



# SIMULACIÓN DE UN PROCESO PRODUCTIVO DEL EMBOTELLADO DE AGUA DE COCO Y DE UNA ALTERNATIVA DE MEJORA

G. M. Pineda, M. A. Pocasangre, J. D. Peñate, J. W. Salazar, Z. Y. Villalta, R. E. García<sup>1</sup>, L. Orellana<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Operaciones y Sistemas, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. El Salvador  
Teléfono (503) 22106600 Email: regarcia@uca.edu.sv

**Resumen** - La optimización en el proceso de extracción de agua de coco, surge ante la necesidad de la empresa Envasadora Summer por aumentar la capacidad de producción e incursionar en nuevos mercados; por lo cual se busca construir un escenario propuesto que sea evaluado con diferentes indicadores a través de una simulación del sistema actual y un sistema propuesto.

**Palabras Clave** - Simulación, proceso de producción, Simio.

**Abstract** - The optimization in the process of extracting coconut water, arises from the need of the company Envasadora Summer to increase production capacity and enter new markets; Therefore, it is sought to build a proposed scenario that is evaluated with different indicators through a simulation of the current system and a proposed one.

**Key words** - Simulation, production process, Simio.

## I. INTRODUCCION

Simulación es la imitación de las operaciones de un proceso real o sistema a lo largo del tiempo. Esta incluye la creación de una historia artificial del sistema y la observación de esta historia para inferir sobre las características operativas del sistema [1].

De acuerdo con lo anterior puede notarse que la simulación es un área de conocimiento de gran utilidad en la ingeniería ya que apoya a la toma de decisiones y comprensión del funcionamiento de un sistema.

El presente expone como se hace uso de la simulación para evaluar dos escenarios en los cuales puede operar una empresa, la situación actual y una propuesta de automatización de algunas operaciones.

La empresa en estudio Envasadora Summer, es una empresa que pertenece al sector de alimentos y bebidas, se dedica principalmente a la elaboración y al envasado de agua de coco natural; adicionalmente, para el aprovechamiento del fruto la empresa posee una línea de producción de dulces típicos: coco rallado y conservas.

El producto agua de coco se comercializa en tiendas de conveniencia, gasolineras, hoteles y restaurantes a nivel nacional. Debido a la incursión en nuevos centros de ventas,

la demanda empezó a crecer en los últimos meses, por lo que se realizó una serie de toma de tiempo con la finalidad de observar los posibles problemas a solucionar.

Al realizar un estudio detallado al proceso actual de la empresa, se determinó que están presentándose demoras en el área de corte de la materia prima, es decir los cocos, lo que provoca retrasos en el área de envasado del producto, por lo que el estudio se centra en evaluar la implementación de una máquina que permita agilizar el proceso de corte del coco y extracción de agua.

Se utilizó el Software de simulación Simio, versión 11, que permitió hacer simulaciones de las operaciones del proceso actual y propuesto.

## II. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la elaboración de este estudio se realizó en consenso con el equipo de trabajo. El primer punto consiste en definir y organizar las actividades necesarias para llevar a cabo el proyecto, de tal manera que dichas actividades se cumplan de la mejor manera posible y en el plazo de tiempo requerido.

Para la toma de tiempos, al conversar con los propietarios, se expresó al grupo de trabajo que los procesos de producción están comprendidos única y exclusivamente en horas de la mañana, además de ser un proceso realizado por expertos en dicha actividad y llevar años con el mismo, los tiempos no variaban entre días, por tal motivo solo se recolectaron datos en una sola jornada.

La metodología empleada para la ejecución del proyecto constará de una serie de pasos:

### A. Formulación del problema

Se define el problema y se describe el sistema que se estudia. Se deben de tener bien claros los objetivos, los cuales deben indicar las cuestiones a las que se debe responder sobre el sistema, los alcances, limitaciones y medidas de efectividad a utilizar



*B. Desarrollo del modelo conceptual*

Se define el sistema real a un modelo teniendo en cuenta los objetivos del estudio. Se definieron todos los elementos del sistema en estudio, tal como se pueden observar en la Tabla 1 y se modeló conceptualmente mediante un diagrama de flujo para la situación actual y propuesta tal como se muestran en la Figura 1 y 2.

Tabla 1 Elementos del sistema en estudio

Entidades:	Cocos, Jabas, Botellas.
Recursos:	Trabajadores (2)
Localización:	Envasadora Summer: área de corte y de envasado
Variables de entrada:	Número de cocos a procesar Tiempo de selección de coco Tiempo de corte lateral Tiempo de corte de coco con máquina Capacidad de la jaba Tiempo de traslado de jaba Tiempo de perforado de coco y vaciado de agua en tanque Tiempo de envasado Tamaño de lote de botellas con agua Tiempo de traslado de botellas a refrigerador Tiempo de almacenado de cada botella
Variables de salida:	Cocos procesados por hora Cantidad de botellas con agua de coco producidas por hora Utilización de los trabajadores

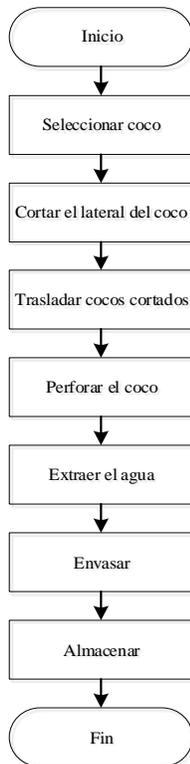


Fig. 1 Modelo conceptual del proceso actual de envasado de agua de coco

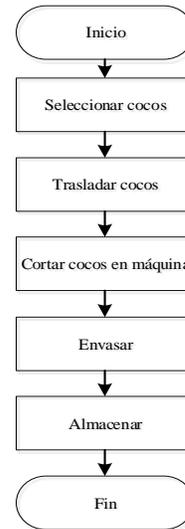


Fig. 2 Modelo conceptual del proceso propuesto de envasado de agua de coco

*C. Adquisición y análisis de datos*

Se realiza la muestra de los tiempos del proceso y el análisis de estos datos, es decir, los tiempos de corte, los tiempos de traslado, los tiempos de perforación, los tiempos de extracción de agua, los tiempos de envasado, y los tiempos de almacenamiento.

La adquisición de datos consistió en realizar una visita a la empresa Summer ubicados en los Planes de Renderos, San Salvador. Dicha visita se realizó en la franja horaria de 8 a.m. a 12 p.m. Los tiempos de los procesos recolectados en la empresa fueron: corte, traslado, perforado, extracción del agua, envasado y almacenado.

La toma de los tiempos del proceso de corte, perforado, extracción del agua y envasado son tiempos por unidad de cocos, de lo contrario a los tiempos de los procesos de traslado y almacenado los cuales fueron tomados por un lote de 20 cocos debido a que el traslado se realizaba en jabas.

La recopilación de datos se manejó en segundos, con el objetivo de simplificar las lecturas de los datos reales y simulados, con la finalidad de mantener una congruencia de unidades temporales y mantener una congruencia de unidades temporales.

Se comprueba si los datos obtenidos cumplen con ser independientes, para dichas pruebas se utilizó el software Minitab, versión 17, en cual se crearon gráficos de dispersión.

Los gráficos de dispersión para todas las variables evidencian que existe independencia entre los datos.

Para la determinación de distribución de probabilidad que siguen las variables se utiliza el software EasyFit.

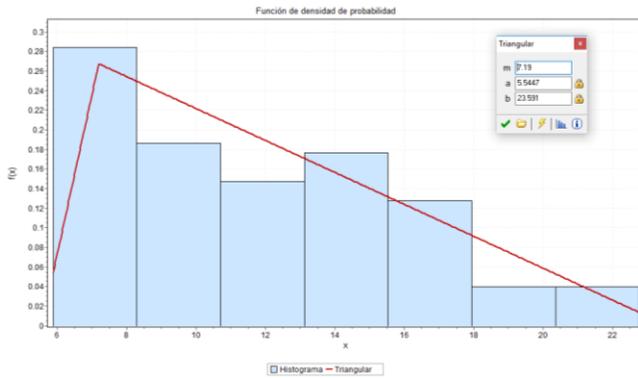


Fig. 3 Distribución para tiempo de corte

La distribución que más se acopla al proceso de tiempo de corte es la función Triangular (5.5447, 7.19, 23.591) segundos.

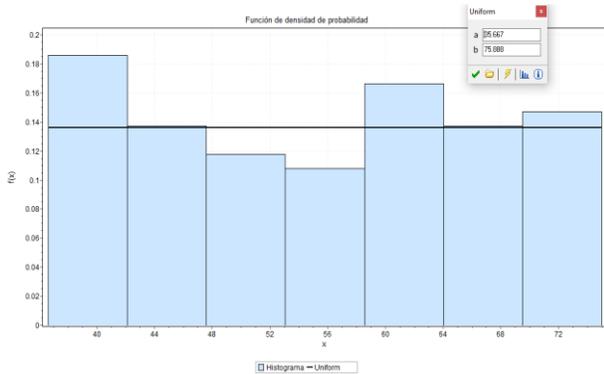


Fig. 4 Distribución para tiempo de traslado

La distribución que más se acopla al proceso de tiempo de traslado es la función Uniforme (35.667,75.888) segundos.

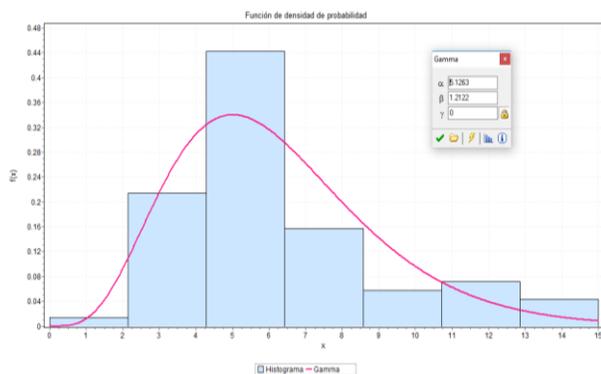


Fig. 5 Distribución para tiempo de perforado

La distribución que más se acopla al proceso de tiempo de perforado es la distribución Gamma (5.1263,1.2122) segundos.

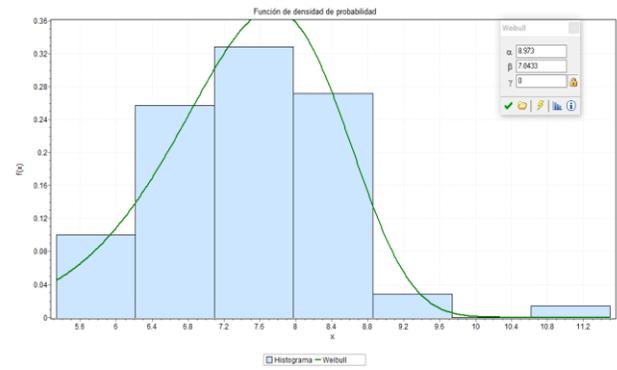


Fig. 6 Distribución de tiempo de envasado

La distribución que más se acopla al proceso de tiempo de envasado es la función Weibull (8.973,7.8433) segundos.

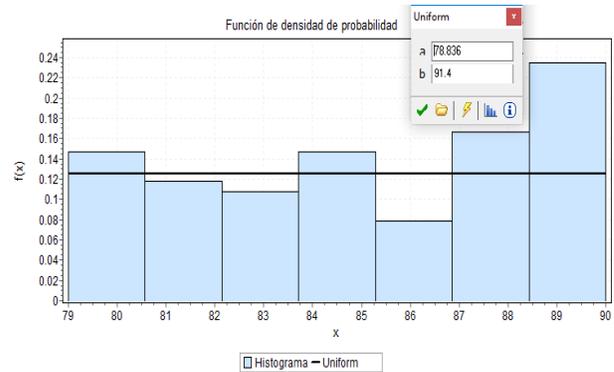


Fig. 7 Distribución de tiempo de almacenado

La distribución que más se acopla al proceso de tiempo de almacenado es la función Uniforme (78.836,91.4) segundos.

Para la situación propuesta dado que la maquina no estaba implementada se consideró adecuado definir un valor mínimo y máximo para el tiempo de selección de cada coco en 2 y 4 segundos respectivamente, ajustando la variable Tiempo de selección a una distribución Uniforme (2, 4) segundos.

El tiempo de traslado de la jaba se estableció como una constante de 1 minuto.

Teniendo en consideración la velocidad de la máquina y el uso que el operario le dé a esta se definió como tiempo mínimo de corte de un coco 10 segundos y máximo 15, lo que permite definir la variable Tiempo de corte de coco con máquina de acuerdo a una distribución Uniforme (2, 5) segundos.

Un resumen del modelado de las variables de entrada se muestra en la Tabla 2.



Tabla 2. Modelado de las variables de entrada

Variable	Unidad	Distribución de probabilidad	
		Situación actual	Situación propuesta
Número de cocos a procesar	Cocos	1500	
Tiempo de selección de coco	Segundos	Uniforme(2, 4)	
Tiempo de corte lateral	Segundos	Triangular(5.54, 7.19, 23.591)	
Tiempo de corte de coco con maquina	Segundos	Uniforme(2, 5)	
Capacidad de la jaba	Cocos	24	20
Tiempo de traslado de jaba	Segundos	Uniforme(35.667, 75.888)	60
Tiempo de perforado de coco y vaciado de agua en tanque	Segundos	Gamma(5.1263, 1.2122)	
Tiempo de envasado	Segundos	Weibull (8.973, 7.8433)	
Tamaño de lote de botellas con agua	Botellas	24	30
Tiempo de traslado de botellas a refrigerador	Segundos	30	
Tiempo de almacenado de cada botella	Segundos	Uniforme(78.836, 91.4)	

#### D. Construcción del modelo de simulación

Para la construcción del modelo y su simulación se utilizó la licencia académica del software SIMIO, versión 11.

El modelo de simulación para la situación actual consta de cuatro “Model Entity”, los cuales representan las tres entidades identificadas en el sistema, coco, jaba, botella y bandeja; se crearon tres “Source”, para modelar las llegadas de cocos, jabas y bandejas, las entidades botellas fueron creadas en el proceso llenar.

La llegada de cocos se condicionó al evento salida de jaba con cocos cortados lateralmente, teniendo en consideración que existían 24 cocos previamente y que el número máximo de arribos 59 con 24 entidades por arriba. De igual forma se condicionó la llegada de jabas al evento ingreso del coco al corte lateral, con un máximo de arribos de 3 que corresponde al número de jabas disponibles. La llegada de bandejas se limitó a una ya que esta es empleada exclusivamente para trasladar el lote de botellas al refrigerador

Se añadieron dos “Workers” con el objetivo de representar los dos empleados que laboran en la empresa y se designó el primero para las operaciones cortar lateralmente y trasladar jaba y el segundo para perforar y vaciar, envasar, trasladar lote de botellas y almacenar.

Tres “Server” se utilizaron para representar los procesos de cortar lateralmente, perforar y vaciar, y envasar. Para agrupar cocos en las jabas y lotes de botellas a refrigerar se

emplearon dos “Combiner” y para devolver la jaba vacía después de haber perforado y vaciado todos los cocos que contenía y crear las entidades botellas, en el proceso llenado se empleó un “Separator” y el otro se usó para almacenar una a una las botellas del lote y devolver la bandeja en donde se agrupa el lote.

Se utilizaron dos “Time Path” con el objetivo de representar el tiempo de traslado de las jabas y del lote de botellas con agua. Finalmente, el modelo cuenta con un “Sink”, donde se representa el refrigerado de las botellas con agua de coco.

Para la situación propuesta se emplearon las entidades: coco, jaba, botella y carretilla, esta última sustituyó a las bandejas. Cada entidad, excepto las botellas, cuenta con sus respectivos “Source”. Los elementos vinculados al proceso de llenar, envasar, almacenar y refrigerar botellas, se mantienen similares. Se emplea un solo “Worker” ya que el proceso propuesto es para un solo operario.

Se empleó un “Server” para representar la máquina cortadora de cocos y un “Combiner” para agrupar cocos en las jabas como parte del proceso de selección de cocos.

Así mismo se utilizaron dos “Time Path” con el objetivo de representar el tiempo de traslado de las jabas y de los lotes de botellas. Finalmente, el modelo cuenta con un “Sink”, donde se representa el refrigerado de las botellas con agua de coco.

Los modelos de simulación, en el software Simio, se muestra en las figuras 8 y 9.

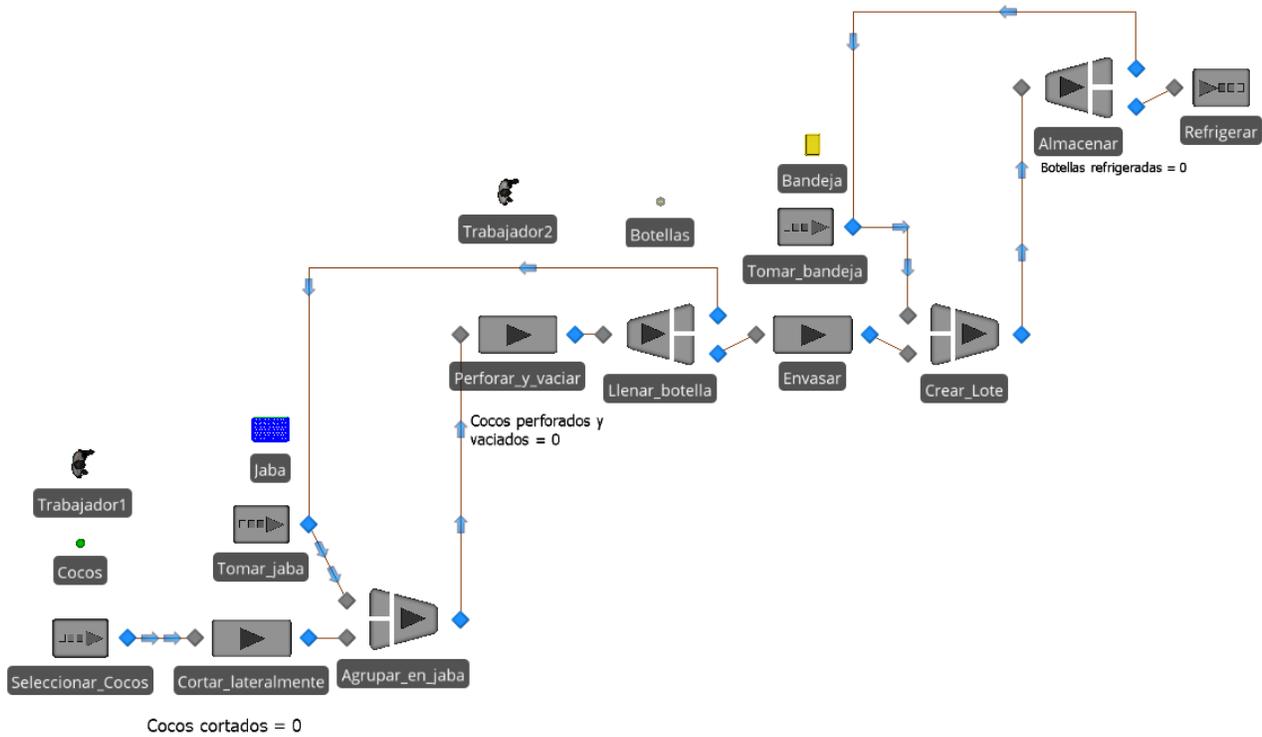


Fig. 8 Modelo de simulación para la situación actual en software SIMIO

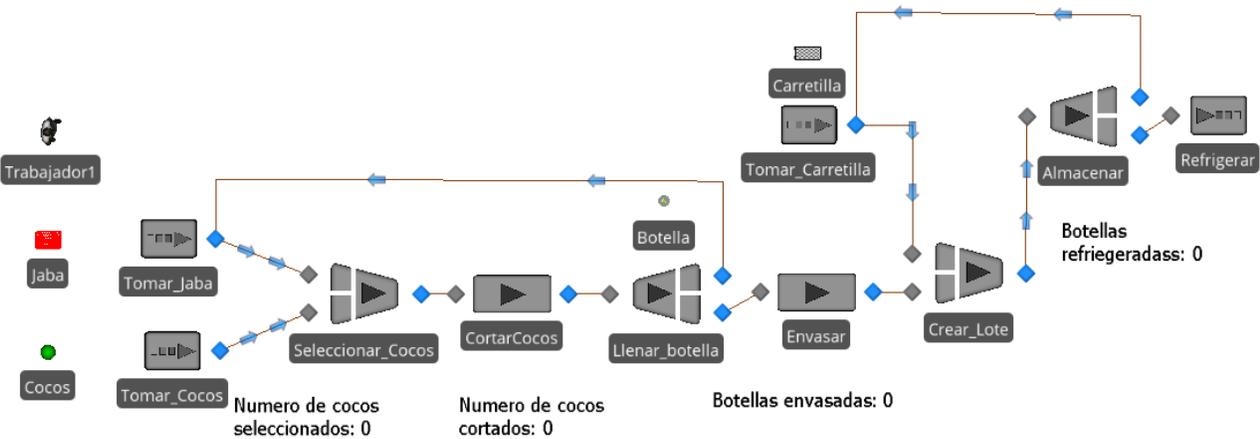


Fig. 9 Modelo de simulación para la situación actual en software SIMIO

### E. Verificación y validación

Se realizan una serie de pruebas para poder determinar si el modelo de simulación poseía la lógica esperada y se logró verificar.

Para comprobar que los resultados obtenidos con las simulaciones corresponden con la realidad se contaba con la información de la cantidad de botellas con agua de coco que

se producen en cada jornada laboral de seis horas y media, siendo estos entre 400 y 500.

Se determinaron dichos parámetros a partir de diez réplicas de la simulación: Botellas producidas: 480

Con esta información se pudo aseverar que el modelo de simulación es válido, por lo que se podía comenzar a analizar el desempeño del sistema y evaluar el mismo tras realizar ciertas modificaciones a este por medio del programa.



### F. Simulación y análisis de resultado

Con los datos generados en la ejecución inicial de 10 réplicas, de la simulación, se obtuvieron los siguientes resultados, con un nivel de confianza del 95 %, para las variables de respuesta de mayor interés.

- Cocos procesados por hora: 164
- Cantidad de botellas con agua de coco producidas por hora: 80
- Utilización del trabajador 1:  $75.6738 \pm 0.5462$  [75.1276, 76.2200]
- Utilización del trabajador 2:  $52.6515 \pm 1.2331$  [51.4148, 53.8846]

Para establecer el número de réplicas a emplear, se hizo uso de la ecuación 1, donde  $n_0$  es el número de réplicas preliminares,  $h_0$  es el ancho de intervalo obtenido preliminarmente y  $h$  el ancho de intervalo que se desea obtener.

$$n = n_0 \left( \frac{h_0}{h} \right)^2 \quad (1)$$

Se definió como variable crítica la utilización del trabajador y el valor máximo de ancho de intervalo  $h = 0.5$ , partiendo de 10 réplicas iniciales y un ancho de intervalo máximo de 1.2331, se obtuvo un total de  $60.82 \approx 60$  réplicas.

## III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos para las 41 réplicas y un 95 % de confianza se presentan a continuación desglosados en situación actual y situación propuesta.

### A. Situación actual

Con los resultados del sistema productivo actual se evidencia que, en el transcurso de una jornada laboral comprendida por seis horas y media de trabajo, el trabajador 1, logra procesar 984 frutos a una tasa de 164 por hora, con una utilización del [75.7 %, 76.2 %] de estos [59.4 %, 59.7 %] corresponden al corte lateral del coco y [16.3 %, 16.5 %] corresponden a tiempo transportando jabas.

Mientras que, el trabajador 2, logra procesar [78.8, 79.8] botellas con agua de coco por hora, con una utilización del [52.3 %, 53.2 %] de estos [49.5 %, 50.4 %] corresponden a la perforación, vaciado, envasado y almacenado, y un 2.8 % corresponde a tiempo transportando los lotes de botellas hasta el refrigerador.

El porcentaje de utilización del trabajador 2 es menor debido a la falta de trabajo que arriba a esta por la dependencia que existe entre operaciones al ser un modelo de producción en línea.

La cantidad de producto terminado con la funcionalidad actual de la planta es de [472.9, 479.1] botellas con agua de coco.

### B. Situación propuesta

Al implementar como alternativa al sistema productivo una máquina encargada del corte y vaciado del coco, y una carretilla para el traslado de los lotes de producción en el modelo de simulación, se evidencia el nuevo desempeño debido a los cambios en los parámetros de trabajo que se tendría en la organización.

Observándose mejoras en las variables de interés con relación con a la situación actual. En la jornada laboral se logran procesar 1440 frutos a una tasa de 240 por hora, lo que corresponde a una producción de 720 botellas con agua de coco, La utilización del único trabajador es de [96.6 %, 98.0 %] de estos [74.1 %, 75.5 %] corresponden a las operaciones y 22.5 % corresponde a transportación.

Con las modificaciones debidas a la implementación de dicha máquina y haciendo que el empleado llegue a niveles de utilización del 100 % se podrían procesar 1620 cocos lo que corresponde a 810 botellas con agua de coco.

Por otro lado, uno de los operarios del proceso actual puede destinarse a otras de las líneas de producción y de esta forma incrementar la productividad en dichos procesos.

Con los resultados obtenidos por la simulación, se demostró que al implementar la maquina los niveles de producción pueden duplicarse, por lo que se cumple el objetivo que la empresa buscaba, ya que de acuerdo a los niveles de producción actual no se abastece los nuevos mercados.

## IV. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos tras la ejecución del estudio de simulación sobre el proceso productivo que se desarrolla en la empresa “Envasadora Summer” para la fabricación de su producto estrella, agua de coco embotellada, se evidenció que la realización de la actividad de corte lateral no se efectúa de forma lo suficientemente ágil como para seguir con el ritmo de producción requerido. Al ser un proceso en línea, el retraso o incumplimiento de alguna de las actividades perjudica el funcionamiento y resultados de las operaciones posteriores, por lo que la cantidad de producto elaborado en



una jornada laboral por la empresa en las condiciones actuales, no permite cumplir con un aumento de la demanda esperada tras la incursión en nuevos mercados.

Esto se debe a que los recursos destinados a ciertas estaciones no son suficientes para abarcar la magnitud del trabajo que estas demandan, en cuanto a fuerza laboral se refiere; Comprobando dichas aseveraciones en el nivel de utilización de los trabajadores y las estaciones de trabajo en el modelo de simulación para una jornada laboral.

Contratar personal que apoye en las actividades que ahora en día perjudican la producción por el incumplimiento de las metas deseables para la satisfacción del aumento en la demanda.

Implementar maquinaria que permita combinar y automatizar ciertas operaciones del proceso productivo de la organización.

Extender horarios de producción al iniciar con antelación la jornada laboral.

## V. AGRADECIMIENTOS

A la empresa "Envasadora Summer" por abrir las puertas de su compañía y fiarse de los conocimientos como estudiantes de ingeniería industrial, lo cual fue de gran ayuda para enriquecer la experiencia y poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el ciclo académico.

La finalización del presente trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda de Dios, dado que él guio a los mentores y equipo de trabajo durante toda la actividad y brindó la sabiduría necesaria. No hay duda que valió la pena cada esfuerzo que se realizó como grupo, ya que los conocimientos

de cada integrante del equipo fueron enriquecidos con la experiencia de formular, simular y ejecutar un proyecto aplicable a la vida real.

## REFERENCIAS

- [1] J. Banks, Handbook of simulation. Principles, methodology, advances, applications and practice, John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [2] E. García Dunna, H. García Reyes y L. Cárdenas Barrón, Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel, México D.F.: Pearson, 2013.
- [3] Envasadora Summer, «Summer,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.summerelsalvador.com/summer.html>.
- [4] C. D. Pegden y D. T. Sturrock, «Rapid Modeling Solutions: Introduction to Simulation and Simio,» Simio LLC, 2013.
- [5] Simio LLC, «Simio Reference Guide. Version 11,» Simio LLC, 2019.
- [6] A. Guasch, M. Á. Píera, J. Casanovas y J. Figueras, «Modelado y Simulación: Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios,» Alfaomega, México, 2005.
- [7] L. Orellana, Simulación de eventos discretos, San Salvador: UCA Editores, 2014.
- [8] L. Orellana, C. Melara y S. Vidal, Manual de Prácticas de Simulación, San Salvador: UCA Editores, 2018.
- [9] J. L. Devore, Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias, México: Cengage Learning, 2012.
- [10] J. S. Smith, D. T. Sturrock y W. D. Kelton, Simio y simulación: modelado, análisis y aplicaciones, Simio LLC, 2018.