

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



**Propuesta de un modelo de simulación del proceso productivo de palta
para mejorar la productividad de una empresa agroindustrial**

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

AUTOR

Anne del Milagro Villafuerte Meza

ASESOR

Santos Confesor Gabriel Blas

<https://orcid.org/0000-003-0306-108X>

Chiclayo, 2023

TIB 100% Villafuerte

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%
INDICE DE SIMILITUD

12%
FUENTES DE INTERNET

1%
PUBLICACIONES

1%
TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	9%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorioslatinoamericanos.uchile.cl Fuente de Internet	<1%
4	archeologiamedievale.unisi.it Fuente de Internet	<1%
5	telefonica.es Fuente de Internet	<1%
6	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
7	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
8	yh.glisc.info Fuente de Internet	<1%
9	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	4
Abstract	5
Introducción	6
Revisión de literatura	7
Materiales y métodos	11
Resultados y discusión	12
Discusión	19
Conclusiones	20
Recomendaciones	20
Referencias	21
Anexos	23

Resumen

En esta investigación se ha analizado una empresa productora de paltas localizada en Lambayeque-Perú, la cual tiene problemas de baja productividad debido a la falta de estandarización y automatización en sus procesos. Tras una evaluación detallada de la situación actual de la empresa, se identificó que hay ciertas etapas, como la selección y el paletizado de las paltas, que aún se llevan a cabo manualmente. Por lo tanto, se llevó a cabo una simulación del proceso actual, y posteriormente se diseñó un proceso de mejora por medio del software Promodel, la cual consistió en automatizar el proceso a través de la incorporación de máquinas en las etapas del cuello de botella. El análisis ha revelado que la mejora logró un aumento en la producción a 38,848 cajas/día, así como un incremento del 38% en la productividad de la mano de obra. Finalmente, esta alternativa resultó económicamente viable, ya que el retorno de la inversión se dará en tan solo cuatro meses.

Palabras clave: Productividad, paltas, Promodel, simulación, maquinaria.

Abstract

In this research, an avocado producing company located in Lambayeque-Peru has been analyzed, which has problems of low productivity due to the lack of standardization and automation in its processes. After a detailed evaluation of the current situation of the company, it was identified that there are certain stages, such as the selection and palletizing of the avocados, which are still carried out manually. Therefore, a simulation of the current process was carried out, and later an improvement process was designed through the Promodel software, which consisted of automating the process through the incorporation of machines in the bottleneck stages. The analysis has revealed that the improvement achieved an increase in production to 38,848 boxes/day, as well as a 38% increase in labor productivity. Finally, this alternative was economically viable, since the return on investment will be given in just four months.

Keywords: Productivity, avocados, Promodel, simulation, machines.

Introducción

La palta, también conocida como aguacate, es un fruto originario de América Latina que se ha popularizado mundialmente en los últimos años debido a su versatilidad culinaria y a sus propiedades nutricionales. A nivel mundial, se estimó que la producción de palta ha aumentado significativamente durante los últimos años, convirtiéndose en uno de los principales cultivos de exportación en varios países de la región [1]. La demanda en 2019 alcanzó un valor total de más de 2.6 millones de toneladas, siendo los principales mercados que contribuyeron a esta cifra: Estados Unidos y los Países Bajos [2].

El Perú se ha posicionado como uno de los principales productores y exportadores de palta a nivel mundial, con regiones como Lambayeque que destacan por su producción y calidad del fruto. [3]

En la actualidad, las empresas peruanas deben adaptarse al crecimiento constante requerido por los mercados internacionales a fin de mantener una oferta continua de sus servicios y productos. Por lo tanto, muchas organizaciones llevan a cabo estudios regulares y buscan implementar tecnologías y herramientas innovadoras para mejorar su productividad y, en consecuencia, su rentabilidad. Una de estas herramientas es la simulación, mediante la cual se pueden evaluar escenarios y tomar decisiones informadas sin incurrir en altos costos ni una mayor cantidad de tiempo. Aunque las empresas agroindustriales cuentan con maquinaria automatizada para ciertos procesos, aún hay etapas que se realizan manualmente, lo que puede generar cuellos de botella.

Tal es el caso de esta empresa empaquetadora de palta y otras variedades de fruta. El análisis se enfoca en el proceso productivo de la variedad de palta Hass, donde se ha identificado que la baja productividad está relacionada con la etapa de paletizado, que se lleva a cabo de manera manual, lo que genera retrasos en las etapas siguientes. Además, el proceso no está estandarizado. La empresa tiene una productividad de mano de obra de 220 cajas/operario y una productividad de materia prima de 0.39 cajas/kg lo que resulta bajo a comparación de sus competidores en el mercado.

Por todo lo antes expuesto, nace la interrogante ¿La propuesta de simulación del proceso productivo de palta permitirá mejorar la productividad? Para resolver esta interrogante, el presente trabajo presenta como objetivo principal elaborar un diseño de la mejora del proceso productivo de palta aplicando el software Promodel para aumentar su productividad y como objetivos específicos, diagnosticar el estado actual de la empresa, simular la

propuesta del proceso productivo de palta Hass en ProModel y evaluar el beneficio costo de la propuesta.

Por consiguiente, la presente investigación servirá como antecedente a futuros estudiantes que realicen proyectos para mejorar el proceso de producción de la palta por medio del simulador ProModel. Además, contribuirá a la empresa a mejorar su producción y productividad para mantener a sus clientes satisfechos.

Revisión de literatura

Según [4], la **productividad** es la eficiencia en el uso de los recursos de una organización. Es una medida de la relación entre la producción y los insumos utilizados, lo que implica obtener el mayor rendimiento posible con la menor cantidad de insumos que entran al proceso.

Un **proceso productivo** es el conjunto de actividades que se realizan para transformar materias primas y recursos en productos o servicios que se ofrecen al mercado [5]. En cuanto a la **palta**, esta es una fruta originaria de América, conocida también como aguacate, que se cultiva en diferentes países del mundo y tiene una amplia variedad de usos en la cocina y la industria. La palta es rica en nutrientes como grasas saludables, fibra, vitaminas y minerales, y se utiliza en una variedad de platos [6].

Asimismo, el **diagrama de operaciones del proceso** (DOP) corresponde a una representación gráfica visual que muestra cuándo los materiales ingresan al proceso y la secuencia de las inspecciones, junto con las actividades que se llevan a cabo. [7]

La toma de **tiempos estándar** implica el uso de técnicas para establecer el lapso de tiempo que requiere un trabajador para realizar una tarea determinada, siguiendo un enfoque predefinido de trabajo. [8]

El **diagrama de Ishikawa** ayuda a analizar gráficamente y de forma estructurada los nexos causales asociados con un problema específico. Al jerarquizar la importancia de cada fuente del problema, el diagrama ayuda a identificar con precisión las fuentes de cada uno de ellos y a guiar hacia una solución efectiva. [9]

El **software Promodel** es un software de simulación de procesos que permite crear modelos informáticos dinámicos y animados de entornos industriales y evaluar su funcionamiento. También incluye herramientas de optimización para mejorar el rendimiento de los procesos simulados. [10]

Por otro lado, la **simulación de procesos** es el uso de modelos informáticos para recrear virtualmente los métodos y procedimientos de fabricación, operación o cualquier otro tipo de proceso. Esta técnica permite probar diferentes escenarios y ajustar parámetros para optimizar los procesos. [11]

Es importante mencionar que la **tecnología**, según [12] es el conjunto de herramientas creado por el ser humano que se utiliza para alcanzar ciertos objetivos o metas, incluye tanto herramientas físicas como prácticas operativas, como la producción y uso de máquinas y otros artefactos.

Vargas y Zorilla [13] en su investigación “Desarrollo de un sistema automático de selección de palta Hass por sus índices de calidad para la empresa Agroindustrial Verdeflor S.A.C.”, identificaron que la falta de eficiencia en las empresas exportadoras de palta se debe a que el proceso de selección se realiza manualmente. Ante ello, plantearon como objetivo desarrollar e implementar un sistema automatizado que permita la selección de palta Hass mediante un algoritmo de procesamiento de imágenes diseñado específicamente para detectar imperfecciones y evaluar los índices de calidad de los frutos. Además, se creó un prototipo mecánico para el transporte de las paltas. Para validar el algoritmo de detección y el sistema en su conjunto, se llevó a cabo pruebas de validación, las cuales demostraron una reducción en la probabilidad de error humano del 5-8% al 3,3%.

Balarezoz y Floríndez [14] en su investigación “Aplicación de herramientas de lean manufacturing para incrementar la eficiencia de la línea procesadora de palta de una empresa agroexportadora”, se planteó como objetivo principal elevar la eficiencia de la línea al eliminar diferentes formas de desperdicio. Con este fin, se identificaron los tipos de desperdicio relacionados con los tiempos de espera, cambios de producto, transporte innecesario, productos defectuosos y exceso de inventario. Para lograrlo, se emplearon diversas técnicas y herramientas como el VSM, las 5S, el SMED, el mantenimiento preventivo y los controles visuales. Los resultados obtenidos tras la aplicación de estas estrategias revelaron un aumento del 32% en la eficiencia promedio semanal, así como un incremento del 10% en la disponibilidad de la maquinaria, un rendimiento mejorado en un 25% y un aumento en la calidad, pasando del 98% al 99%.

Ahmad, Guli y Muzaffar [15] en su artículo “Robotics and food technology” exponen que en los últimos años ha habido un aumento en el uso de la automatización y la simulación en la industria alimentaria moderna, debido a sus numerosas ventajas. Sin embargo, a diferencia de la industria automotriz y otras industrias, la industria alimentaria no ha adoptado esta tecnología al mismo ritmo, principalmente debido a razones técnicas y

otras limitaciones. La alta inversión requerida, la naturaleza variable de los productos alimenticios, la fragilidad y perecibilidad de los alimentos, los requisitos de higiene y esterilización, así como las altas tasas de producción. A pesar de esto, todavía existe la oportunidad de obtener beneficios significativos, como el aumento en la vida útil de los alimentos, reducción de costos y mayor flexibilidad. El principal desafío radica en desarrollar máquinas flexibles, higiénicas e inteligentes a un costo accesible para la industria alimentaria. Afortunadamente, las tecnologías necesarias para lograrlo ya están disponibles. La correcta implementación y operación de estos sistemas podrían determinar qué empresas liderarán en la producción de alimentos a futuro.

Martínez G. [16] en su artículo “Propuesta de un sistema paletizado continuo de alta velocidad” se planteó una solución para abordar los problemas y necesidades actuales relacionados con la paletización manual de la empresa. El autor se planteó como objetivo desarrollar una propuesta de automatización que sea una alternativa de paletizado continuo de alta velocidad. Para lograr esto, se realizó un análisis comparativo de los tiempos del proceso automatizado y se evaluó la calidad del proceso de paletización. A través de este análisis y la aplicación del sistema de paletización más eficiente, se demostró que la empresa podría aumentar su productividad al generar 4 pallets adicionales en comparación con el paletizado manual, lo que hace que el proceso productivo sea más eficiente.

Gonzaga D. [17] en su artículo “Sistema de paletizado para acoplar a la línea de envasado” enfatizó el funcionamiento y la importancia de un sistema automatizado para lograr la optimización de los procesos y recursos en un entorno de producción. Se planteó como objetivo implementar un sistema de paletizado para acoplar a la línea de envasado de líquidos del laboratorio de automatización industrial. Posterior a ello, se detallaron los elementos y componentes utilizados en la implementación del Sistema. Por último, se explican los pasos necesarios para implementar el sistema de paletizado, que incluye la carga del programa en el programador para lograr un sistema completamente automatizado. Se demostró que el uso de un módulo de paletizado en proyectos de investigación conlleva mejoras en la productividad, reducción de tiempos muertos y un manejo más eficiente de las etapas posteriores, como el almacenamiento.

Odar [18] en su investigación “Mejora de la productividad en la empresa Vivar S.A.C.” identificó problemas que afectaban la productividad en la empresa, principalmente relacionados con deficiencias en el manejo de la producción debido a un sistema inadecuado. Ante ello, se planteó proponer la mejora de la productividad en la empresa

VIVAR SAC, para lograr dicho objetivo se realizó durante el proceso, el análisis de la fuerza laboral y evaluación de indicadores de productividad, se buscó identificar áreas de mejora. Luego se llevó a cabo un análisis equilibrado, control e inspección de la planta de producción, lo que resultó en un incremento del 4% en la productividad de los materiales, un 11% en la fuerza laboral y un 16% en la productividad financiera. Finalmente, se logró un retorno de inversión de 0.24 soles por unidad.

Paz N. [19] en su investigación "Diseño de un sistema automatizado para mejorar la productividad de la etapa de paletizado en la empresa Jayanca Fruits S.A.C" identificó que existía una baja productividad en el proceso de la empresa, debido a que la etapa de paletizado se realizaba de forma manual. Por lo cual, se propuso el diseño de un Sistema automatizado para mejorar la productividad empleando como herramienta el software So Machine. Los resultados obtenidos revelaron una mejora de indicadores de producción como el aumento del 183% en la productividad de mano de obra, con un TIR de 6,02 meses, lo cual representa una opción económicamente viable para la empresa.

Bazánaetaal. [20] en su artículo "An integrated system: Lean, Six Sigma and Theory of constraints, a study applied in wooden furniture industry in Lima, Peru" planteó como objetivo principal aumentar la productividad de la empresa, ya que enfrentaba desafíos en su proceso productivo, como un uso inadecuado de los recursos y una distribución de trabajo deficiente entre los operarios. La implementación de una herramienta de ingeniería permitió reducir los tiempos muertos en la fase de secado. Además, se logró un aumento del 7% en la productividad, un incremento del 5% en el tiempo de ciclo, lo que se traduciría en un aumento de la capacidad de procesamiento en 1.38, y elevar el nivel de Six Sigma a 4, con ingresos incrementados en un 65%.

Bernal, Cock y Restrepo [21], en su investigación "Productividad en una celda de manufactura flexible simulada en ProModel utilizando path networks type crane" se planteó como objetivo principal la selección de una alternativa de solución con el propósito de mejorar la productividad del sistema actual mediante la implementación del simulador ProModel. Durante un lapso de tres horas, se llevó a cabo la simulación del sistema, revelando que la productividad alcanza las 7 piezas procesadas por hora. Asimismo, se procedió a determinar el porcentaje de utilización de cada una de las locaciones, identificando que la fresadora presenta el mayor porcentaje debido a su tiempo de proceso, mientras que el robot se destaca como el recurso con mayor porcentaje de utilización.

Osorio ,Saul et al. [22] en su artículo “A literature review on the pallet loading problem” se enfoca en examinar detalladamente el problema de carga de pallet, el cual adquiere una gran relevancia debido a la feroz competencia que enfrentan actualmente las empresas. El impacto que el almacenaje y el transporte tienen en las ganancias requiere la adopción de medidas para contrarrestarlo, siendo el paletizado eficiente una forma de reducir costos. El Problema de Carga del Pallet (PLP) busca optimizar el espacio disponible en el pallet para lograr cargar la mayor cantidad de productos de manera adecuada. El estudio práctico y los beneficios asociados al PLP han estimulado la investigación en busca de soluciones. Por ende, se planteó llevar a cabo un análisis exhaustivo de los principales estudios existentes, con el propósito de exponer sus características principales y los métodos de solución propuestos. Dicha investigación proporcionará una base sólida de conocimientos que respaldará la formulación de nuevos modelos y estrategias para abordar el PLP.

Materiales y métodos

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

Se realizó el diagnóstico de la empresa agroindustrial que dio como resultado la identificación de los etapas necesarias para la producción de palta, y mediante el diagrama de operaciones de procesos (DOP) y los tiempos estándar para cada etapa del proceso se pudo determinar que la selección y paletizado son el cuello de botella, lo que conllevó al análisis de las causas fundamentales de la baja productividad. Asimismo se efectuó la simulación, lo que ayudó a calcular indicadores de productividad.

Diseño de un modelo de simulación para incrementar la productividad

Una vez que se logró analizar la situación actual, a partir de la búsqueda de información de diversas fuentes bibliográficas acerca de las tecnologías y maquinarias que podrían ayudar a optimizar el proceso de la compañía, se propuso la mejora del proceso usando el Software Promodel.

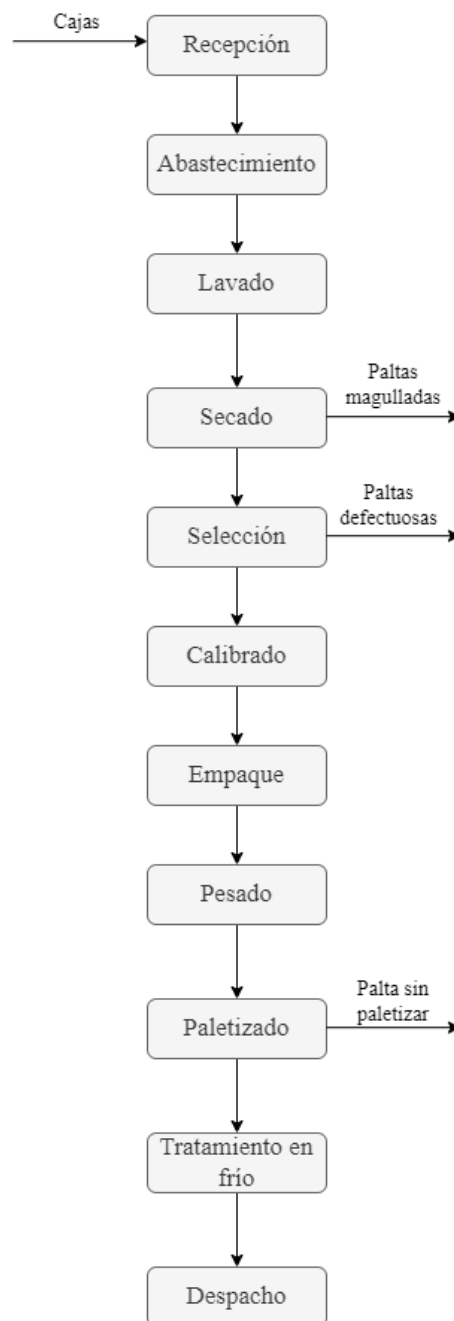
Beneficio Económico

En este último apartado, se evaluó económicamente la propuesta, identificando el costo de las nuevas maquinarias, y sus utilidades para la empresa. Finalmente, se obtuvo que existirán mejores resultados si la empresa implementa la propuesta.

Resultados y discusión

La actividad principal de la empresa es procesar la palta bajo la modalidad de maquila. Su presentación más demandada es de la de 4 kg. La empresa tiene un horario laboral de 11 horas por día y un personal de 128 trabajadores, la mayoría sin la capacitación necesaria. Esta falta de formación hace que cada etapa del proceso tarde más tiempo del previsto, lo cual a su vez afecta negativamente la calidad del producto final. El proceso completo implica una serie de etapas, tal y como se puede apreciar en el Diagrama de bloques y DOP (Anexo 1).

Figura 1: Diagrama de bloques del proceso productivo de palta



Fuente: Elaboración Propia

Según se puede observar en la Tabla 1, el proceso de selección es la etapa que más tiempo consume, con una duración de 60,12 segundos/caja, junto con la etapa de paletizado con 49,03 segundos/caja. Esto se debe a que se realiza de forma manual, lo que implica una menor eficiencia en comparación con otras etapas.

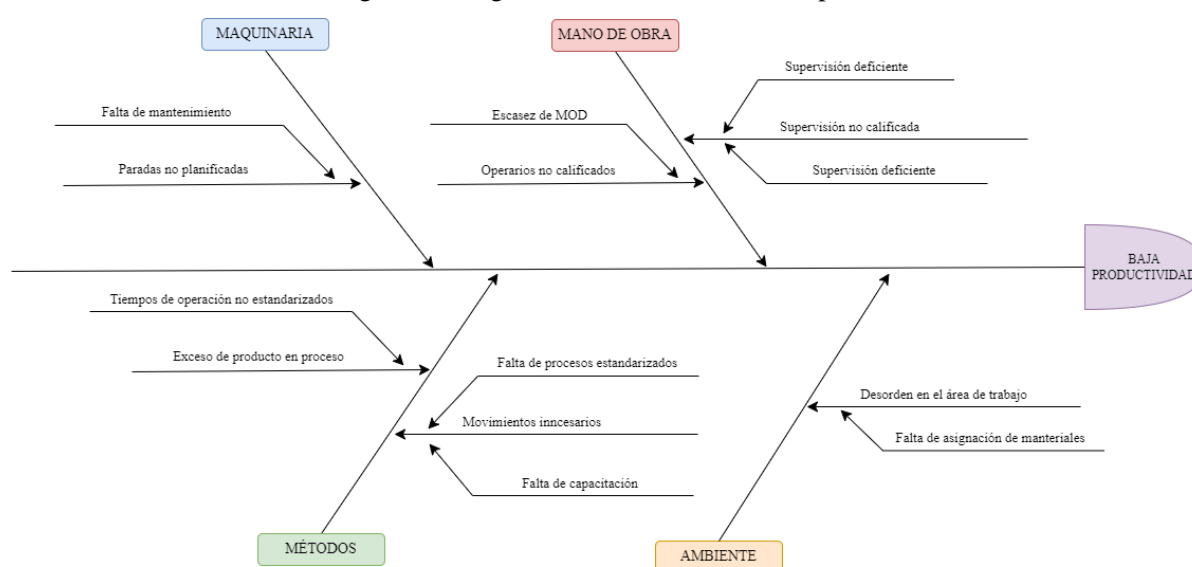
Tabla 1. Tiempos estándar de cada etapa

Etapa	Tiempo Total (segundos/caja)
Recepción	20.18
Abastecimiento	16.23
Lavado	11.89
Secado	12.07
Selección	60.12
Calibrado	12.02
Empaque	41.01
Pesado	17.21
Paletizado	49.03
Tratamiento en frío	5.29
Total	245.05

Fuente: Elaboración Propia

La producción de la empresa se ve afectada por varios factores, tal y como se ilustra en el diagrama causa efecto que se muestra a continuación. Entre estos factores, se identifican los movimientos innecesarios derivados de la falta de formación adecuada, las paradas de maquinaria y la poca preparación por parte de los operarios.

Figura 2. Diagrama de Ishikawa de la empresa



Fuente: Elaboración Propia

Simulación del proceso actual:

Para realizar el diagnóstico de la situación actual de la empresa, también se realizó la simulación en el software ProModel, se consideró la máxima capacidad de la planta (100 000 kg/día) teniendo en cuenta que ingresan aproximadamente 71 361 kg de palta al día. Posteriormente, se simuló por 7 horas y 30 minutos, el cual es el horario laboral.

Asimismo, para la simulación del proceso actual, se tomó en cuenta los datos obtenidos en el estudio de tiempos (Tabla 1).

Figura 3: Layout situación actual



Fuente: Promodel

Dentro del proceso actual se identificaron como locaciones:

Figura 4. Locaciones del modelo de simulación situación actual

Nombre	Tiempo Programado (Hr)	Capacidad	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Min)	Contenido Promedio	Contenido Máximo	Contenido Actual
Recepción	7.50	10,000.00	39,321.00	0.34	0.33	5.00	0.00
Abastecimiento	7.50	9,000.00	39,320.00	0.27	0.27	5.00	1.00
Lavado	7.50	8,000.00	39,318.00	0.20	0.19	5.00	0.00
Secado	7.50	7,000.00	39,318.00	0.20	0.20	5.00	0.00
Selección	7.50	5,000.00	35,507.00	1.00	0.90	8.00	2.00
Calibrado	7.50	500.00	28,473.00	0.20	0.14	4.00	0.00
Empaque	7.50	4.00	28,473.00	0.68	0.49	4.00	3.00
Pesado	7.50	10.00	28,469.00	0.29	0.21	5.00	0.00
Paletizado	7.50	264.00	28,469.00	183.71	132.07	264.00	221.00
Tratamiento en frío	7.50	14.00	93.00	0.10	0.00	1.00	0.00

Fuente: Promodel

Se observa en la figura 5 que se establecieron 4 entidades, además se produce actualmente 28,248 cajas de palta por día, al mismo tiempo que se desecha aproximadamente 10,842 kg de palta que no cumple con los estándares de calidad necesarios para satisfacer la demanda de los clientes.

Figura 5. Entidades del modelo de simulación situación actual

Nombre	Total Salidas	Cantidad actual En Sistema	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En lógica de movimiento Promedio (Min)	Tiempo Esperando Promedio (Min)
Cajas	28,248.00	231.00	188.31	1.34	182.98
Pallet con cajas	93.00	0.00	0.27	0.17	0.00
Paltas descarte magulladas y defectuosas	10,842.00	0.00	2.26	0.61	0.00
Paltas sin paletizar	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Promodel

Figura 6. Resumen de variables

Nombre	Total Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Min)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Actual	Valor Promedio
Vn cajas entrantes	39,321.00	1.01	0.00	39,321.00	39,321.00	19,735.11
Vn cajas entrantes paletizado	28,469.00	1.39	0.00	28,469.00	28,469.00	14,374.56
Vn pallets con cajas paletizado	93.00	422.08	0.00	93.00	93.00	47.68
Vn cajas entrantes abastecimiento	39,319.00	1.01	0.00	39,319.00	39,319.00	19,734.68
Vn cajas entrantes selección	35,505.00	1.12	0.00	35,505.00	35,505.00	17,862.52
Vn cajas entrantes secado	39,318.00	1.01	0.00	39,318.00	39,318.00	19,733.95
Vn cajas entrantes lavado	39,318.00	1.01	0.00	39,318.00	39,318.00	19,734.32
Vn cajas entrantes calibrado	28,473.00	1.39	0.00	28,473.00	28,473.00	14,375.62
Vn cajas entrantes empaque	28,470.00	1.39	0.00	28,470.00	28,470.00	14,375.01
Vn cajas entrantes pesado	28,469.00	1.39	0.00	28,469.00	28,469.00	14,374.69
Vn pallets salientes	93.00	422.08	0.00	93.00	93.00	47.68

Fuente: Promodel

Producción: Según los datos arrojados en el Promodel la producción es de:

$$Producción = 28\ 248 \text{ cajas/día}$$

Productividad de materia prima: Se ha tomado en cuenta la producción obtenida entre la cantidad de kg que entra.

$$P_{Mp} = \frac{28\ 248 \text{ cajas/día}}{71\ 361 \text{ Kg/día}} = 0.3958 \text{ cajas/kg}$$

Productividad de mano de obra: Se consideró la producción entre la cantidad de operarios en la planta.

$$P_{Mo} = \frac{28\ 248 \text{ cajas/día}}{128 \text{ op/día}} = 220.687 \text{ cajas/op. día}$$

Simulación de la propuesta de mejora

Como se observe en el diagnóstico de la situación inicial, las principales causas de la baja productividad son los movimientos innecesarios por falta de estandarización y las paradas de maquinaria.

Con base a ello, se plantea como propuesta la automatización de la etapa de selección y paletizado, adquiriendo una máquina que cuenta con un sistema automatizado para detectar imperfecciones y clasificar las paltas a una velocidad de 12 piezas por segundo. Esta misma

máquina también llevará a cabo la etapa de calibración, reduciendo así la cantidad de empleados necesarios. Además, se propone el uso de una máquina paletizado y selección automático (anexo 2 y 3). Dicha máquina cuenta con un sistema PLC, un motor y una caja de cambios. Con esto, se determina un nuevo tiempo para las etapas de selección y paletización, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 2. Tiempos estándar de cada etapa

Etapa	Tiempo Total (segundos/caja)
Recepción	20.18
Abastecimiento	16.23
Lavado	11.89
Secado	12.07
Selección	40
Calibrado	12.02
Empaque	41.01
Pesado	17.21
Paletizado	38.02
Tratamiento en frío	5.29
Total	213.92

Fuente: Elaboración Propia

Por medio de la Tabla 2 se puede observar que se han disminuido los tiempos de procesamiento implementado la nueva maquinaria. Tomando en cuenta estos datos, se llevó a cabo una nueva simulación. Por otro lado, la Figura 6 demuestra que, en comparación con el proceso actual, la producción diaria ha aumentado en un 38% para el escenario 1, alcanzando las 38,848 cajas.

Figura 6. Layout mejora del proceso



Fuente: Promodel

Figura 7. Locaciones de la mejora del proceso

Nombre	Tiempo Programado (Hr)	Capacidad	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Min)	Contenido Promedio	Contenido Máximo	Contenido Actual
Recepción	7.50	10,000.00	39,746.00	0.33	0.34	6.00	1.00
Abastecimiento	7.50	9,000.00	39,745.00	0.27	0.27	6.00	0.00
Lavado	7.50	8,000.00	39,745.00	0.20	0.20	4.00	0.00
Secado	7.50	7,000.00	39,745.00	0.20	0.20	6.00	0.00
Selección	7.50	5,000.00	35,833.00	0.67	0.60	6.00	0.00
Empaque	7.50	4.00	35,114.00	0.68	0.61	4.00	1.00
Calibrado	7.50	500.00	35,114.00	0.20	0.18	5.00	0.00
Paletizado	7.50	264.00	35,112.00	148.29	131.49	264.00	264.00
Tratamiento en frío	7.50	114.00	130.00	0.09	0.00	1.00	0.00
Pesado	7.50	10.00	35,112.00	0.29	0.26	5.00	0.00

Fuente: Promodel

Figura 8. Entidades de la mejora del proceso

Nombre	Total Salidas	Cantidad actual En Sistema	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En lógica de movimiento Promedio (Min)	Tiempo Esperando Promedio (Min)
Cajas	34,848.00	267.00	152.46	1.34	147.63
Pallet con cajas	130.00	0.00	0.26	0.17	0.00
Paltas descarte magulladas y defectuosas	4,631.00	0.00	1.63	0.53	0.00
Paltas sin paletizar	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Promodel

Figura 9. Variables de la mejora del proceso

Nombre	Total Cambios	Tiempo Por cambio Promedio (Min)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Actual	Valor Promedio
Vn cajas entrantes	39,745.00	1.00	0.00	39,745.00	39,745.00	19,813.36
Vn cajas entrantes paletizado	35,112.00	1.13	0.00	35,112.00	35,112.00	17,528.55
Vn pallets con cajas paletizado	130.00	302.28	0.00	130.00	130.00	64.85
Vn cajas entrantes abastecimiento	39,745.00	1.00	0.00	39,745.00	39,745.00	19,812.93
Vn cajas entrantes selección	35,833.00	1.11	0.00	35,833.00	35,833.00	17,897.04
Vn cajas entrantes secado	39,745.00	1.00	0.00	39,745.00	39,745.00	19,812.19
Vn cajas entrantes lavado	39,745.00	1.00	0.00	39,745.00	39,745.00	19,812.56
Vn cajas entrantes calibrado	35,114.00	1.13	0.00	35,114.00	35,114.00	17,529.86
Vn cajas entrantes empaque	35,113.00	1.13	0.00	35,113.00	35,113.00	17,529.10
Vn cajas entrantes pesado	35,112.00	1.13	0.00	35,112.00	35,112.00	17,528.70
Vn pallets salientes	130.00	302.28	0.00	130.00	130.00	64.85

Fuente: Promodel

Nuevos cálculos de indicadores de productividad:

Como se observa en los resultados, mediante el diseño de la mejora del proceso productivo mediante el software Promodel, se obtuvo un incremento del 38% en la producción diaria de 28 248 a 38 848 cajas/día.

Nueva producción: Según los datos arrojados en el Promodel la producción es de:

$$\text{Producción} = 38\,848 \text{ cajas/día}$$

Nueva productividad de materia prima: Se ha tomado en cuenta la producción obtenida entre la cantidad de kg que entra.

$$P_{Mp} = \frac{38\,248 \text{ cajas/día}}{71\,361 \text{ Kg/día}} = 0.54438 \text{ cajas/kg}$$

Nueva productividad de mano de obra: Se consideró la producción entre la cantidad de operarios en la planta.

$$P_{Mo} = \frac{38\,248 \text{ cajas/día}}{77 \text{ op/día}} = 796.73 \text{ cajas/op. día}$$

Por otro lado, con la mejora, el nuevo cuello de botella pasó de ser la etapa de selección con 60.12 segundos/caja a empaque con 41.01 segundos/caja, evidenciando una disminución del 47%. Además con la propuesta mediante el Software se obtuvo una productividad de materia prima y mano de obra de 0.54438 cajas/kg y 796.73 cajas/op.día respectivamente; lo que resulta en un incremento con la propuesta en un 37.54% y 125.08%.

Tabla 3. Cuadro comparación de indicadores

Indicador	Situación actual	Situación con la mejora	Variación
CUELLO DE BOTELLA			
Cuello de Botella	Selección (60.12 segundos/caja)	Empaque (40.01 segundos/caja)	-47%
PRODUCCIÓN			
Producción	28 248 cajas/día	38 848 cajas/día	38%
PRODUCTIVIDAD			
Productividad de Materia Prima	0.3958 cajas/kg	0.54438 cajas/kg	37.54%
Productividad de Mano de Obra	220.687 cajas/op.día	496.73 cajas/op.día	125.08%

Fuente: Elaboración Propia

Análisis beneficio costo de la propuesta

Para llevar a cabo el análisis de costo-beneficio fue necesario evaluar tanto los ingresos obtenidos, teniendo en cuenta que se trabajan 240 días al año, cuyo total asciende a 48 482 304 nuevos soles y considerando que cada caja se vende a 5.20 nuevos soles se halla el ingreso anual. Asimismo, tras realizar la operación de utilidad, que consiste en restar los costos totales a los beneficios totales, se obtuvo un resultado de 46,718,304 nuevos soles. Este resultado indica que se trata de una propuesta viable desde una perspectiva financiera.

Tabla 4. Beneficio-Costo

BENEFICIO				
	Unidad	Diario		Anual
Producción	cajas/día	38,848		9,323,520
Precio	nuevos soles	S/ 5.20	S/	5.20
Total (S/.)		S/ 202,009.60	S/	48,482,304.00
COSTO				
	Precio FOB	Tipo de cambio		Costo Total
Máquina selectora Spectrim	\$450,000	3.6	S/	1,620,000.00
Máquina paletizadora Dalson	\$40,000	3.6	S/	144,000.00
Total (S/.)			S/	1,764,000.00
UTILIDAD (S/.)			S/	46,718,304.00

Fuente: Elaboración Propia

Discusión

En relación al análisis de la situación actual de la empresa exportadora de palta, se ha utilizado una metodología que concuerda con lo indicado por [14], utilizando el diagrama de Ishikawa para identificar las principales causas que causan la baja productividad. Durante el estudio realizado a la empresa, se observó en el diagnóstico que el cuello de botella era la etapa de selección con 60.12 segundos/caja, en relación con [13] quien también menciona es su cuello de botella. Con la mejora se redujo a 40 segundos/ caja, mostrando una disminución del 50%, mientras que [17] obtuvo una mejora del 60%. Las dos investigaciones evidenciaron una disminución del cuello de botella en menor porcentaje que el hallado en el estudio, mostrando que el diseño propuesto mediante el software Promodel resultó factible y viable.

En cuanto al diseño de un sistema de simulación basado en la automatización de la etapa de selección, este trabajo se relaciona con la investigación de [18], quienes señalan que realizar esta tarea manualmente incurre en errores humanos. De igual manera, se relaciona con la investigación de [19], que identificó la etapa de paletizado y selección como la principal limitante en el proceso de palta, por lo que propone una automatización en dicho proceso, obteniendo un aumento del 50% en su producción, mientras que en la empresa se observó que la producción aumento en un 38%. Asimismo, [13] obtuvo un incremento en un 54.02%; este valor registrado en la investigación fue superior debido a que se implementó un conjunto de propuestas de mejora tales como el estudio de tiempos, capacitación de personal y elaboración de un plan de mantenimiento. En otras palabras, se logró un incremento en la producción debido a la implementación de varias mejoras en el proceso, como la planificación del mantenimiento y la optimización del tiempo empleado.

De igual forma, la propuesta de mejora, logró un aumento en la productividad de mano de obra en 125.08% con un tiempo de recuperación de 4 meses, en comparación con [19], quien aumentó la productividad en un 83% en un tiempo de recuperación de 6.02 meses.

Conclusiones

El diseño de la mejora del proceso productivo de palta aplicando el software Promodel permitió incrementar la productividad de materia prima en un 37.54% y productividad de mano de obra en un 37.53%, justificado en el incremento de la producción en un 38% y la disminución de operarios al automatizar dos etapas. Asimismo, se puso en manifiesto la relevancia del software Promodel para facilitar la simulación del proceso productivo y las propuestas de mejora; su importancia radica en el enfoque propiciado a la para enfrentar el tema de la baja productividad.

Al realizar un análisis detallado de la situación actual de la empresa, se diagnosticó que la causa de la baja productividad es por la falta de estandarización y falta de capacitación de los operarios, que ocasiona tiempos largos y actividades improductivas. Con base a ello, se observó que el cuello de botella es la etapa de selección con 60,12 segundos/caja.

Se diseñó y simuló la propuesta de mejora del proceso productivo de palta Hass en el software promodel, basado en la automatización de las etapas de selección y paletizado, mediante la implementación de máquinas, logrando un incremento en la producción diaria de 28 248 a 38 848 cajas/día, además de una variación en 38% en la productividad de mano de obra y materia prima.

Finalmente, se evaluó el beneficio costo de la propuesta que permite incrementar la productividad, respaldando el diseño de la propuesta y obteniendo que en el primer año se recuperaría el costo de las máquinas y se obtiene una utilidad de S/. 46 718 304.

Recomendaciones

Se recomienda la implementación de una nueva estrategia de trabajo en el proceso de producción de palta Hass. Esta iniciativa consiste en analizar con mayor profundidad las distintas actividades involucradas en el proceso, para lo cual se recomienda realizar mediciones precisas de tiempo y distancia, utilizando el Diagrama de Actividades del Proceso (DAP). Esto permitirá obtener una metodología de trabajo estandarizada y uniforme en todas las etapas del mismo. Además, de implementar un plan de mantenimiento preventivo para garantizar el buen funcionamiento de la maquinaria y evitar paradas.

Asimismo, se aconseja aplicar la técnica de gestión japonesa conocida como "5S", cuyo objetivo es optimizar la utilización de los recursos disponibles y reducir el desperdicio en el proceso, lo que se traducirá en una mejora significativa de la eficiencia y la productividad.

Referencias

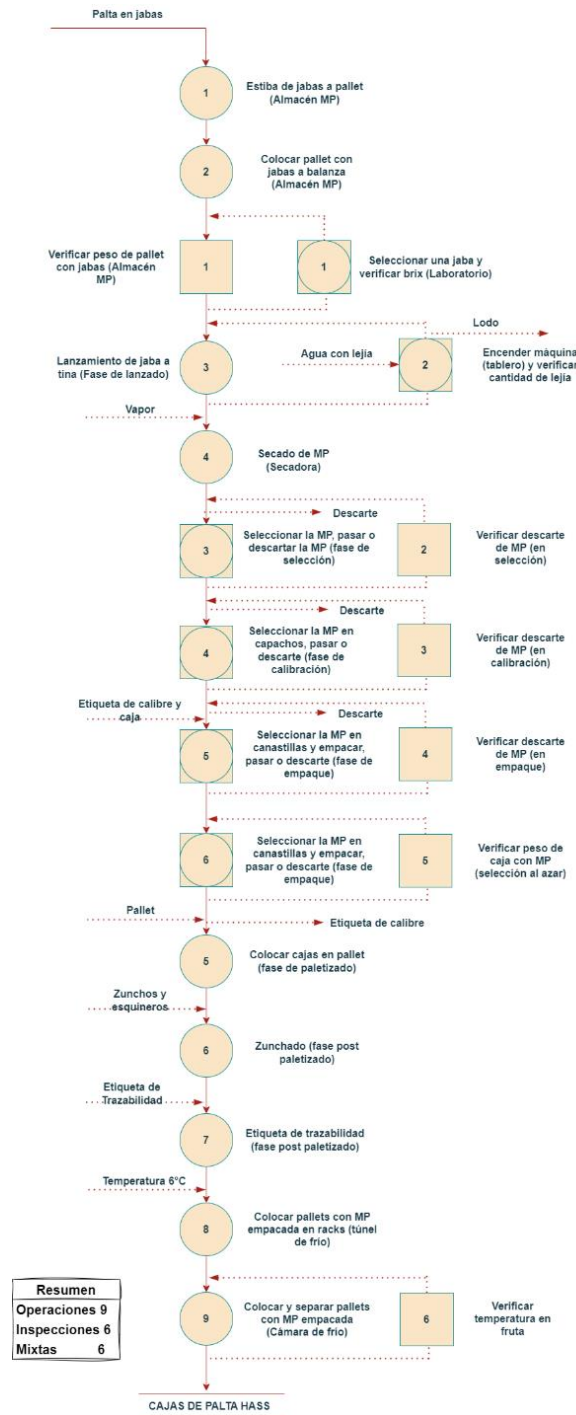
- [1] T. MAP, «Países importadores de aguacates "paltas",» 2019.
- [2] M. d. A. y. Riego, Análisis de mercado, Unidad de Inteligencia Comercial, 2019.
- [3] D. d. i. d. M. -. PROMPERÚ, «El Perú se ha posicionado como uno de los principales productores y exportadores de palta a nivel mundial, con regiones como Lambayeque que destacan por su producción y calidad del fruto, » EXPORTEMOS.PE, 2021.
- [4] J. Olavarrieta, «Conceptos generales de productividad, sistemas, normalización y competitividad, Universidad Iberoamericana, Dirección de Difusión Universitaria, » 1999.
- [5] J. Pérez. «Dirección de operaciones,» 2009.
- [6] Ministerio de Agricultura. Estudio de palta en el Perú y el Mundo. 2008.
- [7] C. Yepes, «Diagramas de proceso de operaciones como herramienta en el estudio de métodos,» Universidad Politécnica de Valencia, 2008.
- [8] C.Digital, «Definición de tiempo estándar,» 2023
- [9] A. Saeger, «El diagrama de Ishikawa. Epulibre,» 2018.
- [10] S. S. Chain, «Promodel,» 2015.
- [11] D. Himmelblau, «Análisis y simulación de procesos,» 1968.
- [12] W. Rammert, «La tecnología: Sus formas y las diferencias de los medios. Hacia una teoría social pragmática de la tecnificación,» 2001.
- [13] E. I. Bermeo Vargas y D. A. Zorilla Pascual, «Desarrollo de un sistema automático de selección de palta Hass por sus índices de calidad para la empresa Aroindustrial Verdeflor S.A.C.» Lima, 2019.
- [14] A. L. B. P. y. M. F. Abanto, «Aplicación de herramientas de lean manufacturing para incrementar la eficiencia de la línea procesadora de palta de una empresa agroexportadora, » Trujillo, 2019.
- [15] K. M. a. A. G. Gulzar Ahmaad Nayik, «Robotics and Food Technology, Journal of Nutrition and Food Sciences, » 2015.
- [16] G. Martínez, «Propuesta de un sistema de paletizado continuo de alta velocidad, » 2015.
- [17] C. D. Gonzaga, «Implementación de un sistema de paletizado para acoplar a la Línea de envasado, » 2014.
- [18] O. Nombera, «Mejora de la productividad en la empresa Vivar S.A.C., Chiclayo: Universidad Santo Toribio de Mogrovejo, » 2015.
- [19] N. P. Pintado, «Diseño de un sistema automatizado para mejorar la productividad de la etapa de paletizado en la empresa Jayanca Fruits SAC, » Chiclayo, 2018.
- [20] C. C. C. E. R. P. J. E. M. y. R. M. K. Bazan Rios, «An integrated system: Lean, Six Sigma and Theory of constrains, a study applied in wooden furniture industry in Lima, » Lima, 2019.

[21] M. E. Bernal Loaiza, G. Cock Sarmiento y J. H. Restrepo Correa, «Productividad en una celda de manufactura flexible simulada en ProModel utilizando path networks type crane» Revista Tecnura, 2015.

[22] Saúl Vargas, Osorio, «A literatura review on the pallet loading problem, » Lámpsakos, no.15 (2015):4

Anexos

Anexo 1. Diagrama de operaciones del proceso productivo



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2. Máquina de selección

 Imagen referencial



Marca	Plataforma Spectrim
Precio	FOB: \$450 000
Capacidad	12 paltas/segundo
Largo	3 metros
Ancho	1.5 metros
Altura	2 metros

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3. Máquina de paletizado

 Imagen referencial



Marca	Zhonghuan
Precio	FOB: \$40 000
Capacidad	8 cajas/minuto
Largo	2.15 metros
Ancho	2 metros
Altura	3 metros

Fuente: Elaboración Propia