el Gráfico N°1 la variabilidad en el número de muestras analizadas de arroz añejo, lo cual resulta en una demanda insatisfecha que representa aproximadamente un déficit del 25% en comparación con el promedio de producción de muestras analizadas, establecido en 240 muestras mensuales.

Por otro lado, en la Tabla 3 se presentan los tiempos normales y estándar correspondientes a la línea producción de análisis, donde se destaca un tiempo total estándar de 101.05 minutos. Es importante resaltar que se identificó un cuello de botella en la etapa de cocción, la cual requiere 38.5 minutos diarios para completarse.

Tabla 3: Tiempos de línea de producción de muestras analizadas de arroz añejo

N°	Actividad/Etapa	Tiempo Normal (min)	Tiempo Estándar (min/día)	Tiempo Estándar (min/und)
1	Transporte al área de añejado	7	4.3	0.43
2	Recolección de muestra de añejadora 1(#1)	4	2.5	0.25
3	Transporte al laboratorio de control de calidad	7	6.4	0.64
4	Recepción de muestras	1	0.5	0.05
5	Transporte al área de pesado	1	0.3	0.03

6	Pesado de arroz añejado #1 para clasificado	5	4.2	0.42
7	Transporte al área de clasificado	1	0.35	0.035
8	Clasificado de arroz añejado #1	2	1	0.1
9	Transporte al área de seleccionado	1	0.5	0.05
10	Selección manual de arroz quebrado, trizado, tiza total y mancha	25	20	2.0
11	Transporte al área de pesado	1	0.3	0.03
12	Pesado de arroz quebrado, trizado, tiza total y mancha de muestra #1	5	4.3	0.43
13	Registro de resultados de muestra #1	2	1.5	0.15
14	Transporte al área de pesado	1	0.5	0.05
15	Pesado de arroz añejado #1 para cocción	2	1	0.1
16	Pesado de agua para cocción	2	1	0.1
17	Transporte al área de cocción	1	0.5	0.05
18	Cocción de muestra #1	40	35	3.85
19	Inspección y categorización de cocción de muestra #1	2	1.6	0.16
20	Registro de resultados de cocción de muestra #1	2	1.5	0.15
21	Transporte al área de desechos	3	2.1	0.21
22	Eliminación de muestra de cocción de arroz añejo #1	1	0.6	0.06
23	Transporte al área de envasado y sellado	1	0.5	0.05
24	Envasado de muestras de arroz quebrado, trizado, tiza total y mancha de muestra #1	10	7.5	0.75
25	Sellado de muestra #1	3	2.1	0.21
26	Transporte al área de etiquetado	1	0.5	0.05
27	Etiquetado de muestra #1	2	1.5	0.15
28	Transporte al área de muestras analizadas	1	0.5	0.05
29	Almacén de muestras analizadas			
<b>Total</b>		<b>134</b>	<b>106.05</b>	<b>10.605</b>

Fuente: Elaboración propia

En esta instancia, se presenta un resumen de los tiempos promedio asociados a un proceso compuesto por 29 actividades. Este proceso teóricamente implica la realización de 10 muestras al día, lo que equivale a un total de 240 muestras al mes, con un análisis de 120 kilogramos en total. Es importante señalar que estos tiempos proporcionados nos permiten calcular una eficiencia de línea del 78.33%, lo cual indica que el proceso está operando cerca de su capacidad ideal. Sin embargo, se destaca que el análisis de calidad solo es llevado a cabo por un analista, quien trabaja durante un turno de 5 horas y 6 días laborales a la semana.

## Indicadores de productividad

Para la **producción** mensual, se debe tener en cuenta el tiempo base de un mes con la cantidad de tiempo de 1 turno al día de 5 horas y 24 días al mes, lo que resulta, 7200 minutos de análisis al mes. Por otro lado, se identificó el cuello de botella (etapa con mayor tiempo de operación), el cual tiene un tiempo de 38.5 minutos en la etapa de cocción.

$$Producción = \frac{\text{tiempo base}}{\text{cuello de botella}} = \frac{7200 \text{ minutos/mes}}{38.5 \text{ minutos/muestra}}$$

$$Producción = 187 \text{ muestras analizadas/mes}$$

Esta cantidad demuestra significa que, la empresa molinera logra analizar con su método de trabajo actual 187 muestras de arroz añejo al mes. Se debe destacar que, a comparación con el valor teórico de producción de 240 muestras mensuales, se logra satisfacer solo el 77.92% de la demanda de muestras a analizar.

Para la **productividad de MP**, se ha identificado la producción obtenida a partir del cociente del tiempo base y el cuello de botella, el cual fue de 187 muestras analizadas mensualmente; este resultado se dividió con las horas trabajadas; es decir, 5 horas en 1 turno por 24 días laborados al mes.

$$Productividad = \frac{\text{producción}}{\text{horas trabajadas}} = \frac{187 \text{ muestras/mes}}{120 \text{ horas/mes}}$$

$$Productividad = 1.55 \text{ muestra analizada/hora}$$

Este resultado obtenido, comprende que la empresa analiza 1 muestra de arroz añejo por hora a partir de su método de trabajo actual de control de calidad.

La **capacidad teórica** del proceso de análisis de muestras de arroz añejo se define a partir de la cantidad de 10 muestras analizadas al día por los 6 días laborales a la semana y su división con el tiempo de línea de 30 horas a la semana.

$$Capacidad \text{ teorica} = \frac{60 \text{ muestras/semana}}{30 \text{ horas/semana}}$$

$$Capacidad \text{ teorica} = 2 \text{ muestras/hora}$$

Este resultado indica que teóricamente se analizan 2 muestras por hora en el laboratorio de control de calidad.

La **capacidad real** del proceso se obtiene a partir del cálculo de la producción mensual de 47 muestras analizadas, el cual resulta el cociente del tiempo base de 1800 minutos al mes y

el cuello de botella de 38.5 minutos de la etapa de cocción. A continuación, se observará el resultado del cociente de la producción mensual real y las 30 horas disponibles a la semana.

$$\text{Capacidad real} = \frac{47 \text{ muestras/semana}}{30 \text{ horas/semana}}$$

$$\text{Capacidad real} = 1.57 \text{ muestras/hora}$$

Esto significa que el proceso de análisis de muestras tiene la capacidad real de analizar 1 muestra por hora con su método actual de trabajo.

Por último, la **eficiencia de línea** se ha definido según el tiempo total estándar de 106.05 minutos al día y el tiempo normal total de 134 minutos.

$$\text{Eficiencia de línea} = \frac{106.05 \text{ minutos/día}}{134 \text{ minutos}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de línea} = 79.14\%$$

Según el resultado, la eficiencia de línea compete a un 79.14% operando a su capacidad ideal.

#### Simulación del proceso actual en el software ProModel

Para la simulación se ha considerado los tiempos de las Tabla 3 de cada área establecida en el proceso de análisis de calidad de muestras de arroz añejo. Así, se desarrolló el layout en el software ProModel (anexo 2), donde se tomaron en cuenta las 5 horas de trabajo por un turno al día, de lunes a sábado desde las 10:30 a.m. Se debe resaltar que, al solo arribar 1 muestra cada 15 mins en este proceso.

Figura 1: Resultados de las locaciones utilizadas en la simulación

Locación Resumen								
Nombre	Tiempo Programado (Hr)	Capacidad	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Hr)	Contenido Promedio	Contenido Máximo	Contenido Actual	% Utilización
Laboratorio de Calidad	5.00	10.00	21.00	0.07	0.31	2.00	0.00	3.08
Área de pesado	5.00	1.00	39.00	0.09	0.67	1.00	1.00	66.52
Área de clasificado	5.00	10.00	20.00	0.02	0.08	1.00	0.00	0.79
Área de selección manual	5.00	10.00	20.00	0.30	1.21	3.00	2.00	12.09
Área de registro de resultados	5.00	10.00	17.00	0.02	0.08	1.00	0.00	0.78
Área de cocción	5.00	10.00	18.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.12
Área de envasado	5.00	10.00	17.00	0.12	0.42	2.00	0.00	4.21
Área de sellado y etiquetado	5.00	10.00	17.00	0.04	0.12	1.00	0.00	1.21
Almacén de muestras analizadas	5.00	10.00	17.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00

De esta manera, se evidenció que el producto terminado en almacén es de 17 muestras analizadas al día. Así, se observa que se reciben 21 muestras, sin embargo, en el proceso se pierden aproximadamente 5 muestras.

#### Simulación de la propuesta de mejora en el software ProModel

En este caso, se analizó y seleccionó las etapas claves del proceso. Esto permitió optimizar tiempos e integrar que etapas se puede realizar en un orden más primordial en conjunto.

Tabla 4: Tiempos de línea de producción mejorada de muestras analizadas de arroz añejo

N°	Actividad/Etapa	Tiempo Normal (min)	Tiempo Estándar (min/día)	Tiempo Estándar (min/und)
1	Transporte al laboratorio de control de calidad	1	1	0.1
2	Recepción de muestras (A)	1	0.5	0.05
3	Transporte al área de pesado 1	1	1	0.1
4	Pesado de arroz añejado #1 para clasificado (B)	5	4	0.4
5	Transporte al área de clasificado	1	1	0.1
6	Clasificado de arroz añejado #1 (C)	2	1	0.1
7	Transporte al área de seleccionado	1	1	0.1
8	Selección manual de arroz quebrado, trizado, tiza total y mancha (D)	25	20	2.0
9	Transporte al área de pesado 2	1	1	0.1
10	Pesado de arroz quebrado, trizado, tiza total y mancha de muestra #1 (E)	5	4.3	0.43
11	Transporte al área de cocción	1	1	0.1
12	Cocción de muestra #1 (F)	40	38.5	3.85
	Transporte al área de registro de resultados	1	1	0.1
13	Registro de resultados de cocción de muestra #1 (G)	2	1.5	0.15
14	Transporte al área de envasado	1	1	0.1
15	Envasado de muestras de arroz quebrado, trizado, tiza total y mancha de muestra #1 (H)	10	7.5	0.75
16	Transporte al área de sellado y etiquetado	1	1	0.1
17	Sellado y etiquetado de muestra #1 (I)	3	2.1	0.21
18	Transporte al área de muestras analizadas	1	1	0.1
19	Almacén de muestras analizadas			
<b>Total</b>		<b>98</b>	<b>84.4</b>	<b>8.44</b>

Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Diseño de la mejora del proceso de análisis de muestras de arroz añejo



Los criterios para la propuesta de esta mejora son los siguientes:

- Selección de etapas óptimas: resultado de 19 etapas, una diferencia de 10 etapas con el proceso anterior; además, se estandarizó el transporte entre etapas dentro del laboratorio de 1 min debido a las mínimas distancias. Por lo tanto, se obtuvo un tiempo de normal de 98 minutos y tiempo estándar de 84.4 minutos.
- Adición de una balanza en la etapa de pesado: al tener solo una balanza para el pesado de muestras para clasificado y luego, de la muestra seleccionada; generaba una merma en tiempos de espera de muestras a pesar, es decir, no satisfacía la demanda de muestras.

Estos criterios tienen el enfoque de las causas raíz mencionadas en el diagrama de Pareto y se procedió a realizar la simulación de la mejora (anexo 3).

*Figura 3: Resultados de las locaciones utilizadas en la propuesta simulada*

Locación Resumen								
Nombre	Tiempo Programado (Hr)	Capacidad	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Hr)	Contenido Promedio	Contenido Máximo	Contenido Actual	% Utilización
Laboratorio de Calidad	5.00	10.00	28.00	0.01	0.08	1.00	0.00	0.80
Área de pesado	5.00	1.00	28.00	0.06	0.36	1.00	1.00	36.12
Área de clasificado	5.00	10.00	27.00	0.01	0.06	2.00	0.00	0.65
Área de selección manual	5.00	10.00	27.00	0.29	1.56	3.00	1.00	15.58
Área de pesado 2	5.00	1.00	26.00	0.11	0.56	1.00	1.00	55.80
Área de registro de resultados	5.00	10.00	25.00	0.02	0.11	1.00	1.00	1.05
Área de cocción	5.00	10.00	25.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.22
Área de envasado	5.00	10.00	24.00	0.12	0.59	2.00	1.00	5.92
Área de sellado y etiquetado	5.00	10.00	23.00	0.03	0.16	2.00	1.00	1.59
Almacén de muestras analizadas	5.00	10.00	22.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00

Se puede observar que al recepcionar 28 muestras de arroz añejo, se obtuvieron 22 muestras almacenadas. En cambio, en el proceso actual sólo se pudieron analizar completamente 17 muestras, por ello, se analizaron con esta mejora 5 muestras más. Así, se redujo el tiempo de la etapa de selección de 20 min a 17.31 min, es decir, 2.69 min. Resaltando que se redujo el cuello de botella de la etapa de cocción de 38.5 min a 32 min, es decir, 6.5 min.

#### Cálculo de los nuevos indicadores

La siguiente tabla N° 5, se presentaron los indicadores antes y después de la mejora del proceso; influyó la estandarización del transporte y la reducción de tiempo al seleccionar las etapas óptimas. De esta manera, el reducirse el cuello de botella, logró incrementar un 20.32% la producción, 22.58% la productividad de MP, 21.02% la capacidad real, 16.67% la capacidad utilizada y 6.98% la eficiencia de línea.

Tabla 5: Comparación de indicadores antes y después de la mejora del proceso de análisis de muestras de arroz añejo

Indicador	Antes	Después	Variación
Producción	187 muestras/mes	225 muestras/mes	20.32%
Productividad de MP	1.55 muestras/kg ingresado	1.9 muestras/kg ingresado	22.58%
Capacidad real	1.57 muestra/hora	1.90 muestra/hora	21.02%
Capacidad utilizada	78.33%	95.00%	16.67%
Eficiencia de línea	79.14%	86.12%	6.98%

Fuente: Elaboración propia

### Evaluación económica de la propuesta de mejora

Para el análisis costo-beneficio se ha considerado la producción de la propuesta de mejora de 225 muestras analizadas al mes, es decir, 2700 muestras al año. Asimismo, el precio unitario de venta de una muestra de 500 g es de S/.3.00, por lo que, el beneficio anual por muestras de arroz añejo analizada es de S/. 8 100.00. Por otro lado, se implementó una balanza en el área de pesado, la cual posee un costo de S/.113.00. El resultado de utilidad es la resta total de los beneficios y los costos anuales, obteniendo un resultado de S/.7 987.00. Por lo tanto, la propuesta de totalmente viable al tener esa cantidad de utilidad anual.

Tabla 6: Análisis costo-beneficio

<b>BENEFICIO</b>		
Indicadores		Anual
Producción (muestras/mes)		225
Precio unitario (S/. /muestra)	S/	3.00
<b>Total (S/.)</b>	<b>S/</b>	<b>8,100.00</b>
<b>COSTO</b>		
Costo de la balanza		
Cantidad		1
Costo de equipo	S/	113.00
<b>Total (S/.)</b>	<b>S/</b>	<b>113.00</b>
<b>UTILIDAD</b>	<b>S/</b>	<b>7,987.00</b>

Fuente: Elaboración propia

### **Discusión**

Según el diagnóstico realizado de la empresa molinera, se ha identificado una baja productividad en el proceso de análisis de calidad de muestras de arroz añejo. Para abordar esta problemática, se llevaron a cabo diversas acciones, como la identificación de las causas raíz mediante la elaboración de un diagrama Ishikawa y un diagrama de Pareto [11], siguiendo un orden de prioridad basado en su criticidad. Estas causas raíz se manifestaban en movimientos improductivos y la falta de equipos adecuados. La empresa contaba únicamente con un analista encargado de todas las muestras, lo que dificultaba satisfacer la demanda mensual de 240 muestras, quedando en un total de 187 muestras de arroz añejo. Adicionalmente, se observó

que el laboratorio de calidad operaba a una capacidad de 1 muestra por hora según su método de trabajo actual, a pesar de tener la capacidad de analizar 2 muestras por hora. Como parte del estudio, se llevó a cabo una simulación del proceso actual, la cual arrojó un total de 17 muestras analizadas en el almacén. En contraste, en la simulación de la mejora del proceso propuesta por la investigación, se estableció un orden de etapas necesarias (19 etapas) para reducir los movimientos improductivos. Por ejemplo, se optimizó la etapa de registro de resultados, lo que permitió establecer un tiempo estándar de 84.4 minutos al día para el análisis de las muestras. Además, se implementó una balanza en el área de pesado, siguiendo la metodología mencionada por Magallán et al. [13] Esto involucró la creación de 10 ubicaciones para el pesado, lo que incrementó la cantidad de muestras analizadas a 22. Como resultado de estas mejoras, fue posible reducir la duración de la etapa de selección manual en 2.69 minutos y, por ende, la etapa de cocción (considerada el cuello de botella) de 38.5 minutos a 32 minutos. Cabe destacar que el uso de dos ubicaciones de pesado en lugar de una contribuyó a una disminución en el porcentaje de utilización de estas ubicaciones. La ubicación de pesado era crucial, ya que controlaba el pesado entre las etapas de recepción y selección manual de las muestras.

En consecuencia, se realizaron comparaciones de indicadores que reflejan la productividad y se observó un aumento del 20.32% en la producción, lo que equivale a un incremento de 38 muestras analizadas al mes. Además, la capacidad real del laboratorio se incrementó de 1.57 muestras por hora a 1.90 muestras por hora, aproximadamente 2 muestras por hora en capacidad teórica. Esto condujo a una capacidad utilizada del 95%. La eficiencia de línea también aumentó en un 6.98%, pasando del 79.14% al 86.12%. En resumen, estos mejoramientos se reflejaron en un aumento de la productividad de 1.55 muestras por kilogramo ingresado a 1.90 muestras por kilogramo ingresado.

De esta forma, se logró el objetivo de incrementar la productividad al invertir en un solo equipo, en este caso, una balanza para la etapa de pesado. Esto generó un análisis de costo-beneficio que, tomando en cuenta las 225 muestras analizadas al mes, arrojó una utilidad de S/ 7 987.00 al año.

## **Conclusiones y recomendaciones**

### **Conclusiones**

- Se realizó el diagnóstico de la situación actual del proceso de análisis de calidad de muestras de arroz añejo, donde se identificaron las causas fundamentales que daban lugar a la baja productividad. En consecuencia, se constató que los movimientos improductivos y la falta de equipos representaban aproximadamente el 80% de la problemática, tal como se evidenció en el diagrama de Pareto elaborado. Esto generaba un obstáculo significativo en la etapa de cocción, que se traducía en un tiempo de espera de 38.5 minutos. Como resultado, los indicadores de producción se situaban en 187 muestras al mes, con una productividad de 1.55 muestras por kilogramo ingresado, una capacidad real de 1.57 muestras analizadas por hora, una capacidad utilizada del 78.33% y una eficiencia de línea del 79.14%.
- Se diseñó la mejora del proceso simulado mediante el uso del software ProModel, que arrojó resultados satisfactorios y se reflejaron en el aumento de los indicadores analizados. Se seleccionaron las etapas (locaciones) necesarias en base a su prioridad y se implementó una segunda balanza en la etapa de pesado. Como resultado, el tiempo de espera en el cuello de botella se redujo de 38.5 minutos a 32 minutos, mientras que la etapa de selección manual experimentó una disminución de 2.69 minutos. Por último, los indicadores de producción, productividad, capacidad real, capacidad utilizada y eficiencia de línea experimentaron incrementos del 20.32%, 22.58%, 21.02%, 16.67% y 6.98%, respectivamente.
- Se realizó una evaluación económica de la propuesta, y los resultados demostraron de manera satisfactoria que el análisis costo-beneficio arrojó una utilidad de S/. 7 987.00. Por lo tanto, se puede afirmar que la propuesta de mejora es completamente viable desde el punto de vista económico.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda la aplicación de una nueva metodología de trabajo para los otros tipos de muestras a analizar como de producto directo y terminado de arroz pilado o muestras de secado; dado que, aseguraría una mejor organización en tiempos y uso de los equipos disponibles para el análisis de calidad satisfactoriamente.
- Se considera conveniente realizar un control de tiempos estandarizados entre etapas con la herramienta del Diagrama de Actividades del Proceso (DAP), puesto que, con este instrumento de ingeniería agilizaría el seguimiento del proceso en mejores condiciones.

## Referencias

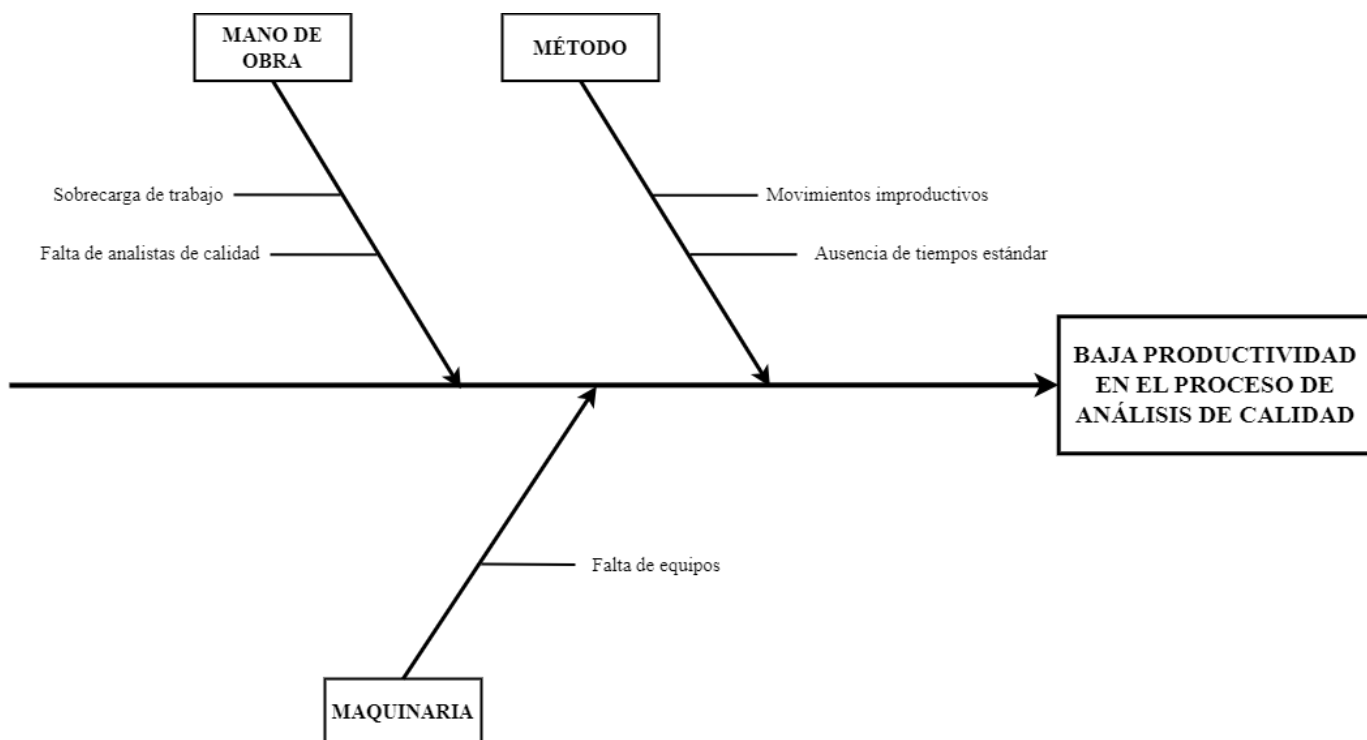
- [1] Statista, «Arroz: principales productores a nivel mundial | Statista», 2023. <https://es.statista.com/estadisticas/598933/principales-productores-de-arroz-con-cascara-en-el-mundo/> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [2] Unidad de Inteligencia Comercial, «Análisis del mercado de arroz», 2021, Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.sierraexportadora.gob.pe/bitstream/handle/SSE/283/Arroz%20-%20Junio.pdf?sequence=1>
- [3] D. Carhuavilca Bonett *et al.*, «Perú: Panorama Económico Departamental», jun. 2022. Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: [www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)
- [4] T. Fontalvo Herrera, E. De La Hoz Granadillo, y J. Morelos Gómez, «La Productividad y sus factores: Incidencia en el mejoramiento organizacional», *Dimensión Empresarial*, pp. 47-60, 2017, doi: 10.15665/rde.v15i2.1375.
- [5] P. Alcalde San Migue, *Calidad: Fundamentos, herramientas y gestión de la calidad para pymes*, 3°. 2019. Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=sjqlDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=concepto+de+calidad+industrial&ots=GTTaBkY4uw&sig=6rM-Ze5KnLCZ-oY5np35k1UO7Bo#v=onepage&q=concepto%20de%20calidad%20industrial&f=false>
- [6] R. Parra Vega y G. E. Galarcio Lopez, «Criterios de BPM en Empresa Molinera de Arroz», Universidad Nacional Abierta y a Distancia Unad, 2020. Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/34521/rparrave.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [7] A. Zuluaga Suarez, «Laboratorio de Calidad de Arroz del fondo lationamericano para arroz de riego (FLAR)», Santiago de Cali, 2014. Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57187918/laboratorio\\_calidad\\_arroz\\_zuluaga\\_2014\\_-\\_copia-libre.pdf?1534285630=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLaboratorio\\_calidad\\_arroz\\_zuluaga\\_2014\\_c.pdf&Expires=1684988731&Signature=U4IU0Oy9lyXKZWM69aoI-IIJiZomf0qOyPPG8wWy25y9mZiFJtyWzHNQCUdHgJTZduIVbw9uFPMtniJUaBjUf hIpmLFjmgBvhcNnNOJLjwAGMBpAdaOv1jra4tIY7Ryzmo8m5JwWzMPKFS4z8xRaA0SPDKxqPtJJN8WTMXB65I8YFgLjulVlxu~y8mHpkmUokJ5dmWz62~eSN2ILSkBuAQAMtHChgx771P2ceUiDcfwqiC~JAbEiHEh3RcIdvEGbCA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57187918/laboratorio_calidad_arroz_zuluaga_2014_-_copia-libre.pdf?1534285630=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLaboratorio_calidad_arroz_zuluaga_2014_c.pdf&Expires=1684988731&Signature=U4IU0Oy9lyXKZWM69aoI-IIJiZomf0qOyPPG8wWy25y9mZiFJtyWzHNQCUdHgJTZduIVbw9uFPMtniJUaBjUf hIpmLFjmgBvhcNnNOJLjwAGMBpAdaOv1jra4tIY7Ryzmo8m5JwWzMPKFS4z8xRaA0SPDKxqPtJJN8WTMXB65I8YFgLjulVlxu~y8mHpkmUokJ5dmWz62~eSN2ILSkBuAQAMtHChgx771P2ceUiDcfwqiC~JAbEiHEh3RcIdvEGbCA)
- [8] T. Echaveguren, A. Chamorro, y H. De Solminihac, «Concepts for modeling road asset management systems using agent-based simulation», *Revista Ingeniería de Construcción (RIC)*, vol. 32, 2017, Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: [www.ricuc.cl](http://www.ricuc.cl)
- [9] S. Aburto *et al.*, *Innovación Productiva: Sistemas de Calidad y Productos*, 1era ed. Veracruz: Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C., 2021. Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.utm.mx/avance\\_mir\\_2021/Programa%20104/001%20DESAROLLO\\_PR](https://www.utm.mx/avance_mir_2021/Programa%20104/001%20DESAROLLO_PR)

- OYECTOS\_INVESTIGACION/Productos%20de%20investigacion/1%20Inst\_IIA/Otros/Capitulo%20libro%20Innovacion%20Productiva\_Cap%2010\_pp%20142-167.pdf#page=16
- [10] D. L. Zapata Ruiz y J. C. Oviedo Lopera, «Modelo de Simulación de Alternativas de Productividad para apoyar los procesos de toma de decisiones en empresas del sector floricultor Antioqueño», *Información Tecnológica*, vol. 30(2), n.º 70-01, may 2019, Accedido: 24 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v30n2/0718-0764-infotec-30-02-00057.pdf>
- [11] S. J. Díaz Lezcano y D. E. Ruiz Muñoz, «Diseño del proceso productivo en la empresa madereras Cabanillas y servicios generales S.R.L. para incrementar la productividad», Universidad Privada del Norte, Cajamarca, 2019. Accedido: 24 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21806/D%c3%adaz%20Lezcano%20Sharon%20Jordana%20-%20Ruiz%20Mu%c3%b1oz%20Diana%20Elizabeth.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- [12] E. F. Flores Valle, «Modelado del proceso de fabricacion de joyas mediante simulación para mejorar la productividad de la empresa joyeria WV-San Jeronimo-Junin», Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, 2019. Accedido: 24 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1586/1/T026\\_42725409\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1586/1/T026_42725409_T.pdf)
- [13] A. A. Magallan Morales, L. Pérez-Domínguez, K. Y. Sánchez-Mojica, y D. Luviano Cruz, «Simulación de balanceo de línea con ProModel», en *Tendencias en la Investigación Universitaria. Una visión desde Latinoamérica.*, Fondo Editorial Universitario Servando Garcés de la Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero / Alianza de Investigadores Internacionales S.A.S., 2020, pp. 122-139. doi: 10.47212/tendencias2020vol.xiii.8.
- [14] C. A. Gavica Vera, «Análisis comparativo de calidad físico- química y organoléptica del arroz (*Oryza sativa*) producido en Honduras vs arroz de origen Estados Unidos», Zamorano, nov. 2019.
- [15] L. Zuñiga Picado, «Estudio de viabilidad para el análisis técnico de la calidad del arroz (*Oryza sativa*) según el Reglamento Técnico Nacional RTCR 202:1998 empleando procesamiento de imágenes digitales y medidor de blancura automático», Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, 2021.
- [16] C. Deepika, R. P. Gnanamalar, K. Thangaraj, N. Revathy, y A. Karthikeyan, «Linear discriminant analysis of grain quality traits in rice (*Oryza sativa* L.) using the digital imaging technique», *J Cereal Sci*, vol. 109, ene. 2023, doi: 10.1016/j.jcs.2022.103609.
- [17] J. F. Lujan Piscocoya, «Desarrollo de una aplicación web para la clasificación de la calidad de arroz, mediante inteligencia artificial, en un molino de Ferreñafe», Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://orcid.org/0000-0003-0409-8773>
- [18] Z. Ramírez, «Tecnología de los molinos de arroz de la localidad de Tembladera y su incidencia en la calidad y rendimiento de su producción», Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 2021.

- [19] R. Mor, «Productivity gains through standardization-of-work in a manufacturing company», *Journal of Manufacturing Technology Managment*, sep. 2018, Accedido: 25 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://sci-hub.se/10.1108/jmtm-07-2017-0151>

**Anexos**

*Anexo 1: Diagrama Ishikawa de las causas que generan la baja productividad*



*Anexo 2: Layout de proceso actual de análisis de calidad de muestras de arroz añejo*

**PROCESO DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE MUESTRAS DE ARROZ AÑEJO**



Anexo 3: Layout de mejora del proceso de análisis de calidad de muestras de arroz añejo

**PROCESO DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE MUESTRAS DE ARROZ AÑEJO**



Estudiante: Camila Alexandra Cerdán López