

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



**Diseño y simulación de un sistema automatizado del proceso de producción de arándanos frescos para el incremento de la productividad en una empresa exportadora**

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

**AUTOR**

**Cecilia Jeraldine Sosa Rondoy**

**ASESOR**

**Marcos Gregorio Baca Lopez**

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

**Chiclayo, 2021**

## Índice

Resumen .....	3
Abstract .....	4
Introducción .....	5
Referencias .....	20

## Resumen

La automatización total o parcial es una de las técnicas de mayor relevancia en los procesos industriales. Por esa razón, en la presente investigación se tuvo como finalidad la automatización, incorporación de tecnología y maquinaria, en el proceso de producción de arándanos frescos para exportación. Al realizarse la propuesta de implementación de maquinaria, esta permitió una reducción del tiempo total del proceso en un 18,96%; 84,24% del tiempo muerto; 12,42% en los costos de fabricación y un incremento en la producción diaria del 33,67%; 18,48% en la eficiencia y 72,73% en la productividad de mano de obra. Así mismo, para una mejor comprensión y comparación de los indicadores evaluados, se simuló el proceso actual y el propuesto en el software ProModel.

**Palabras clave:** Diseño, Simulación, Productividad

### **Abstract**

Total or partial automation is one of the most relevant techniques in industrial processes. For this reason, the purpose of this research was to automate, incorporate technology and machinery, in the production process of fresh blueberries for export. When the machinery implementation proposal was made, this allowed a reduction of the total process time by 18,96%; 84,24% of the dead time; 12,42% in manufacturing costs and an increase in daily production of 33,67%; 18,48% in efficiency and 72,73% in labor productivity. Likewise, for a better understanding and comparison of the evaluated indicators, the current process and the one proposed in the ProModel software were simulated.

**Keywords:** Design, Simulation, Productivity

## Introducción

En el Perú las exportaciones de arándanos presentan un comportamiento muy dinámico, pasando de ser uno de los productos muy poco conocidos alrededor del año 2011 a ser uno de los más importantes en la canasta Agro exportadora. La demanda internacional de este producto ha ido en aumento durante los últimos cinco años, creciendo alrededor de un 72,94% en valor FOB [1]. Uno de los principales destinos que tienen los arándanos son el mercado estadounidense, el cual compró en el año 2020 el 52% de volumen total de exportación peruana; así pues, otros de los mercados que demanda este producto son los Países Bajos, China, Reino Unido, Hong Kong y Canadá [2]; teniéndose como principales regiones exportadoras, en el último periodo, a la Libertad con un 74%, Lambayeque con el 13,10% y Lima con el 10,60% [1].

Cabe resaltar que durante la temporada 2019/2020 las exportaciones de arándanos del hemisferio sur fueron de 261 500 toneladas, esto es un crecimiento del 18% con respecto a la temporada anterior. De esta última temporada Perú y Chile conformaban el 88% del volumen exportado, evidenciándose así un creciente del 68% para Perú y un decrecimiento del 2% para Chile [3]. Debido a la creciente demanda extranjera, Perú ha ido aumentando el rendimiento productivo por hectárea de sus cultivos, llegando a presentar durante el 2020 un rendimiento de 22t/ha es decir un 140% más que en el 2015 [4].

En este contexto, la empresa exportadora en estudio, tomada como referencia de la investigación de Jacobo [17]; se encuentra ubicada en Trujillo con una antigüedad de 15 años, dedicada inicialmente al procesamiento de espárragos, sin embargo, debido a la progresiva caída de precios de este producto la empresa tuvo que diversificar su producción, dando así paso a la producción y exportación de arándanos. Llegando a exportar inicialmente en el año 2016 un total de 250 toneladas, para el siguiente año se lograron corregir algunos errores iniciales que había cometido la empresa, logrando así la exportación de 550 toneladas.

Actualmente la empresa cuenta con elevados costos de producción ocasionados por mermas que le impiden un despegue rápido y a mayor escala; por lo cual se hace necesario contar con un modelo de optimización de los procesos que reduzca las mermas de la empresa, mejore la productividad, rentabilidad y disminuya las deficiencias del sistema de producción, sobre todo en las etapas críticas de selección, clasificación y enclashado que generan cuellos de botella y demoras; esto debido a la excesiva manipulación, lo que representa un sobre costo actual, equivalente a S/ 72,000 soles, es decir un sobre costo de 58.3%.

Frente a esta problemática, se hace necesario el plantear soluciones de mejora, que según

menciona el gerente comercial de Kiwa BCS Öko-Garantie Perú SAC para el procesamiento de estos alimentos de necesita seguir desarrollando paquetes tecnológicos que brinden soluciones a la producción y disminución de los costos. Con lo cual surge la interrogante ¿La automatización del proceso de producción de arándanos frescos aumentarán la productividad en la empresa exportadora de arándanos? Para ello, en el presente estudio se plantea como objetivo general diseñar un modelo de simulación del proceso automatizado de producción de arándanos para el incremento de la productividad, teniéndose como objetivos específicos describir y analizar la situación actual del proceso de producción de arándanos frescos de una empresa exportadora, realizar la propuesta del diseño automatizado del proceso de producción de arándanos frescos y simular el antes y después del sistema automatizado en la empresa exportadora de arándanos.

## MARCO TEÓRICO

Los continuos cambios y avances en los sistemas productivos han hecho necesario la realización de mejoras y toma de decisiones, a lo cuál la simulación una de las herramientas de apoyo para este tipo de acciones, ya que permite reproducir virtualmente los procesos a estudiar, analizando el posible impacto de estos cambios o la comparación con alternas soluciones sin la necesidad de incurrir en elevados costos de experimentación.

García, Cárdenas y García-Reyes [5], definen la simulación como un conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio, que permiten a una mejor toma de decisiones en diversas materias, como por ejemplo la determinación de la localización de una nueva planta hasta el análisis productivo de un proceso ya existente pero que requiera mejoras.

La automatización se ha venido aplicando con el fin de reducir los costos de fabricación y mantener la calidad de un producto con el control del proceso productivo; esta está referida como un proceso industrial que incorpora dispositivos tecnológicos y distintos elementos que aseguran en un proceso el control y buen comportamiento [6].

Por otro lado, durante los últimos años se han venido desarrollando diversos estudios sobre el tema en cuestión. Así pues, Cabrera y Gamarra [7] en su tesis titulada “Plan de mejora continua para reducir la merma de arándano en el área de empaque en la empresa Agroindustrial Camposol S.A. 2019”, tuvieron como objetivo proponer e implementar un plan de mejora continua del proceso de empaque bajo cuatro pasos (planear, hacer, verificar y actuar). Teniéndose como resultado la identificación de las causas que generan las mermas en el proceso, siendo 6 de las 17 causas las que concentran un 63%. Al ejecutarse la propuesta de mejora y la introducción de tecnología en los subprocesos de envasado y empackado se logró la reducción de la merma en un 2,06% con respecto a la merma inicial.

Asimismo, Lazo [8] en su investigación titulada “Espectroscopia infrarrojo y técnicas de machine learning y deep learning para la detección y clasificación de arándanos”, identificó como problemática la detección y clasificación de arándanos frescos en la línea de procesos de la empresa TalSA, teniéndose como objetivo desarrollar una aplicación utilizando el procesamiento de imágenes por medio de espectroscopia infrarrojo cercano, machine learning y deep learning para la detección y clasificación de arándanos. Para lo cuál se dispuso de dos grupos de arándanos a los cuales se les evaluó en la variable dependiente, es decir a un grupo de le aplicó el tratamiento experimental y al otro se le siguió con las actividades rutinarias. Como resultado se obtuvo una aplicación que permite detectar y clasificar los arándanos con

una exactitud de 92%, indicándose así la posibilidad de utilizar la espectroscopia NIR y machine learning y deep learning para la clasificación de los arándanos.

Por su parte Huamán [9] en su tesis “Optimización de procesos industriales aplicando herramientas del Lean Manufacturing en el Complejo Agroindustrial Beta-2020”, tuvo por objetivo determinar en qué grado se puede realizar la optimización de procesos industriales al aplicar las herramientas del lean manufacturing dentro de las áreas de proceso en el Complejo Agroindustrial Beta, debido a que la empresa presentaba derroche de la materia prima en áreas como selección y empaque. Por medio de la propuesta de aplicación de Lean manufacturing se logró estandarizar los nuevos procedimientos que se venían ejecutando en relación con la optimización de los métodos anteriores, reduciendo así los desperdicios, tiempos ociosos o muertos y costos de fabricación.

Hernández [10] en su tesis titulada “Propuesta de mejora en el área de producción para reducir costos operativos en el proceso de envasado de arándano fresco de la empresa Hortifrutal – Perú S.A.C”, tuvo por objetivo reducir los costos operativos del empaque de arándanos frescos en el área de Producción de la empresa en cuestión. Para ello se diagnosticó la situación actual de los costos operativos del empaque identificándose y priorizándose las causas raíces por medio de un diagrama de Ishikawa, al igual que el impacto económico que generan estas causas en la empresa haciendo uso de un diagrama Pareto. Con esto se lograron detallar diferentes propuestas de mejora, entre las cuales se propuso un Plan de Requerimiento de Materiales, Programa de Capacitación, Plan de Muestreo, Programa de Mantenimiento Preventivo y Balance de Líneas; todo ello con el fin de reducir los costos operacionales. Obteniéndose como resultado que la propuesta es rentable y factible para la empresa Hortifrutal S.A.C.

Leroy [11] en su tesis “Propuesta de implementación del lean manufacturing para disminuir los costos operativos en la línea de proceso de arándano fresco en la empresa Camposol S.A.” tuvo por objetivo determinar el impacto de la propuesta de implementación del Lean manufacturing sobre los costos operativos de la línea de proceso de arándano en la empresa Camposol S.A. Para ello se hizo uso de los registros de productos con el fin de identificar los desperdicios en la línea de proceso. Teniéndose como resultado la reducción de los desperdicios en los costos operativos anuales en un 49,34%, tras la aplicación de herramientas y técnicas de Lean manufacturing de la combinación de operaciones, el Poka Yoke físico y el Poka Yoke de información, el plan de capacitación y el rediseño del layout de la planta procesadora de arándano, se logró ahorrar en costos de reproceso un total de 153 374.46 USD.

Leiva, Mondragón, Domingo y Aguilera [12] en su investigación titulada “The automatic sorting using image processing improves postharvest blueberries storage quality” identificaron como problemática la descomposición de los arándanos durante la etapa de almacenamiento y transporte, que causan rechazos y bajos precios de los lotes. Así pues, con el fin de mejorar los métodos manuales que se usan para eliminar las unidades enfermas de arándanos, los cuales son lentos e inseguros, se propuso un método simple y económico basados en algoritmos de visión por computadora para extraer y seleccionar información de los arándanos e implementar un mejor clasificador para segregar automáticamente las unidades con descomposición por hongos, marchitamiento y daño mecánico. Se obtuvo como resultado la correcta clasificación de más del 96% de arándanos con daño global, es decir por descomposición por hongos, marchitamiento o daño mecánico; lo cual permitirá aumentar la calidad de las exportaciones cuando se implemente en las líneas de producción.

Anup [13] en su investigación “Development of an automated debris detection system for wild blueberry harvesters using a convolutional neural network to improve fruit quality” identificó como problemática la deficiente calidad de los arándanos silvestres a causa del aumento de los desechos de plantas en los contenedores de almacenamiento de frutas durante la cosecha mecánica. Como metodología se recopiló un conjunto de datos de imágenes experimentales (1000 imágenes) de una cosechadora mecánica en dos campos gestionados comercialmente, a lo cual se le implementaron y compararon tres algoritmos para desarrollar el sistema de detección de escombros en tiempo real. Obteniéndose como resultados que el sistema desarrollado detectó con éxito bayas verdes, bayas y hojas maduras durante la evaluación de laboratorio con un nivel de significancia del 5%, pudiendo ser este sistema automatizado de valiosa adición para mejorar la eficiencia de la limpieza de las bayas y mejorar la calidad de la fruta.

Por otro lado, Peano, Girgenti, Baudino y Giuggioli [14] en su investigación “Blueberry Supply Chain in Italy: Management, Innovation and Sustainability” tuvieron como objetivo explorar e innovar en el proceso de la cadena de suministros de fruta fresca, centrándose en la innovación de las etapas de almacenaje y la gestión y mantenimiento de la calidad de la fruta durante el suministro. Considerando que la fruta fresca es seleccionada según distintos criterios después de la cosecha, y a pesar de que estos procesos son cada vez más automatizados, es de importancia la continua evolución en el manejo de la cadena de suministros requiriéndose consideraciones particulares para mantener la frescura y calidad del producto. Como resultados se obtuvo la identificación de innovación postcosecha con la implementación de tecnologías y

/ o procesos destinados a mantener la calidad y al mismo tiempo minimizar el impacto ambiental del mercado, mejorando la eficiencia en el uso de materiales y de la propia energía.

Aitazaz et al. [15] “Impact of Wild Blueberry Fruit Characteristics and Machine Parameters on Performance of a Mechanical Harvester: Basis for Automation” identificaron como problemática las pérdidas de arándanos durante el ajuste manual de las operaciones del recolector en campos de características de frutos. Por lo cual se estudió examinó el impacto de las características de la fruta y los parámetros operativos de la máquina, incluida la velocidad de avance de la cosechadora y se utilizaron tres tratamientos que fueron replicados al azar tres veces bajo un diseño factorial en cuatro campos en cada combinación de características de los arándanos. Teniéndose como resultados que la automatización de la cosechadora de arándanos, es decir la selección de una combinación ideal de velocidad de avance de la cosechadora y rpm del cabezal en función de las variaciones de los cultivos en los campos de arándanos puede minimizar las pérdidas de frutos, mejorando la eficiencia de la cosecha.

Sun et al. [16] en su investigación titulada “ Effects of Chitosan-Essential Oil Coatings on Safety and Quality of Fresh Blueberries” tuvieron como objetivo desarrollar una propuesta para alargar la vida útil de los arándanos y otras frutas en el periodo de la post cosecha, es decir en los procesos de packing y almacenamiento; para lo cual realizaron estudios invitro en los que se cultivaron *Escherichia coli* y *Penicillium digitatum* de tipo salvaje en un medio adecuado y luego se sometieron a 6 aceites esenciales. Tres compuestos, carvacrol (CAR), cinamaldehído (CIN) y trans- cinamaldehído (ECIN) tenían una alta capacidad antimicrobiana y se seleccionaron para un análisis in vivo. Los aceites esenciales seleccionados, al 0,5% cada uno, se añadieron a una solución de quitosano y se recubrieron con arándanos frescos. Como resultado se obtuvieron tres sustancias con la capacidad de inhibir el desarrollo de bacterias, las cuales fueron el carvacrol (CAR), cinnamaldehyde (CIN), and trans-cinnamaldehyde (ECIN).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Describir y analizar la situación actual del proceso productivo de una empresa exportadora de arándanos**

Para la descripción y análisis de la situación actual del proceso productivo en la empresa se tomaron los datos mostrados por Jacobo [17] en su tesis titulada “Balance de línea en el procesamiento de arándano fresco para reducir los costos de producción en la empresa AGUALIMA S.A.C”; de la cual se consideró la información sobre la identificación de las etapas del proceso de producción, los tiempos estándar por etapa y los costos de producción; así como las causas raíces de los sobre costos de producción.

### **Realizar el diseño automatizado del proceso de producción de arándanos**

Para la realización de la propuesta del sistema automatizado se tomó como base los datos obtenidos en el objetivo 1, en la cuál se identificaron las etapas con mayor tiempo y la causa de esto. Luego se realizó una revisión bibliográfica en diversas fuentes sobre el uso, tipos de tecnología y maquinaria usada en la línea de procesamiento de arándanos frescos, para posteriormente realizar la elección de la tecnología más adecuada al proceso. Finalmente se determinaron los nuevos indicadores del proceso y el nuevo costo de producción.

### **Simular el antes y después del sistema automatizado del proceso de producción de arándanos**

Para la simulación del antes y después del sistema automatizado de producción de arándanos frescos se utilizó el software ProModel, para el cual se tuvieron que identificar las estaciones de trabajo (locaciones), la materia prima que irá recorriendo el proceso (entidades), los arribos en la línea de producción y la definición de las rutas de las entidades en el sistema; así como las restricciones que pudiese tener el proceso y el tiempo en que se efectuarán. Toda la información requerida para la simulación fue obtenida de los dos primeros objetivos, para finalmente realizarse una comparación del antes y después de la automatización.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la presente investigación se tomó como base de datos la información mostrada en la investigación de Jacobo sobre una empresa exportadora de arándanos frescos que pretende cubrir una mayor demanda de arándanos. En la cual se muestra que la empresa trabaja con un turno de 8h al día, con un total de 77 operarios que realizan su trabajo de forma manual; los cuales presentan muy poca capacitación, originando que los tiempos en las etapas tomen mayor tiempo, que la materia prima se dañe con mayor facilidad durante el proceso y que el producto final no cuente con la misma calidad [17]. Las etapas que comprende el proceso se mencionan en la siguiente tabla, ver Tabla 1.

**Tabla 1. Tabla resumen del proceso**

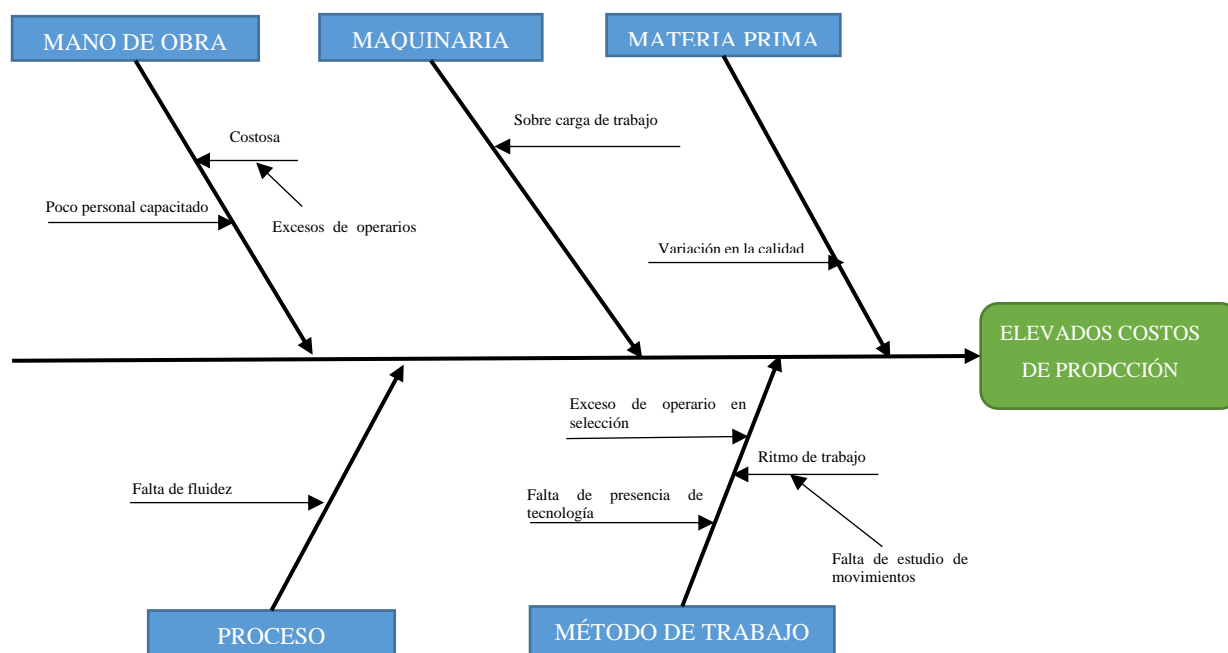
<b>Etapa</b>	<b>Operarios</b>	<b>T.E. min/t x Etapa</b>
Recepción Materia Prima	2	41,55
Selección y Clasificación	35	64,51
Etiquetado de Clamshell	7	57,39
Enclamshado y pesado	14	65,85
Armado y Etiquetado de Cajas	5	36,80
Embalaje	12	60,97
Enzunchado	1	42,98
Enfriado (almacenado)	1	42,16
<b>Total</b>	<b>77</b>	<b>412,21</b>

**Fuente: Jacobo [17]**

Como se puede observar en la tabla anterior las etapas que tardan mayor tiempo son las

etapas de enclamshado y pesado (cuello de botella del proceso), seguido de la etapa de selección y clasificación. La empresa tiene una producción de 7,29 toneladas/turno, sin embargo, para poder cumplir con la demanda este debe de ser de 11 toneladas/turno, lo cual indicaría que no es posible atender la demanda requerida. La eficiencia en la línea es del 78%, con un tiempo muerto de 114,57 min y una productividad de mano de obra de 0,09 toneladas/operario.

La exportadora muestra elevados costos de producción debido a diversos factores, teniéndose como principal factor el método de trabajo utilizado con un nivel de ocurrencia del 45%, la mano de obra con 27%, el proceso con un 12%, maquinaria 9% y materia prima 2%; las causas de los elevados costos se detallan a continuación en el diagrama.



**Figura 1. Diagrama de Ishikawa elevados costos de producción**  
Fuente: Jacobo [17]

### **Realizar el diseño automatizado del proceso de producción de arándanos frescos**

Teniendo en consideración que la empresa desea expandir su mercado de exportación y cubrir una mayor demanda, es decir una producción a mayor escala; se hace necesario que se pueda reducir el exceso de la mano de obra, los tiempos muertos, variación en la calidad del producto final, causada entre otras razones por el exceso de manipulación y la falta de automatización en el sistema durante el proceso de post cosecha del arándano; se propone el uso de maquinaria y/o equipos, sobre todo en aquellas etapas que presentan periodos largos de ejecución y elevados costos; siendo estas las etapas de selección y clasificación, etiquetado de clamshell y la etapa de enclamshado y pesado.

Para este caso se propone la incorporación de una faja de elevación que disminuya el tiempo de traslado de la materia prima a la etapa de limpieza y selección, en la cual se propone el uso

de una cinta de malla para la eliminación de las impurezas, una máquina calibradora para descartar el calibre no comercial, la incorporación de un selector óptico (TOMRA) que asegure la calidad interna y externa de la materia prima a exportar. Para las fases de envasado y etiquetado se propone el uso de brazos repartidores para suministrar de materia prima a las 12 tolvas de la envasadora (12 cabezales), la cual pesará, llenará y cerrará los clamshell. Finalmente, la incorporación de otra faja transportadora para la salida de clamshell a la máquina etiquetadora y una cinta transportadora para el encajado de clamshell.

**Tabla 2. Depreciación**

<b>Maquinaria y/o equipo</b>	<b>Precio (Dólares)</b>	<b>Valor de Desecho</b>	<b>Años a depreciar (Años)</b>	<b>Depreciación Anual</b>	<b>Depreciación mensual</b>
Faja elevación	3 000	1 500	10	300	25
Cinta de malla	4 500	2 250	10	450	37,50
Calibrador de banda perforada	5 000	2 500	10	500	41,67
Selector óptico (TOMRA)	100 000	50 000	10	10 000	833,33
Brazos repartidores	4 000	2 000	10	400	33,33
Envasadora de 12 cabezales	150 000	75 000	10	15 000	1250
Faja transportadora de clamshell	3 000	1 500	10	300	25
Etiquetadora de clamshell	35 000	17 500	10	3 500	291,67
Cinta trasportadora para el encajado de clamshell	6 000	3 000	10	600	50
<b>Total (soles)</b>	<b>1'086 750</b>	<b>543 375</b>		<b>108 675</b>	<b>9 056,25</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 3. Tabla resumen del proceso con la incorporación de la maquinaria y/o equipos**

<b>Etapas</b>	<b>Operarios</b>	<b>T.E. min/tn x Etapa</b>
Recepción Materia Prima	2	41,55
Selección y Clasificación	2	43,64
Enclamshado y pesado (envasado)	2	40,00
Etiquetado de Clamshell	1	39,74
Armado y Etiquetado de Cajas	4	42,26
Encajonado de clamshell y paletizado	6	41,73
Enzunchado	1	42,98
Enfriado	1	42,16
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>334,06</b>

**Fuente: Elaboración propia**

Con el fin de cumplir con una producción de 11 toneladas por turno, se determinó el tiempo de ciclo (tc), siendo este de 43,64 min/t; es decir que el nuevo tc de la línea debe ser menor o igual a este. Como se muestra en la Tabla 3, se evidencia una reducción del tiempo de procesamiento y número de operarios en la mayoría de etapas, exceptuando las etapas de

recepción de materia prima, enzunchado y enfriado.

**Tabla 4. Comparación de indicadores**

Indicador	Fórmula	Línea actual	Línea automatizada
Producción diaria	$P = Tb/Tc$	$P = 480/65,85 = 7,29 \text{ t/turno}$	$P = 480/43,64 = 11 \text{ t/turno}$
Eficiencia	$E = \Sigma Ti/n * Tc$	$E = 412,22/8 * 65,85 = 78\%$	$E = 334,06/8 * 43,64 = 95,68\%$
Tiempo Muerto	$TM = n(Tc) - \Sigma Ti$	$TM = 8(65,85) - 412,22 = 114,57 \text{ min}$	$TM = 8(43,64) - 334,06 = 18,06 \text{ min}$
Productividad mano de obra	$Pd = \text{Producción}/n^{\circ} \text{operarios}$	$Pd = 7,289/77 = 0,09 \text{ t/ope.}$	$Pd = 10,99/33 = 0,33 \text{ t/ope.}$

Fuente: Elaboración propia. En base a Jacobo [17]

**Tabla 5. Comparación de los costos de producción**

	Línea actual	Línea automatizada
<b>COSTOS FIJOS</b>		
Mantenimiento General	35 360	37 256,1
Sueldo Operarios	134 846,25	38 400
Jefe de planta	10 000	10 000
Ingeniero de producción	6 000	6 000
Ingeniero de calidad	6 000	6 000
Auxiliares	12 600	9 000
Otros (luz y agua)	22 880	26 376
Depreciación	0	9 056,25
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>227 686,25</b>	<b>133 032,10</b>
<b>COSTOS VARIABLES</b>		
Clamshell	50 107,20	53 081,70
Caja	188 240	198 809,10
Bolsa	104 000	109 790,10
Etiquetas	24 960	26 376,10
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>367 307,20</b>	<b>388 057</b>
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>594 993,45</b>	<b>521 089,10</b>
<b>Diferencia (S/.)</b>	<b>73 904,35</b>	
<b>Diferencia (%)</b>	<b>12,42%</b>	

Fuente: Elaboración propia. En base a Jacobo [17]

Como se puede observar en las tablas anteriores hubo un incremento en la producción diaria del 33,67%, un 18,48% en la eficiencia con respecto a la línea anterior, una reducción del 84,24% del tiempo muerto y un incremento del 72,73% en la productividad de mano de obra. En cuanto a los costos de fabricación estos se redujeron en un 12,42%.

**Simular el antes y después del sistema automatizado del proceso de producción de arándanos**

**Tabla 6. Arribos del sistema**

Entidad	Locación	Cantidad por arribo	Primera vez	Ocurrencia	Frecuencia.
Arándano	Recepción Materia Prima	1	0	1 000	1

Fuente: Elaboración propia

### Sistema actual del proceso

Entidades: Arándano, arándano seleccionado, arándano de descarte, caja con clamshell, clamshell con arándano, pallet con cajas y pallet enzunchado.

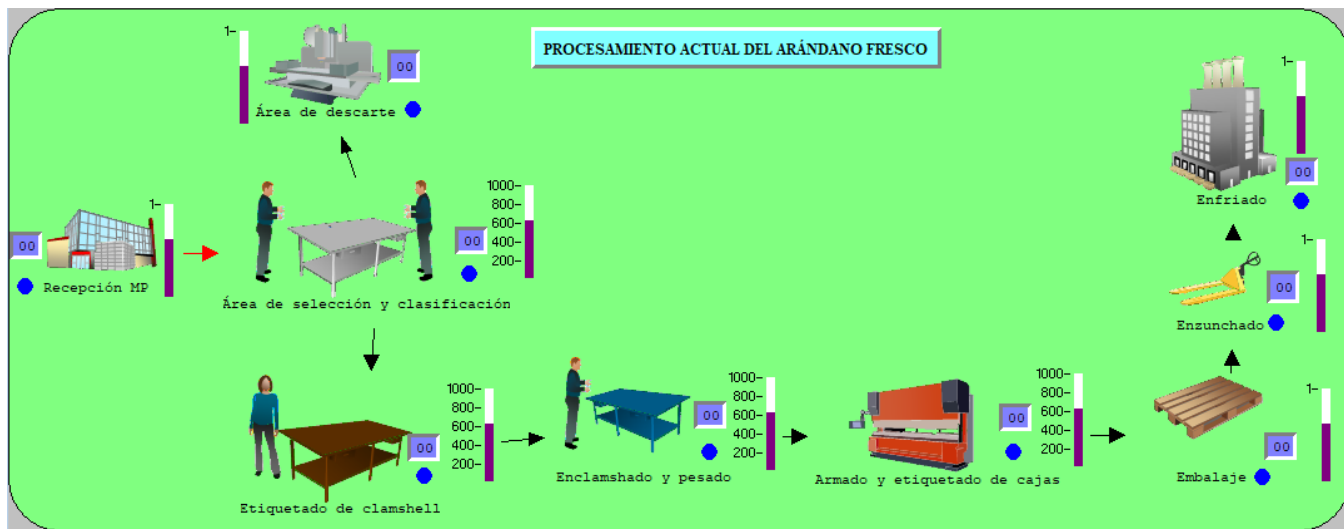
Procesamiento:

**Tabla 7. Proceso del sistema actual**

Entidad	Locación	Operación	Salida	Destino
Arándano	Recepción Materia Prima	41,55 min/t	Arándano	Selección y Clasificación
Arándano	Selección y Clasificación	64,51 min/t	Arándano seleccionado	93% Enclamshado y pesado
			Arándano descartado	7% Área de descarte
Arándano descartado	Área de descarte	-	Arándano descartado	Exit
Arándano seleccionado	Etiquetado de Clamshell	57,39 min/t	Arándano seleccionado	Enclamshado y pesado
Arándano seleccionado	Enclamshado y pesado	65,85 min/t	Clamshell con arándano	Armado y Etiquetado de Cajas
Clamshell con arándano	Armado y Etiquetado de Cajas	36,80 min/t	Caja con clamshell	Embalaje
Caja con clamshell	Embalaje	60,97 min/t	Pallet con cajas	Enzunchado
Pallet con cajas	Enzunchado	42,98 min/t	Pallet enzunchado	Enfriado
Pallet enzunchado	Enfriado	42,16 min/t	Pallet enzunchado	Exit

Fuente: Elaboración propia

Layout



Cuadro de indicadores				
Nombre	Total Salidas	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)	Costo Promedio
Arándanos	0.00	0.00	0.00	0.00
Arándano seleccionado	0.00	0.00	0.00	0.00
Arándano descartado	220.00	0.11	0.11	0.00
Clamshell con arándanos	6,240.00	0.91	0.27	0.00
Caja con clamshell	420.00	197.74	0.02	0.00
Pallet con cajas	0.00	0.00	0.00	0.00
Pallet enzunchado	2.00	0.03	0.03	0.00

### Sistema automatizado del proceso

Entidades: Arándano, arándano seleccionado, arándano de descarte, Clamshell con arándano, Caja, pallet con cajas y pallet enzunchado.

Procesamiento:

**Tabla 8. Proceso automatizado del sistema**

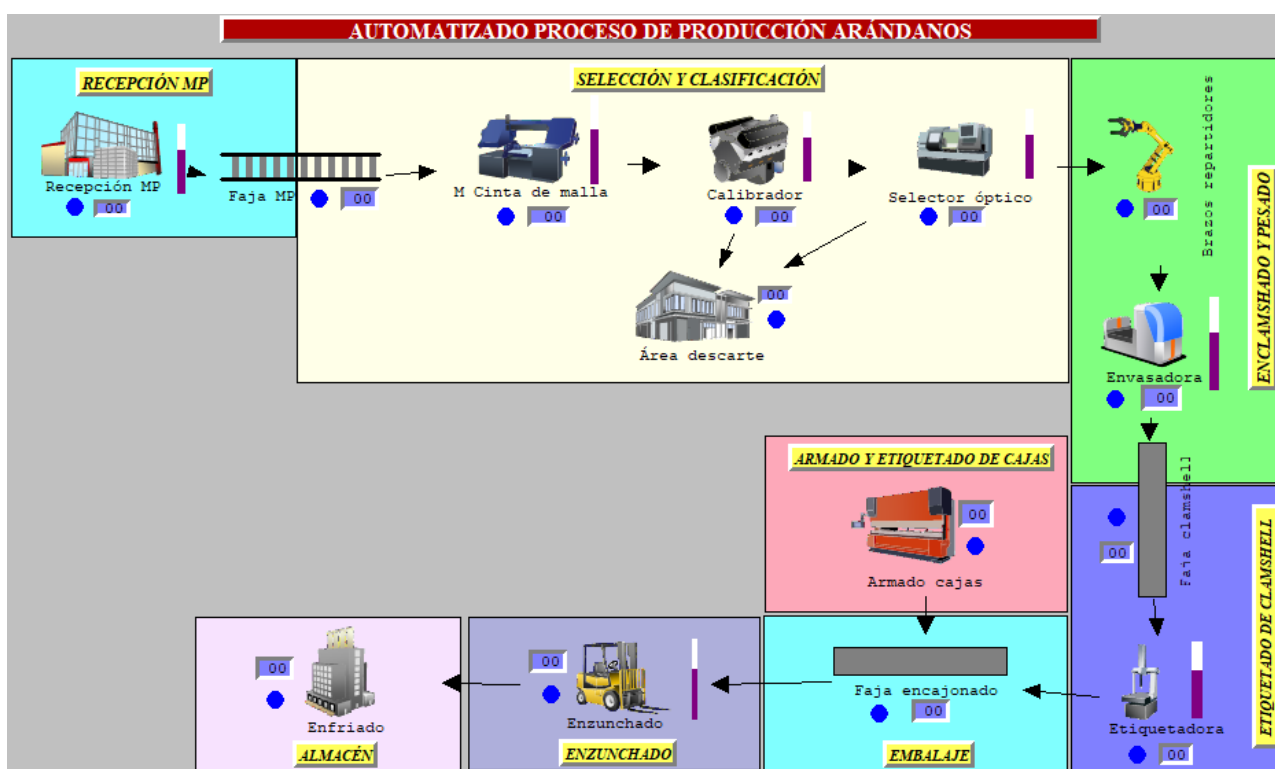
Etapa	Entidad	Locación	Operación	Salida	Destino
Recepción Materia Prima	Arándano	Recepción Materia Prima	41,55 min/t	Arándano	Faja Materia prima
	Arándano	Faja de elevación	-	Arándano	M. Cinta de malla
	Arándano	M. Cinta de malla	14,10 min/t	Arándano	99% Calibrador
Selección y Clasificación	Arándano	Calibrador	14,54 min/t	Arándano seleccionado	95% Selector óptico
				Arándano descartado	5% Área de descarte
	Arándano seleccionado	Selector óptico	15 min/t	Arándano seleccionado	97% Brazos repartidores
				Arándano descartado	3% Área de descarte
Arándano descartado	Área descarte	-	Arándano descartado	Exit	
Enclamshado y pesado	Arándano seleccionado	Brazos repartidores	-	Arándano seleccionado	Envasadora
	Arándano seleccionado	Envasadora	40 min/t	Clamshell con arándano	Faja de clamshell
Etiquetado de Clamshell	Clamshell con arándano	Faja de clamshell	-	Clamshell con arándano	Etiquetadora
	Clamshell con arándano	Etiquetadora	39,74 min/t	Clamshell con arándano	Armado y Etiquetado de Cajas
Armado y Etiquetado de Cajas	Cajas	Armado y Etiquetado de Cajas	42,26 min/t	Cajas	Faja encajonado
Embalaje	Clamshell con arándano	Faja encajonado	41,73 min/t	Pallet con cajas	Enzunchado
Enzunchado	Pallet con cajas	Enzunchado	42,98 min/t	Pallet enzunchado	Enfriado
Enfriado	Pallet enzunchado	Enfriado	42,16 min/t	Pallet enzunchado	Exit

Fuente: Elaboración propia

## Indicadores

Cuadro de indicadores				
Nombre	Total Salidas	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)	Costo Promedio
Arándano	0.00	0.00	0.00	0.00
Arándano seleccionado	0.00	0.00	0.00	0.00
Arándano descarte	6.00	0.35	0.35	0.00
Clamshell arándano	7,560.00	0.71	0.64	0.00
Pallet cajas	630.00	3.92	0.31	0.00
Pallet enzunchado	3.00	0.01	0.01	0.00
Cajas	0.00	0.00	0.00	0.00

## Layout



## DISCUSIÓN

Con respecto a la descripción y análisis de la situación actual de la empresa exportadora de arándanos, la metodología usada coincide con el de la tesis de Hernández [10] titulada “Propuesta de mejora en el área de producción para reducir costos operativos en el proceso de envasado de arándano fresco de la empresa Hortifrutal – Perú S.A.C”, en la cual se utilizó un diagrama de Ishikawa para identificar las principales causas que generan los costos operativos de empaque y el impacto que tienen estos sobre la empresa, lo cuál les sirvió para la posterior determinación de diversas propuesta de mejora.

En cuanto a la decisión de la automatización de la línea de procesamiento de arándanos, sobre todo en las etapas de selección y clasificación, etiquetado de clamshell y enclamshado y pesado (envasado), los cuales fueron las que presentaron un mayor tiempo de ejecución; coinciden con los resultados encontrados en las tesis de Cabrera y Gamarra [7] titulada “Plan de mejora continua para reducir la merma de arándano en el área de empaque en la empresa Agroindustrial Camposol S.A. 2019”, en la cual se incorporó tecnología en las etapas de envasado y empacado logrando así la reducción de un 2,06% de merma; así también en la investigación de Lazo [8] titulada “Espectroscopia infrarrojo y técnicas de machine learning y deep learning para la detección y clasificación de arándanos”, se identificó como problemática la clasificación y detección de los arándanos en buen estado, por lo cual se realizó la propuesta de incorporación de una máquina clasificadora utilizando para su procesamiento imágenes de espectroscopia; la cual presentaba una exactitud del 92% o la investigación de Leiva, Mondragón, Domingo y Aguilera [12] titulada “The automatic sorting using image processing improves postharvest blueberries storage quality” quienes propone el uso de una maquinaria semejante a la anterior con una exactitud del 96%; reduciendo así la mano de obra utilizada en la etapa de clasificación y mejorando considerablemente la calidad del producto final. Lo mismo se logró para el presente caso de estudio con la incorporación de la máquina selectora óptica (TOMRA), la cual selecciona los arándanos en buen estado mediante el uso de imágenes computarizadas y sensores, asegurando así la calidad externa e interna del producto.

Por otro lado, con la propuesta de automatización del proceso de producción de arándanos frescos para exportación, se evidenció una reducción del 12.42% de los costos de producción, dato que va en concordancia con la investigación realizada por Leroy [11] en su tesis “Propuesta de implementación del lean manufacturing para disminuir los costos operativos en la línea de proceso de arándano fresco en la empresa Camposol S.A.”, en la que hace uso del Lean manufacturing combinado con el Poka Yoke físico y el Poka Yoke de información, entre otras herramientas y técnicas, logrando reducir sus costos en un 49,34%; si bien la variación porcentual entre el dato obtenido en la presente investigación y el obtenido por Leroy es medianamente significativo, cabe resaltar que esta reducción se logró solo con la automatización del proceso; lo cuál significaría que la reducción de costos puede llegar a ser mayor con la aplicación de otras herramientas.

## **CONCLUSIONES**

Se logró describir la situación actual del proceso productivo de la empresa exportadora de arándanos, encontrándose que todo el trabajo realizado en las etapas de procesamiento se realiza de forma manual, encontrándose una elevada cantidad de operarios en las etapas de selección

y clasificación (35), enclashado y pesado (14) y embalaje (12); lo cuál no permitía que la empresa pudiese aumentar su producción diaria de 7,29 t/turno, con una eficiencia de 78%, tiempo muerto de 114,57 min, una productividad de mano de obra de 0,99 t/operario, un tiempo total de producción de 412,21 min/tonelada y un costo total de producción de S/.594 993,45.

En cuanto a la automatización del proceso de producción de arándanos frescos para exportación, se propuso el uso de 9 maquinarias y/o equipos, que redujeron el tiempo total de producción en un 18,96%, así como la cantidad de mano de obra utilizada (33), con una producción diaria de 11 toneladas/turno, una eficiencia de 95,68%, tiempo muerto de 18,06 min y una productividad de mano de obra de 0,33 t/operario; con un costo total de producción de S/. 73 904,35, es decir una reducción del 12,42%.

La simulación del proceso actual de la empresa y el propuesto con la automatización, ayudó en el análisis de los posibles impactos de los cambios efectuados sobre el proceso, así como la comparación de los indicadores evaluados sin la necesidad de incurrir en elevados costos de experimentación. La futura implementación del proceso propuesto ayudará a la reducción de la pérdida de materia prima, la cantidad de operarios y a mejorar la calidad del producto a exportar, así como la rapidez del proceso, permitiéndole a la empresa cubrir una mayor demanda y el acceso a otros mercados.

## Referencias

- [1] Inteligencia Comercial ADEX, «El éxito de los arándanos peruanos al cierre del 2019,» CIEN, Lima, 2020.
- [2] EastFruit, «Exportaciones de arándanos de Perú 2020: récord de precio bajo y récord de volumen,» Blueberries, 13 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://blueberriesconsulting.com/exportaciones-de-arandanos-de-peru-2020-record-de-precio-bajo-y-record-de-volumen/>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [3] Agencia Agraria de Noticias, «La exportación de arándanos,» AGRARIA, 8 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://agraria.pe/noticias/la-exportacion-de-arandanos-21705>. [Último acceso: Junio 2021].
- [4] Redagráfica, «Arándanos: pronostican exportaciones por US\$1,054 millones en 2020/21,» Redagráfica, Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.redagricola.com/co/arandanos-pronostican-exportaciones-1054-millones-2020/>.
- [5] E. García Dunna, H. García Reyes y L. E. Cárdenas Barrón, Simulación y análisis de sistemas con ProModel, Monterrey: Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.
- [6] M. García, Automatización de procesos industriales, España : Universidad pontifica de valencia , 1999.
- [7] J. A. Cabrera Tucto y J. C. Gamarra Paisig, «Plan de mejora continua para reducir la merma de arándano en el área de empaque en la empresa Agroindustrial Camposol S.A. 2019,» Universidad César Vallejo, Trujillo, 2020.
- [8] W. A. Lazo Aguirre, «Espectroscopia infrarrojo y técnicas de machine learning y deep learning para la detección y clasificación de arándanos,» *Pueblo Continente*, vol. 30, n° 2, pp. 555-570, 2019.
- [9] G. R. Huaman Tello, «Optimización de procesos industriales aplicando herramientas del Lean Manufacturing en el Complejo Agroindustrial Beta-2020,» Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Pueblo Libre, 2020.
- [10] A. M. Hernández Calderón, «Propuesta de mejora en el área de producción para reducir costos operativos en el proceso de envasado de arándano fresco de la empresa Hortifrutal – Perú S.A.C,» Universidad Privada del Norte, Trujillo, 2019.
- [11] G. Leroy Biasutti, «Propuesta de implementación del lean manufacturing para disminuir los costos operativos en la línea de proceso de arándano fresco en la empresa Camposol S.A.,» Universidad Privada del Norte, Trujillo, 2018.
- [12] G. Leiva, G. Mondragón, M. Domingo y J. M. Aguilera, «The automatic sorting using image processing improves postharvest blueberries,» Santiago, 2011.
- [13] D. Anup Kumar, «Development of an automated debris detection system for wild blueberry harvesters using a convolutional neural network to improve fruit quality,» Dalhousie University, Halifax, 2020.
- [14] C. Peano, V. Girgenti, C. Baudino y N. Giuggioli, «Blueberry Supply Chain in Italy: Management, Innovation and Sustainability,» *Department of Agricultural, Forest and Food Sciences (DISAFA)*, vol. 9, n° 2, p. 261, 2017.
- [15] F. Aitazaz, J. Muhammad, Z. Qamar, E. Travis, S. Arnold y A. Farhat, «Impact of Wild Blueberry Fruit Characteristics and Machine Parameters on Performance of a Mechanical Harvester: Basis for Automation,» *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, vol. 36, n° 3, pp. 322-335, 2020.

- [16] X. Sun, J. Narciso, Z. Wang, C. Ference, J. Bai y K. Zhou, «Effects of Chitosan-Essential Oil Coatings on Safety and Quality of Fresh Blueberries,» *Journal of Food Science*, vol. 79, nº 5, 2014.
- [17] Y. Jacobo Caballero, «Balance de línea en el procesamiento de arándano fresco para reducir los costos de producción en la empresa AGUALIMA S.A.C,» Universidad privada Antenor Orrego, Trujillo, 2020.