

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



Propuesta de mejora del proceso productivo de palta de una empresa agroindustrial mediante simulación para incrementar la productividad

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

AUTOR

Jennyfer Raquel Rivera Flores

ASESOR

Marcos Gregorio Baca Lopez

<https://orcid.org/0000-0003-4741-0122>

Chiclayo, 2021

Índice

Resumen	3
Abstract	4
Introducción	5
Referencias	17

Resumen

Esta investigación se enfoca en una empresa empaquetadora de palta ubicada en Lambayeque (Perú), la cual presenta una baja productividad debido a la falta de estandarización y automatización de sus procesos. De este modo, se diagnosticó la situación actual de la empresa, identificando que existen etapas que se realizan de forma manual, como la de selección y paletizado. Por lo tanto, se simula el proceso actual, y partir de ello se evalúan dos escenarios de solución: automatizar el proceso con la incorporación de una máquina de selección y paletizado, y como segundo escenario, aumentar el número de operarios en la etapa de selección. El escenario que generó mejores resultados frente al proceso actual fue el primero, se logró aumentar la producción en 45 848 cajas/día y la productividad de mano de obra en 53%, siendo económicamente viable y recuperando la inversión en 3 meses.

Palabras clave: Simulación, productividad, palta

Abstract

This research focuses on an avocado packaging company located in Lambayeque (Peru), which has low productivity due to the lack of standardization and automation of its processes. In this way, the current situation of the company was diagnosed, identifying that there are steps that are carried out manually, such as selection and palletizing. Therefore, the current process is simulated, and from there two solution scenarios are evaluated: automating the process with the incorporation of a sorting and palletizing machine, and as a second scenario, increasing the number of operators in the selection stage. . The scenario that generated the best results compared to the current process was the first, it was possible to increase production by 45,848 boxes / day and labor productivity by 53%, being economically viable and recovering the investment in 3 months.

Keywords: Simulation, productivity, avocado

Introducción

La producción de palta a nivel mundial es una industria creciente, debido a que este fruto presenta características organolépticas y múltiples propiedades que benefician a la salud de las personas. La demanda de palta en el año 2019 alcanzó un valor total de 2 612 934 toneladas a nivel mundial, siendo los principales mercados: Estados Unidos y los Países Bajos. Perú fue el cuarto mayor exportador de palta a nivel mundial, con una producción de 467 mil toneladas en dicho año. Entre las regiones de mayor producción se encuentra: La Libertad, Lima, Junín, Arequipa, Ancash y Lambayeque. [1], [2]

Actualmente, las empresas deben acoplarse al crecimiento constante que exigen los mercados internacionales con el fin de continuar ofertando sus servicios y productos de manera continua. Debido a esto, muchas organizaciones realizan estudios constantes y buscan implementar nuevas tecnologías y herramientas para mejorar su productividad y por ende sus utilidades. Una de estas herramientas es la simulación, donde mediante escenarios se puede evaluar y tomar la mejor decisión sin incurrir en altos costos o una mayor cantidad de tiempo. Las empresas agroindustriales cuentan con maquinaria automatizada para algunos de sus procesos; sin embargo, hay etapas que se realizan de forma manual originando cuellos de botellas.

De esta forma, la empresa agroindustrial en estudio, Jayanca Fruits S.A.C., tomada como referencia de la investigación de Sirlopú [3], se encuentra ubicada en Lambayeque, dedicada al empaquetado de uva, palta, y mango. La presente investigación se centrará en el proceso productivo de la palta Hass, donde se pudo identificar una baja productividad por su principal limitante, la etapa de selección con una duración de 60,08 segundos/caja debido a que se realiza de forma manual, ocasionando retrasos para las posteriores etapas; asimismo, la mano de obra no se encuentra capacitada y el proceso no está estandarizado, ocasionando pérdidas para la empresa de S/ 1 181 868,54 en los últimos tres años.

Por lo anterior, se plantea la interrogante: ¿De qué manera la propuesta de mejora influye en la productividad del proceso productivo de la palta utilizando simulación? Para ello, el objetivo general es elaborar una propuesta de mejora del proceso productivo de la palta mediante simulación para incrementar la productividad; teniendo como objetivos específicos, en primer lugar, realizar el diagnóstico de la situación actual de la empresa, a partir de ello, diseñar un modelo de simulación utilizando ProModel para incrementar la productividad, y, por último, evaluar escenarios alternativos.

Marco Teórico

Bases Teóricas

Palta: Es una fruta subtropical con una amplia producción y consumo a nivel mundial. Un fruto promedio pesa entre 150 g a 400 g aproximadamente, siendo el 73% pulpa, 16% semilla y 11% cáscara. [4]

Simulación de Procesos: Es una herramienta que permite resolver problemas a través de la representación de procesos, en base a ello se analizan las distintas alternativas y se decide la mejor opción.

Productividad: Es un indicador que relaciona la producción de un sistema (salidas o productos) y los recursos que se utilizaron para su elaboración.

Antecedentes

Paz [5] 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”, identificaron que en la etapa de paletizado la productividad es baja, debido a la fatiga del operario, a la suma de actividades improductivas, el requerimiento de horas extras, y pérdidas pecuniarias del producto no atendido, por lo que se diseñó un sistema automatizado utilizando el software So Machine, obteniendo como resultados un incremento de la productividad de mano de obra en un 183%, siendo el tiempo de recuperación de la inversión de 6,02 meses. Balarezo y Floríndez [6] en su investigación “Aplicación de herramientas de lean manufacturing para incrementar la eficiencia de la línea procesadora de palta de una empresa agroexportadora”, se plantea como objetivo aumentar la eficiencia de la línea a través de la eliminación de los desperdicios. Para ello, identificaron los desperdicios, los cuales están ligados a tiempos de espera y cambios de productos, transporte innecesario, productos defectuosos y superabundancia de inventarios; luego determinaron la eficiencia final de la línea, aplicando el VSM, las 5S's, el SMED, el mantenimiento preventivo, y controles visuales. Se obtuvo que tras la aplicación de estas herramientas se incrementó la eficiencia promedio semanal en un 32 %, asimismo la disponibilidad de la máquina en 10%, el rendimiento en 25 % y la calidad de 98% a 99%.

Vargas y Zorilla [7] 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 problemática de las empresas exportadoras de palta se debe a que la etapa de selección se realiza de forma artesanal. Para lo cual propusieron el desarrollo e implementación de un sistema automatizado para la selección de palta Hass, a través del diseño de un algoritmo de procesamiento de imágenes, el cual detectará imperfecciones en

los frutos teniendo en cuenta sus índices de calidad; luego, se desarrolló un prototipo mecánico para el transporte de las paltas. Posterior a ello, se realizaron las pruebas de validación del algoritmo de detección y del sistema integral, obteniendo que se reduce la probabilidad de error humano de 5-8% a 3,3%,

Bernal, Cock y Restrepo [8], en su investigación "Productividad en una celda de manufactura flexible simulada en ProModel utilizando path networks type crane", tuvieron como objetivo elegir una alternativa de solución que permita incrementar la productividad de su actual sistema utilizando el simulador ProModel. El sistema se simuló por tres horas y se obtuvo que la productividad es de 7 piezas procesadas por hora; luego, se encontraron el porcentaje de utilización de cada una de las locaciones, hallando que la fresadora es la de mayor porcentaje debido al tiempo de proceso; y que el robot 1 es el recurso con mayor porcentaje de utilización.

Ganoza [9] en su investigación "Aplicación de la ingeniería de métodos para incrementar la productividad en el área de empaque de la empresa agroindustrial Estanislao del Chimú", buscaron implementar mejoras en el proceso de empaque de palta, para lo cual diagnosticaron el sistema de producción, donde se encontró las causas de la problemática es la falta de estandarización de métodos de trabajo, un elevado índice de rotura de stock, escasez de actualización de procedimientos, entre otros; por ello se plantearon e implementaron mejoras, logrando un incremento de 33,5 kg/H-Op en la productividad.

Pérez y Sáenz (2020) [10] en su investigación "Aplicación del método SMED para incrementar la productividad en la línea de enmallado de palta fresca Camposol S.A, 2019", realizaron una medición de los niveles de productividad, obteniendo que la productividad de eficacia y eficiencia es de 95% y 110 %, respectivamente; esta última repercute negativamente ya que se utilizan más horas hombre; luego determinaron las causas, siendo la principal el procedimiento desactualizado; posteriormente, se implementó la mejora del proceso mediante la técnica de SMED y se obtuvo un aumento en la productividad de la eficacia de 2,7%, alcanzando un 97,6% y en cuanto a productividad de la eficiencia disminuyó en 6,4%, reduciendo así los tiempos de procedimiento.

Forero *et al.* [11] en su investigación "Modeling and simulation of an active packaging system with moisture adsorption for fresh produce. Application in 'Hass' avocado", identificaron como problemática que los productos frescos como la palta se deterioran y pierden vida útil por el inadecuado control de humedad en el sistema de envasado, se plantearon como objetivo proponer un modelo matemático integrado para representar el transporte de agua en un sistema de envasado activo como un absorbedor de humedad. Para

ello, utilizaron ecuaciones adecuadas para representar la absorción del elemento activo, la transpiración del producto y la absorción de humedad. Como resultado se obtuvo que el modelo propuesto se puede utilizar para configurar sistemas de envasado activos de frutos frescos, teniendo en cuenta la cantidad de adsorbente necesaria para las condiciones de almacenamiento establecidas.

Tampubolon *et al.* [12] en su investigación “Improve productivity in production part using Marvin e mundel method”, tuvieron como objetivo aumentar la productividad en la pieza de producción utilizando el método de marvin e mundel. Para ello identificaron que la baja productividad se origina por el estancamiento en la planta procesadora de aceite crudo y almendra de palma por falta de mantenimiento de motores, lo que ocasiona tiempos extensos en espera donde la planta no produce. Se obtuvo como resultados que el índice de productividad pasó de 104,24% a 165,32%, es decir aumentó en un 59,28%

Kursun y Kalaoglu [13] en su investigación “Simulation of Production Line Balancing in Apparel Manufacturing”, se identificó como problemática que el trabajo de la mano de obra en la elaboración de prendas de vestir es intensivo por lo que se plantean como objetivo disminuir la intensidad del trabajo, para ello se realizó un estudio de tiempos y balanceo de la línea; y posterior a ello se configuró el modelo de simulación, luego se determinó el cuello de botella en la línea y se formularon tres escenarios: en el primero se incrementó un operador para el 4° proceso, en el segundo, para tres procesos y en el tercero, colocar cuatro operadores para cuatro procesos; obteniendo un incremento de la producción diaria de 7%, 24% y 52%, respectivamente para cada escenario.

Cano, Campo y Gómez [14] en su investigación “Discrete event simulation for production planning in modular garment manufacturing systems”, tuvieron como objetivo resolver un problema de planificación de producción NP-Hard con variables estocásticas en una planta de fabricación modular con el fin de reducir costos por lote. Para ello tomaron como base un modelo de programación mixta que engloba los resultados obtenidos por un modelo de eventos discretos, teniendo en cuenta los tiempos de operación y actividades. Se obtuvo como resultado que la simulación es una herramienta de acceso simple y que permite evaluar escenarios nuevos.

Materiales y Métodos

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

Se realizó el diagnóstico de la empresa agroindustrial identificando las etapas que se requieren para la maquila de palta, identificando el cuello de botella en la etapa de selección

y paletizado, teniendo como base los tiempos estándar por etapa y se analizó las causas raíces de la baja productividad.

Diseño de un modelo de simulación para incrementar la productividad

Después de diagnosticar la situación actual, se realizó la simulación de la misma. Luego, en base a revisión bibliográfica sobre los tipos de tecnología y maquinaria que se pueden implementar para mejorar el proceso de la empresa, se plantean dos escenarios utilizando el ProModel.

Evaluar escenarios alternativos

Se evaluaron los escenarios, determinando que la mejor opción es el escenario 1, respaldando esta decisión con una evaluación económica de la propuesta, identificando el costo de las nuevas maquinarias, y sus utilidades para la empresa.

Resultados

Diagnosticar la situación actual de la empresa

La empresa Jayanca Fruits S.A.C. se dedica a la maquila palta Hass, siendo su producto principal la presentación en caja de 4 kg. Esta empresa trabaja con un turno de 11 horas al día, y un total de 128 operarios, los cuales en su mayoría no se encuentran calificados debido a la falta de capacitación, ocasionando que los tiempos en las etapas sean de mayor duración, repercutiendo en la calidad del producto final. El proceso comprende diferentes etapas como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 1. Tiempos estándar del proceso de palta

Procesos	Tiempo Total (segundos/caja)	Nº operarios
Recepción	19.18	10
Abastecimiento	15.35	7
Lavado	12.50	-
Secado	11.47	-
Selección	60.08	8
Calibrado	11.90	3
Empaque	40.05	27
Pesado	17.36	4
Paletizado	49.00	47
Tratamiento en frío	5.29	9
Total	242.17	128

Fuente: Sirlopú [3]

En la Tabla 1, se puede evidenciar que el cuello de botella es la etapa de selección con una duración de 60,08 segundos/caja, debido a que esta etapa realiza de forma manual; seguido de la etapa de paletizado. La empresa tiene una producción de 15 818 cajas/día, una eficiencia de 36,64% y una productividad de mano de obra de 123,57 cajas/operario.

La empresa muestra una baja productividad debido a diversos factores, como se muestra en el siguiente diagrama de Ishikawa, resaltando la existencia de movimientos innecesarios por falta de capacitación, paradas no planificadas en la maquinaria y la escasez de conocimiento de los operarios.

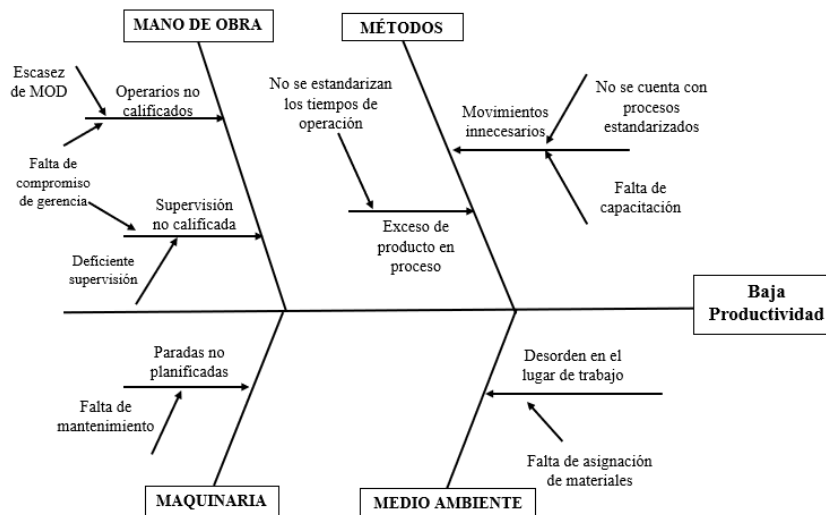


Figura 1. Diagrama de Ishikawa

Fuente: Sirlopú [3]

Diseño de un modelo de simulación para mejorar la productividad

Para la simulación se ha considera la máxima capacidad de la planta, la cual es 100 000 kg/día teniendo en cuenta que ingresan en promedio 71 361 kg de palta por día, y que trabajan 11 horas al día, es decir 660 minutos; en base a estos se realiza la simulación del sistema como se muestra en la Figura 3.

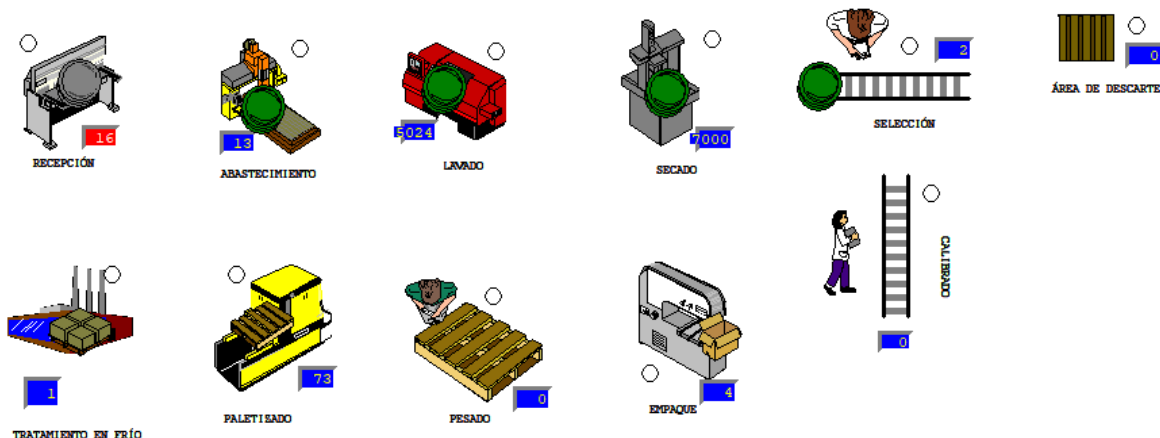


Figura 2. Simulación del proceso actual de maquila de palta en ProModel

En la figura 3 se puede observar que la capacidad de la etapa de selección es de 2000 kg, lo que equivale a 500 cajas de palta de 4 kg aproximadamente, además se observa que el porcentaje de utilización en esta etapa decrece a 18,49%, perjudicando a las etapas posteriores como el calibrado.

Nombre	Tiempo Programado (Hr)	Capacidad	Total Entradas	Contenido Promedio	Contenido Actual	% Utilización
RECEPCIÓN	660.00	10,000.00	35,427.00	1,473.85	0.00	14.74
ABASTECIMIENTO	660.00	9,000.00	35,427.00	3,529.47	0.00	39.22
LAVADO	660.00	8,000.00	35,427.00	4,889.42	0.00	61.12
SECADO	660.00	7,000.00	35,427.00	5,630.98	0.00	80.44
SELECCIÓN	660.00	5,000.00	35,427.00	1.10	0.00	18.49
ÁREA DE DESCARTE	660.00	500.00	6,950.00	0.00	0.00	0.00
CALIBRADO	660.00	500.00	28,477.00	0.28	0.00	5.43
EMPAQUE	660.00	4.00	29,969.00	1.94	1.00	48.57
PESADO	660.00	10.00	7,492.00	0.05	0.00	0.55
PALETIZADO	660.00	264.00	7,492.00	127.86	100.00	48.43
TRATAMIENTO EN FRÍO	660.00	14.00	28.00	6.01	0.00	42.93

Figura 3. Resumen de los resultados de locaciones del proceso de palta en ProModel

En la figura 4 se puede evidenciar que la producción actual del proceso de 29 968 cajas de palta/día, y que se descartan aproximadamente 6950 kg de palta que no cumple con los requisitos que exigen los clientes.

Nombre	Total Salidas	Cantidad actual En Sistema	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo Esperando Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)
CAJAS	29,968.00	1.00	16,509.18	1.76	3.14
PALLET CON CAJAS	7,392.00	100.00	625.44	624.33	1.11
PALTA DESCARTE	6,950.00	0.00	17,278.50	0.00	2.23

Figura 4. Resultado de las principales entidades del sistema en ProModel

Teniendo en cuenta que se requiere aumentar la productividad de la empresa es necesario incrementar también la producción, para ello es necesario reducir los tiempos muertos causados por el exceso de manipulación y la falta de automatización en las etapas de selección y paletizado; por lo tanto, para elaborar la propuesta de mejora se propone dos escenarios: el uso de maquinaria en estas etapas que presentan períodos largos de ejecución y elevados costos, y como segundo escenario, el aumento de número de operarios en la etapa de selección.

Escenario 1: Automatizar el proceso adquiriendo una máquina de selección y una paletizadora

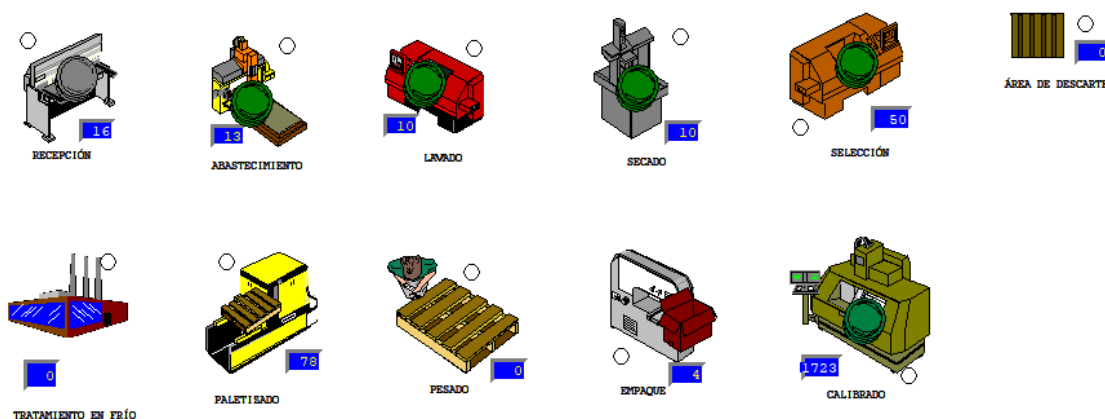
Se propone la implementación de una máquina de selección en la etapa de selección de paltas, la cual posee un sistema automático que detecta defectos y clasifica los frutos a una velocidad de 12 piezas por segundo; está a su vez también realizará la etapa de calibrado, permitiendo reducir la cantidad de operarios. Asimismo, se propone utilizar una máquina paletizadora automática en la etapa de paletizado, que permitirá el empaque de 8 cajas/minuto, está cuenta con un sistema PLC, motor y caja de cambios. En base a ello, se determina el nuevo tiempo en la etapa de selección y paletizado, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Resumen del proceso con la incorporación de la nueva maquinaria

Procesos	Tiempo Total (segundos/caja)	Nº operarios
Recepción	19.18	10
Abastecimiento	15.35	7
Lavado	12.50	-
Secado	11.47	-
Selección	40.18	2
Calibrado	11.90	3
Empaque	40.05	27
Pesado	17.36	4
Paletizado	39.00	2
Tratamiento en frío	5.29	9
Total	209,28	77

Elaboración propia. En base a Sirlopú [3]

En la Tabla 2, se evidencia que se reducen los tiempos de procesamiento, así como el número de operarios en las etapas donde se implementó la nueva maquinaria, a partir de ello se realiza la nueva simulación. Además, en la figura 6 se puede evidenciar que la producción diaria para el escenario 1 es de 45 848 cajas, es decir se incrementó en 53% con respecto al proceso actual.

**Figura 5. Simulación del Escenario 1 en ProModel**

Nombre	Total Salidas	Cantidad actual En Sistema	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo Esperando Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)
CAJAS	45,848.00	2.00	3,263.81	0.00	2.85
PALLET CON CAJAS	11,352.00	110.00	89.22	88.10	1.11

Figura 6. Resultado de las principales entidades del Escenario 1 en ProModel

Escenario 2: Aumentar el número de operarios en la etapa de selección

En la tabla 1 se evidencia que, en el proceso actual, 8 operarios trabajan en la etapa de selección, sin embargo, esta es el cuello de botella con 60,08 segundos/caja. En base a ello, se propone incrementar el número de operarios a 25, tomando como referencia la investigación de Salazar, quien mediante un diagrama bimanual logró suprimir los

movimientos improductivos que ocasionan retrasos en dicha etapa, reduciendo de 12 a 8 actividades. Posteriormente, se calcula el tiempo estándar según la OIT, el ritmo de operación y finalmente la nueva cantidad de operarios (ver Tabla 3).

Tabla 3. Resumen del proceso con el incremento de operarios

Procesos	Tiempo Total (segundos/caja)	Nº operarios
Recepción	19.18	10
Abastecimiento	15.35	7
Lavado	12.50	-
Secado	11.47	-
Selección	52.00	25
Calibrado	11.90	3
Empaque	40.05	27
Pesado	17.36	4
Paletizado	49.00	47
Tratamiento en frío	5.29	9
Total	234,1	100

Elaboración Propia. En base a Sirlopú [3]

Se evaluó el escenario 2 mediante la simulación en ProModel, donde se obtuvo que la producción diaria es de 30 100 cajas de palta, es decir que hubo incremento de 0,44% con respecto al modelo actual. Cabe indicar, que esta propuesta implica incurrir en costos de la contratación de operarios calificados; empero, estos son menores a los costos de inversión en la automatización del proceso.

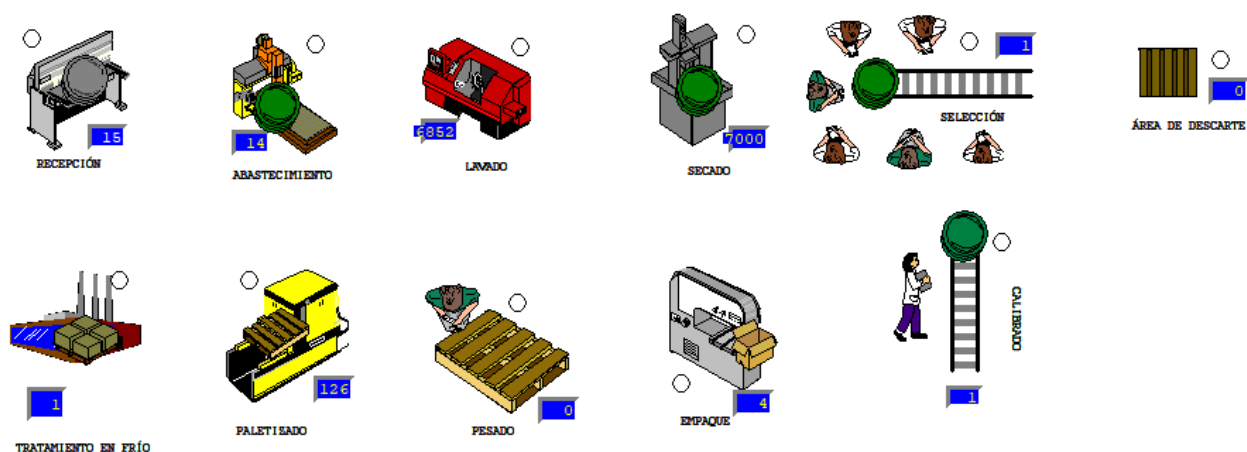


Figura 7. Simulación del Escenario 2 en ProModel

Nombre	Total Salidas	Cantidad actual En Sistema	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo Esperando Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)
CAJAS	30,100.00	3.00	14,421.48	1.53	3.02
PALLET CON CAJAS	7,392.00	133.00	545.75	544.64	1.11

Figura 8. Resultado de las principales entidades del Escenario 2 en ProModel

En la Tabla 4 se muestra el cuadro resumen de los indicadores para el proceso actual y para los dos escenarios propuestos. Con respecto al escenario 1, se incrementó la producción diaria en 15 880 cajas/día lo que representa un 53%; así mismo un incremento de 29% en la eficiencia, en un 60,7% en la productividad de mano de obra y en 53% la productividad de materia prima. Por otro lado, el escenario 2, incremento del número de operarios en la etapa de selección, si bien es cierto los valores son positivos, la diferencia es significativa.

Tabla 1. Comparación de indicadores

Indicador	Fórmula	Proceso actual	Escenario 1	Escenario 2
Producción	Resultados obtenidos a través de la simulación en ProModel	$P = 29\ 968 \frac{\text{cajas}}{\text{día}}$	$P = 45\ 848 \frac{\text{cajas}}{\text{día}}$	$P = 30\ 100 \frac{\text{cajas}}{\text{día}}$
Productividad de materia prima	$P_{MP} = \frac{\text{Producción}}{\text{Tiempo}}$	$P_{MP} = \frac{29\ 968 \frac{\text{cajas}}{\text{día}}}{71\ 361 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}$ $P_{MP} = 0,419 \text{ cajas/kg}$	$P_{MP} = \frac{45\ 848 \frac{\text{cajas}}{\text{día}}}{71\ 361 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}$ $P_{MP} = 0,64 \text{ cajas/kg}$	$P_{MP} = \frac{30\ 100 \frac{\text{cajas}}{\text{día}}}{71\ 361 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}$ $P_{MP} = 0,422 \text{ cajas/kg}$
Eficiencia	$E = \frac{\sum Ti}{n * Tc}$	$E = \frac{242,17}{11 * 60,08}$ $= 36,64\%$	$E = \frac{209,28}{11 * 40,18}$ $= 47,35\%$	$E = \frac{234,1}{11 * 40,05}$ $= 40,93\%$
Productividad de mano de obra	$P = \frac{\text{Producción}}{n^{\circ} \text{ operarios}}$	$P_{MO} = \frac{29\ 968 \frac{\text{cajas}}{\text{día}}}{128 \frac{\text{op}}{\text{día}}}$ $P_{MO} = 234,13 \frac{\text{cajas}}{\text{op. día}}$	$P_{MO} = \frac{45\ 848 \frac{\text{cajas}}{\text{día}}}{77 \frac{\text{op}}{\text{día}}}$ $P_{MO} = 595,43 \frac{\text{cajas}}{\text{op. día}}$	$P_{MO} = \frac{30\ 100 \frac{\text{cajas}}{\text{día}}}{141 \frac{\text{op}}{\text{día}}}$ $P_{MO} = 301 \frac{\text{cajas}}{\text{op. día}}$

Fuente: Elaboración propia

De lo anterior, se concluye que el escenario 1 es el que obtiene mejores valores en cuanto a producción y eficiencia, donde se propone automatizar las etapas de selección y paletizado, debido a que se realizan de forma artesanal. Por otro lado, cabe indicar que el proceso de automatización requiere una cantidad importante de dinero, que para analizar si le es factible a la empresa se realizará el siguiente análisis económico, que se detalla en la Tabla 6.


Para determinar en qué tiempo la empresa podrá recuperar la inversión de adquirir estas maquinarias, se tiene en cuenta que con la automatización en las etapas de selección y paletizado, la producción se incrementa a 45 848 cajas por día. Asimismo, teniendo en cuenta que la empresa trabaja 20 días al mes, se determina que en el tercer mes del primer año se recuperará el costo de las maquinarias (S/. 1 960 000,00), obteniéndose una utilidad de S/. 55 258 304,00.

Tabla 2. Utilidad de la propuesta

Período	Año 1
Cajas/día	45 848
Cajas/mes	916 960
Cajas/año	11 003 520
S/caja	5.20
Costo Total (S/)	57 218 304
Costo de maquinarias (S/)	1 960 000
Utilidad (S/)	55 258 304

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Máquina de selección automática

	Información General: Marca: Plataforma Spectrim Precio FOB: \$450 000 Cantidad: 1 Capacidad: 12 frutas/segundo
	Dimensiones del equipo: Largo: 3 m Ancho: 1,5 m Altura: 2 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Máquina paletizadora automática

	Información General: Marca: Dalson Packing Precio FOB: \$40 000 Cantidad: 1 Capacidad: 8 cajas/minuto
	Dimensiones del equipo: Largo: 2,15 m Ancho: 2 m Altura: 3 m

Fuente: Elaboración propia

Discusión

Con respecto al análisis de la situación actual de la empresa exportadora la metodología usada concuerda con la indicada por Balarezo y Floríndez [6], donde utilizaron el diagrama de Ishikawa para determinar las principales causas que ocasionaban la baja productividad.

En lo referente al diseño de un sistema de simulación en base a la automatización de la etapa de selección, el presente trabajo se relaciona con la investigación de Vargas y Zorilla [7], donde hacen referencia que en dicha etapa al realizarse de forma manual se incurre en errores humanos. De la misma manera, se relaciona con la investigación de Paz [5], quien identificó

que la principal limitante en el proceso de palta es la etapa de paletizado y selección, por lo que propone un diseño automatizado de la etapa de paletizado.

Con la propuesta del escenario 1, se logró incrementar la productividad de mano de obra en 60,7% con un tiempo de recuperación de 3mese, a diferencia de Paz [5] que incrementó la productividad en 183% en un tiempo de recuperación de 6,02 meses. Con respecto a la eficiencia, con la propuesta se incrementó en un 29%, mientras que en el trabajo de Balarezo y Floríndez [6] se aumentó en 33%.

Conclusiones

Al analizar 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, siendo el cuello de botella la etapa de selección con 60,08 segundos/caja.

Se simuló la línea actual del proceso, y a partir de ello, se evaluaron dos escenarios para mejorar la productividad: automatización en las etapas de selección y paletizado y aumentar la cantidad de operarios en la etapa de selección, se simularon durante 11 horas y se obtuvo un incremento de la producción diaria de 30 100 y 15 880 cajas/día, respectivamente.

Se evaluaron los escenarios, determinándose que el escenario 1 es la opción que permite incrementar la productividad, siendo respaldado por una evaluación económica, obteniendo que en el primer año se recuperaría el costo de las maquinarias y se obtiene S/. 55 258 304,00 adicionalmente.

Referencias

- [1] TRADE MAP, «Países importadores de aguacates"paltas",» 2019. [En línea]. Available: <https://cutt.ly/bbQCE3Q>. [Último acceso: 05 Mayo 2021].
- [2] Centro de Investigaciones de Economía y Negocios Globales de ADEX, «La palta en la alianza del Pacífico,» Lima, 2018.
- [3] C. J. Sirlopú Rivadeneira, Mejora del proceso de paltas Hass en el área de producción para incrementar la productividad en la empacadora Jayanca Fruits S.A.C., distrito de Jayanca-Región Lambayeque, 2019, Universidad Señor de Sipán, 2020.
- [4] N. J. Salzar López, J. A. Domínguez Avila, E. M. Yahia, B. H. Belmonte Herrera, A. Wall Medrano, E. Montalvo González y G. González Aguilar, «Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds,» *Food Research International*, vol. 138, 2020.
- [5] N. Paz Pintado, «Diseño de un sistema automatizado para mejorar la productividad de la etapa de paletizado en la empresa Jayanca Fruits S.A.C.,» Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial. USAT, Chiclayo, 2018.
- [6] A. L. Balarezo Pairazamán y M. Floríndez Abanto, «Aplicación de herramientas de leang manufacturing para incrementar la eficiencia de la línea procesadora de palta de una empresa agroexportadora,» Trujillo, 2019.
- [7] 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.
- [8] 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*, vol. 19, n° 44, pp. 133-144, 2015.
- [9] R. A. Ganoza Vilca, «Aplicación de la ingeniería de métodos para incrementar la productividad en el área de empaque de la empresa agroindustrial Estanislao del Chimú,» Trujillo, 2018.
- [10] S. M. Perez Aguilar y E. Saenz Araujo, «Aplicación del método SMED para incrementar la productividad en la línea de enmallado de palta fresca Camposol S.A, 2019,» Trujillo, 2020.

- [11] A. Gaona Forero, G. Agudelo Rodríguez, A. O. Herrera y D. A. Castellanos, «Modeling and simulation of an active packaging system with moisture adsorption for fresh produce. Application in ‘Hass’ avocado,» *Food Packaging and Shelf Life*, n° 17, pp. 187-195, 2018.
- [12] J. Tampubolon, Sembiring y Perangin angin, «Improve productivity in production part using Marvin e mundel method,» *Journal of Physics: Conf. Series 1230*, 2019.
- [13] «Simulation of Production Line Balancing in Apparel Manufacturing,» *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* , vol. 17, n° 4, pp. 68-71, 2009.
- [14] J. A. Cano, E. A. Campo y R. A. Gómez, «Discrete event simulation for production planning in modular garment manufacturing systems,» *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, vol. 41, n° 1, pp. 50-58, 2018.