

# SISTEMA DE ROBÓTICA INDUSTRIAL EN OPERACIONES AGROINDUSTRIALES: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE LIMPIEZA Y SELECCIÓN DE FRUTAS

## SYSTEM OF INDUSTRIAL ROBOTICS IN AGRIBUSINESS OPERATIONS: OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF CLEANING AND SELECTION OF FRUITS

ROBERTO GARCÍA SÁNCHEZ<sup>1</sup>, ROBERTO CARLOS GARCÍA VACACELA<sup>2</sup>, NICOLÁS VILLAVICENCIO BERMUDEZ<sup>3</sup>,  
JESÚS MELENDEZ RANGEL<sup>4</sup>

1 Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. [roberto.garcia02@cu.ucsg.edu.ec](mailto:roberto.garcia02@cu.ucsg.edu.ec)

2 Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. [roberto.garcia@cu.ucsg.edu.ec](mailto:roberto.garcia@cu.ucsg.edu.ec)

3 Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. [nicolas.villavicencio@cu.ucsg.edu.ec](mailto:nicolas.villavicencio@cu.ucsg.edu.ec)

4 Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. [jesus.melendez@cu.ucsg.edu.ec](mailto:jesus.melendez@cu.ucsg.edu.ec)

### RESUMEN

Este artículo derivado de una investigación cuantitativa, de tipo cuasi experimental, planteó estudiar el uso del tiempo con la simulación del sistema de robótica industrial en la limpieza y selección de frutas. La población estuvo conformada por la cantidad diaria de unidades de mango (900) y piñas (700) procesadas en un periodo de 26 semanas de trabajo. La información provino de las estadísticas gestionadas y mantenidas por Agrocalidad, los datos unificados y consolidados por el Sistema de Información Nacional del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP) y la información que aportó la simulación de robótica industrial, implementada con software de ABB Robotics. Una vez obtenido el conjunto informativo se utilizó el paquete estadístico R 3.2.x. El grupo G1 estuvo conformado por 55 días de trabajo de una empacadora promedio. Mientras que el grupo G2 fue designado por los registros de tiempos empleados en las dos (2) partes del proceso de limpieza en los 55 días. Se concluye que el proceso tradicional manual de limpieza y selección de frutas, incrementa la cantidad de tiempo usado por unidad; mientras que en el proceso automatizado con robótica industrial, mantiene una tendencia a la estabilidad entre los 3,2 minutos para el mango y 2,7 minutos para la piña.

**PALABRAS CLAVES:** simulación robótica, limpieza y selección de frutas, uso efectivo del tiempo.

### ABSTRACT

This article, derived from a quantitative research, of a quasi-experimental type, proposed studying the use of time with the simulation of the industrial robotics system in the cleaning and selection of fruits. The population consisted of the daily quantity of mango (900) and pineapple (700) units processed in a period of 26 working weeks. The information came from the statistics managed and maintained by Agrocalidad, the data unified and consolidated by the National Information System of the Ministry of Agriculture, Livestock, Aquaculture and Fisheries (SINAGAP) and the information provided by the simulation of industrial robotics, implemented with software of ABB Robotics. Once the information package was obtained, the statistical package R 3.2.x. Group G1 consisted of 55 days of work by an average packing house. While group G2 was designated by the time records used in the two (2) parts of the cleaning process in the 55 days. It is concluded that the traditional manual process of cleaning and selection of fruits increases the amount of time used per unit; while in the automated process with industrial robotics, it maintains a tendency to stability between 3.2 minutes for the mango and 2.7 minutes for the pineapple.

**KEYWORDS:** robotic simulation, cleaning and fruit selection, effective use of time.

DOI: <http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v20i1.274>

RECIBIDO: 12/11/2018

ACEPTADO: 28/2/2019

## INTRODUCCIÓN

Los criterios técnicos para el desarrollo de los sistemas robóticos industriales, son cada vez más representativos en la industria alimentaria, como potencial de transformación de los procesos agroindustriales, que se corresponden a la tendencia aumentada de la eficiencia en la manipulación de alimentos y uso del tiempo. Por lo tanto, este tipo de procesamiento de acuerdo con Iqbal, Khan, & Azfar (2017) lo hace dinámico, higiénico y de mayor seguridad. En este sentido, la robótica ha revolucionado las distintas fases, operaciones y movimientos controlados mediante la programación de bucle secuencial con la implementación de software disponible para activar la cinemática de los robots y obtener trayectorias de movimientos flexibles e imágenes tridimensionales a partir de la adaptabilidad de un algoritmo de procesamiento (Bacheche, 2015).

En este entorno de ideas, los robots manipuladores se circunscriben al ámbito industrial por su flexibilidad, velocidad, precisión y capacidad de carga, que supera las operaciones rutinarias o peligrosas, en el escenario productivo de la automatización, que no solamente queda expuesta al control y monitoreo, sino que además, incluye el alcance eficiente de las metas financieras, comerciales y del conocimiento innovador (Sin & Gámiz, 2014).

De esta manera, la prospectiva de aplicación de la robótica en la industria de alimentos, cobra cada vez mayor empuje, al comprender el potencial de utilidad de los robots para transformar los procesos, encontrar soluciones efectivas y alternativas viables en las diferentes operaciones que garanticen la calidad. Situación que se corresponde además con la utilización de las múltiples cámaras de alta definición, las cuales identifican la posibilidad de defectos mediante el aprendizaje de robots.

Así se potencia la visión controlada al inspeccionar y controlar la calidad de vegetales y frutas (Iqbal, et al., 2017). Ello activa el razonamiento acerca del desafío técnico y tecnológico de este tipo de requerimientos industriales. Tal como expresa Ford (2015), al activar la capacidad de reconocer casi cualquier objeto en el sistema robótico centralizado en imágenes de actualización instantánea.

No obstante, este mismo autor hace énfasis en el hecho que esa tecnología pudiera transformar el mercado de trabajo y en última instancia, demandar cambios sociales, culturales, formativos, económicos y productivos fundamentales

que han de ser reconocidos al margen del discurso público. En este sentido, este artículo consideró el objetivo formulado para estudiar el uso del tiempo con la simulación del sistema de robótica industrial en la limpieza y selección de frutas, seleccionando así la metodología cuasi experimental en el aprovechamiento potencial del software Robot Studio en su versión 6.0.2 con los 2 tipos de robots industriales y el Código R 3.2.x.

## APORTES TEÓRICOS CONTRIBUTIVOS TECNICIDAD EN EL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS ROBÓTICOS

La inclusión de los sistemas robóticos en distintos escenarios laborales, optimiza los flujos de trabajo y reduce las cargas al incluir sus arquitecturas de control subyacente en la dinámica computacional lógica que combina la lectura funcional de control con perspectivas flexibles y procedimentales que desde el punto de vista cultural y técnica permiten descubrir nuevos enfoques y detectar mayor independencia. Según exponen Böhlen & Karppi (2017) las técnicas culturales ponen énfasis en la tecnicidad de los procesos de diseño, con diferentes materiales y métodos que producen resultados distinguidos, de carácter recursivo y entrelazado a la comprensión de lo que significa el procesamiento con resultados tecnológicos efectivos.

Es así como el desarrollo de las expresiones de sistemas robóticos es aprovechado en diversidad de fábricas y negocios en entornos productivos, desde la funcionabilidad del control y monitoreo del visor humano capacitado para la interpretación de los elementos animados o en movimientos, detectados como cambios, lo cual es fundamental para el éxito en la consecución de los fines del sistema. Es allí donde se manifiesta la interacción robots-humano, pues un agente artificial debe poseer un modo de comunicar al homólogo humano sobre el cambio de estado del sistema.

Así por ejemplo, se ha estudiado la aplicabilidad técnica de la robótica en el reconocimiento de lugares, de acuerdo con el estudio de Zhang, Wang, Zhao, & Su (2018) donde la visualización y mapeo simultáneo, fue considerado como características aprendidas automáticamente de los datos basados en gráficos, la combinación de características visuales extraídas de las redes neuronales convolucionales (CNN) y la información temporal de las imágenes en secuencia. Del mismo modo, indagaron Li, Liu, Gui, & Hu (2017), acerca del sistema de relocalización interior al implementar una red neuronal con-

volucional de doble flujo (CNN) con imágenes en color e imágenes de profundidad como entradas de red.

Igualmente, la robótica ha llegado a las consideraciones técnicas necesarias para el diseño de robots subacuáticos, ante la diversidad de aportes explicativos que van desde la inspección hasta el mantenimiento, limpieza de superficies y construcciones sumergidas, lo cual implica soluciones tecnológicas disponibles de gran capacidad de locomoción y adhesión a las superficies (Albitar, Dandan, & Ananiev, 2016). De forma similar, se ha determinado el provecho de la robótica en educación tal como lo señalan Gerber, Calasanz-Kaiser, Hyman, Voitiuk, Patil, & Riedel-Kruse (2017) al significar que los robots, en el manejo de líquidos, tienen muchas aplicaciones para la biotecnología y las ciencias de la vida, generando impacto positivo en la vida cotidiana. Mientras que la robótica lúdica, apoya significativamente iniciativas de este mismo campo en mecatrónica y programación.

Por lo tanto, la robótica en correspondencia con los argumentos de Stoy, Brandt, & Christensen (2010), ha venido abarcando diferentes campus y consideraciones de diseño de estrategias de control sobre la base de la construcción de módulos que se conectan de diferentes maneras entre sí, considerándolos como un sistema en entornos de adaptabilidad y optimización de las diferentes tareas. Ello, fundamenta el progreso de situaciones disponibles de la misma naturaleza hacia el procesamiento y manipulación de productos alimenticios. Particularmente, señalan Grift, Zhang, Kondo, & Ting (2008) que la tecnicidad en el desarrollo de los sistemas robóticos en las industrias de frutas, adquiere interés en la automatización que impulsa la aplicación de tecnología, frente al desafío de proporcionar alimentos abundantes y de calidad como campo de productividad, aumento de la comercialización y rendimiento.

### **ROBÓTICA EN LA LIMPIEZA Y SELECCIÓN DE FRUTAS**

Frente a la necesidad de superar los problemas de tiempo, eficiencia y eficacia que se detectan en el método manual de recolección de frutas, limpieza y selección, por la caracterización altamente intensiva en razón de las implicaciones que atañen a la mano de obra, se avizora la oportunidad de mejorar estos escenarios productivos industriales con la implementación de la robótica como sistema ideal competitivo.

En este sentido, el control de presión o fuerza como mecanismo de operaciones robóticas, resalta para la apropiación del control y manejo mediante programación de bucle secuencial a través de la computadora, de soluciones comerciales disponibles en el sistema de reconocimiento de cámaras infrarrojas de alta velocidad para capturar imágenes transferibles a los algoritmos de las mismas como atributos particulares que procesan y discriminan las frutas (Bacheche, 2015). Aunque el aspecto señalado se orienta a la mecanización de la agricultura, no obstante, el diseño conceptual, la unidad de selección y los elementos que implica la determinación de los puntos de agarre y corte, son fundamentos válidos que atraen hacia la caracterización hacia el ámbito industrial para la limpieza y selección de frutas.

Sobre tales requerimientos, Cempini, Fumagalli, Vitiello, & Stramigioli (2015), aportan elementos significativos en lo que tiene que ver con la variable rigidez en el fomento de la robótica, tomada en cuenta en la arquitectura del sistema, por la capacidad para abordar la interacción física con el cumplimiento ajustable en términos de seguridad, eficiencia y adaptabilidad. En esta misma perspectiva, resalta el condicionamiento de los diseños robóticos dentro de mecanismos técnicos, ante los cuales señalan Stolt, Linderoth, Robertsson, & Johansson (2015), lo que significa el diseño sistémico de un ensamblaje robótico que generalmente se implementa como una secuencia de movimientos simples, y las transiciones entre los movimientos realizados, cuando ocurren algunos eventos que pueden ser detectados con umbrales de señales, alcanzando así una respuesta más rápida al detectar el transitorio en esa señal.

De la misma manera, los atributos técnicos de la robótica aplicada a la manipulación aérea de objetos, fue parte de la investigación realizada por Kim, Seo, & Kim (2015), al abrir y cerrar un cajón desconocido cuya dirección del movimiento y propiedades mecánicas no se dan de antemano, al combinar el ejercicio de la fuerza deseada sobre el objeto detectado con una cámara. En esta misma perspectiva, se ofrecen oportunidades de la robótica implicada en diversas variables relacionadas con los procesos de consumo de energía, reducción de desechos y en torno del trabajador.

De esta forma, Singh, Philip, & MainakDas (2018), utilizaron la aplicabilidad técnica robótica en los parámetros de molienda, taladrado,

prestado y micro EDM para mejorar el carácter verde de la producción. Al revisar estos planteamientos investigados en el uso de la robótica en la industria alimentaria contemporánea y trasladar los beneficios en la prospectiva de las razones técnicas para su implementación en la limpieza y selección de frutas en el ámbito industrial, resalta su adopción en los términos que destacan Nayik, Muzaffar, & Gull (2015), al condicionar la vida útil de los alimentos, reducciones de costos y flexibilidad en el desafío de sistemas tecnológicos flexibles, higiénicos e inteligentes como sistemas que se diseñan, instalan y operan con miras a estos dispositivos programables y auto controlables diseñados en el campo específico de sus requerimientos en cuanto a la realización de tareas de fabricación específica deseables.

### **EVENTOS INDUSTRIALES EN LAS FASES DE SELECCIÓN Y LIMPIEZA DE FRUTAS**

El desarrollo de la industria de frutas exige el esfuerzo de las partes involucradas que permita alcanzar los procesos de selección, limpieza y clasificación de la materia prima, al ofrecer óptimos productos. Es allí donde se destaca la selección y clasificación, al llegar a la industria como escenario de procesamiento, donde se han de separar aquellas que han sufrido algún daño físico o que no estén al punto correcto de su maduración. Luego, el prelavado y lavado, permiten retirar las partes más evidentes que constituyen elementos adicionales no apropiados para su procesamiento.

Por tanto, es fundamental la utilización de tecnologías que contengan cepillos rotatorios en la parte inferior y aspersores de agua en la parte superior, a modo de asegurar la remoción de los posibles contaminantes (Díaz, 2015). El lavado es un paso de control crítico en la producción de frutas, cuya eficiencia determina un bajo recuento microbiano. El estropeado de las frutas, deben eliminarse antes de lavarlas pues permite minimizar la contaminación de las herramientas y equipos implementados en esta fase. Se deberían utilizar para ello, equipos tecnológicos diseñados según la forma, tamaño y fragilidad de las frutas, tales como limpiador de flotación y lavadora rotativa con atomizador superior.

Ahora bien, afirman de Farias & de Souza (2017) que la limpieza y la desinfección son fases diferentes y fundamentales para eliminar la carga microbiana de las frutas. La limpieza generalmente consiste en lavar las frutas con

agua para eliminar las impurezas y parte de la carga microbiana traída de las plantaciones, mientras que la desinfección generalmente se lleva a cabo con sustancias a base de cloro. Las frutas deben enjuagarse posteriormente para eliminar los residuos de hipoclorito. Por su parte, la separación y su almacenamiento a una temperatura y humedad adecuada permiten controlar el proceso de maduración y prolongar su vida útil, además de preservar las características físicas y sensoriales de las pulpas de frutas.

Igualmente, explican de Farias & de Souza (2017) que el procesamiento de la pulpa de la fruta se lleva a cabo con la ayuda de pulidores-finalizadores que contienen tamices con diferentes aberturas para separar las cáscaras, semillas y fibras de la pulpa. El *peeling* manual, implica que los manipuladores de alimentos entran en contacto directamente con las porciones internas de las frutas, lo que requiere higiene personal máxima y locales con sanidad. El pelado a mano también constituye una etapa adicional que consume tiempo de la producción de pulpa de fruta con alta probabilidad de deterioro microbiano y oxidación de la fruta, con la consecuente pérdida de nutrientes y color.

Sobre la fase de *peeling*, Sumonsiri, & Barringer (2014) la identifican como una fase crítica en el procesamiento de muchas frutas para eliminar las partes indeseables que son incomedibles o difíciles de digerir, y para mejorar la apariencia física del producto; por ello, la metodología eficiente del *peeling* permite eliminar la piel mínima para producir una mayor limpieza y superficie sin daños. De modo que, los cuidados y ajustes en los eventos industriales que centralizan las fases de selección y limpieza de frutas, que deben reconocerse como aspectos neurálgicos del procesamiento, contraponen el hacer y pensar empresarial acerca de las técnicas tradicionales y las pérdidas en cuanto al rendimiento óptimo de la materia prima.

Dadas estas exigencias ante la nueva realidad tecnológica emergente, de carácter menos destructiva, flexible y ajustada a las necesidades de los consumidores, Sumonsiri & Barringer (2014) recomiendan, la combinación de ultrasonido con otros métodos de tratamiento del agua como cloración y ozonización, al considerar estas técnicas como eficientes y económicamente viables, para eliminar todas las impurezas y prolongar la vida de la fruta además del mantenimiento de la calidad. Ahora bien, en muchos de estas fases se ha venido implementando la



robótica para resolver problemas de calidad y eficiencia a través de algoritmos propuestos que ejecutan los procesos en tiempo real, según modelos de funcionamiento desafiante en término de precisión, rapidez y robustez.

En este sentido, Gao, Ju, Cao, & Liu (2018) señalan situaciones relacionadas con el seguimiento de objetos aplicados en la interacción hombre-computadoras, vehículos autónomos y sistemas de vigilancia bajo el enfoque de modelado. Algunos métodos intentan combinar los modelos generativos y discriminativos, que a menudo pueden tratarse como un problema semi-supervisado. Un algoritmo de seguimiento típico consta de cuatro pasos: representación de objetos, mecanismo de búsqueda, resolución de modelos y actualización de modelos. Para rastreadores generativos recientes y rastreadores discriminativos, su paso clave es cómo adquirir una mejor apariencia de un objeto.

En concreto, allí están los eventos en las fases de selección limpieza de frutas que van de la mano con el potencial de la tecnología y la revolución robótica en las industrias para acelerar con precisión y calidad implementado en la arquitectura del sistema. En términos de la selección limpieza de frutas, Mohd & Ahmad (2016), resaltan la cosechadora de fruta suelta con rodillo cortante que conserva la materia prima sin esfuerzos tediosos y laboriosos. La invención es una caja de forma ovalada hecha de rodillo con un conjunto de alambres o varillas cortas que rueda con poca presión contra el suelo haciendo que estos se abran para adaptar la forma de la fruta.

También describen los mencionados autores, una nueva idea con mayor poder de succión, como la principal ventaja de la ciclónica de vacío, donde una forma cilíndrica crea una atmósfera ciclónica generando mínimo choque entre las frutas que allí son absorbidas. A medida que circulan dentro de la cámara, las frutas más pesadas caen al fondo mientras que los materiales más ligeros como las hojas secas son expelidos fuera del sistema. Estos efectos, crean mayor interés en la utilidad de la robótica para cada una de las fases que incluyen la selección limpieza de las frutas, en el ámbito industrial integrado con diversos mecanismos específicos controladores de movimiento, cantidad y calidad de la fruta que permiten seguir explorando a fondo la identificación de los beneficios programados para la disponibilidad automatizada de los procesos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología implementada fue de tipo cuasi-experimental, que según Hernández, Fernández, & Baptista (2010) es usualmente utilizado para estudios correlacionales. El cuasi-experimento se diferencia de los experimentos en que la asignación de participantes a los grupos no se hace en forma aleatoria, ni por emparejamiento. Los grupos están previamente confeccionados (grupos intactos). En estos casos, el chequeo explícito de la equivalencia inicial de los grupos es imprescindible para medir la validez interna. Las fuentes de información fueron las estadísticas gestionadas ante la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (Agrocalidad), los datos unificados y consolidados por el Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (SINAGAP) y los resultados generados por la simulación de robótica industrial.

## DISEÑO DEL ESTUDIO POBLACIÓN Y MUESTRA

Se desarrolló una solución de simulación de robótica industrial usando software de ABB Robotics (ABB, 2010), una vez obtenida la información generada por la simulación, se utilizó el paquete estadístico R 3.2.x. La población estuvo conformada por la cantidad diaria de unidades de mango (900) y piñas (700) procesadas por una empacadora promedio en un periodo de 26 semanas de trabajo (un semestre). La muestra no probabilística basada en sujetos-tipo, cuya elección se fundamentó en la necesidad de comprobación de causas relacionadas con las características que se desean analizar y considerar en el estudio, con tendencias sesgadas, justificada en estudios de carácter exploratorio (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010).

La población debió, cumplir las siguientes condiciones:

- Haber ejecutado el proceso de limpieza y selección dentro de la jornada laboral regular.
- Haber procesado únicamente mangos de entre 0,2 y 0,5 lb y piñas entre 0,7 y 1,2 lb.
- No haber registrado paradas de emergencia durante la jornada de limpieza y selección.
- No haber ejecutado jornadas especiales por feriados o días festivos que incrementen la demanda de limpieza y selección.

Muestra: La muestra de la investigación no debe ser menor del 25% de la población de estudio. Según Hernández, Fernández, & Baptista (2010) existe la “La muestra no probabilística” basada en “Sujetos - tipo” cuya elección se basa en la necesidad de comprobación de causas relacionadas con las características que se desean analizar en la investigación. Estas tienden a ser sesgadas y se justifican casi solo en estudios de carácter exploratorio. Los “sujetos - tipo” también se utilizan en estudios exploratorios e investigaciones de tipo cualitativo cuando el objetivo es la riqueza, profundidad y calidad de la información y no la cantidad y estandarización. Se utiliza, por ejemplo, en mercadotecnia seleccionando sujetos típicos a los que está dirigido un producto.

Para el cálculo de la muestra se usó la fórmula definida por (Gambarra, 1998).

$$N_0 = \frac{Z^2 Npq}{Z^2 pq (N - 1) d^2}$$

Donde:

p = probabilidad de éxito 0,5

q = probabilidad de fracaso 0,5

Z = unidades de error estándar con nivel de significancia del 95%

d = precisión 0,05

N = población compuesta por la cantidad diaria de unidades de mango (900 unidades) y piñas (700 unidades) procesadas por una empacadora promedio en un periodo de 26 semanas de trabajo (130 días).

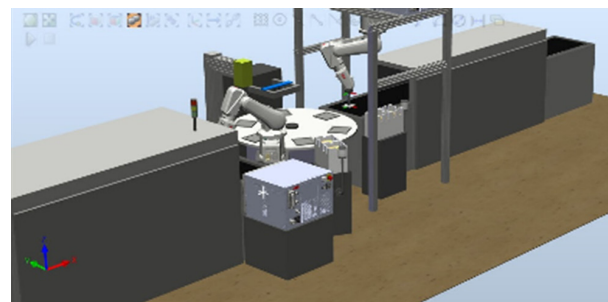
Considerando una población de 130 días de trabajo (26 semanas de 5 días laborables), con una precisión del 10% y una proporción de éxito y fracaso del 50% la muestra a ser considerada es de 55 días de trabajo.

El argumento de Gutiérrez & De la Vara (2004), se ajustó a la selección alternativa por comparación con otras técnicas, modelos o algoritmos, que permitió sustentar los resultados experimentales obtenidos al tomar como base las pruebas estadísticas de rigor, pruebas de los modelos o los algoritmos ideados en el ámbito internacional y aplicando experimentos y su análisis de forma objetiva con métricas especificadas como respuestas al modelo de simulación creado con otros existentes.

El grupo G1 estuvo conformado por 55 días de trabajo de una empacadora promedio, de donde se seleccionó la muestra sometida a la parametrización en la simulación del proceso limpieza y selección de frutas, dentro del mo-

delo industrialización de extracción de pulpa, definido por Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca/Agrocalidad (2004), usando el software ABB Robot Studio 6.0.2. Mientras que el grupo G2 estuvo conformado por los registros de tiempos empleados en las dos (2) partes del proceso de limpieza y selección en los 55 días seleccionados de la muestra sobre los cuales no se aplicaron nuevas actividades que impliquen el sistema de mejora o automatización mediante robótica industrial.

La representatividad robótica siguió la siguiente visualización que presenta el figura 1.



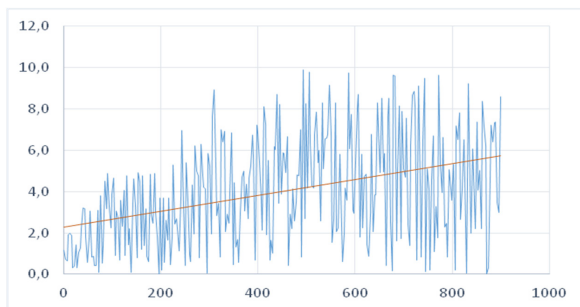
**Figura 1.** Simulación del Proceso de Limpieza y Selección usando ABB Robot Studio 6.0.2.

En este caso, se registraron simulaciones de tiempo del procesamiento manual de limpieza y selección de muestra por 55 días, considerando la normativa correspondiente a la calidad, al obtener un promedio de 900 unidades de mango y 700 unidades de piña procesados por día. Se ejecutó la simulación del proceso automatizado de limpieza y selección, usando el software ABB Robot Studio 6.0.2 en las 2 partes previamente parametrizadas. Los registros obtenidos en la actividad en los 55 días, se reemplazaron los datos obtenidos en la simulación de la actividad, en las 4 partes del proceso de limpieza y selección de frutas.

## RESULTADOS

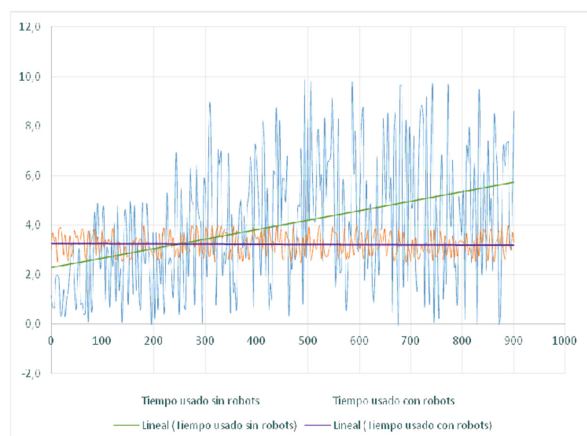
Se registraron simulaciones de tiempo del procesamiento manual de limpieza y selección de muestra por 55 días, considerando la normativa correspondiente a la calidad, al obtener un promedio de 900 unidades de mango y 700 unidades de piña procesadas por día. Se ejecutó la simulación del proceso automatizado de limpieza y selección, usando el software ABB Robot Studio 6.0.2 en las 2 partes previamente parametrizadas. Los registros obtenidos en la actividad en los 55 días, de forma manual se contrastaron con los datos obtenidos en la simulación de la actividad, en las 4 partes del proceso

de limpieza y selección de frutas. El análisis y representatividad de los datos se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Tiempo Promedio (en minutos) de la Limpieza y Selección de Mangos Vs Número de Unidades Procesadas por Día) en una empacadora promedio. Grupo G2 (Proceso Tradicional Manual).

Al aplicar técnicas de análisis los resultados generados por el software ABB Robot Studio 6.0.2 y los registros de la simulación en cuanto a los tiempos de limpieza y selección de una empacadora promedio, se consolidaron a través del uso del paquete o librería MASS, la cual contiene variadas funciones, herramientas y datos de las librerías de Modern Applied Statistics with S-PLUS (Venables & Ripley, 2002), de código R 3.2.x. Cada caso de estudio hace referencia a un grupo de estado inicial G2 (tiempo usado por fruta en limpieza y selección) y un grupo de estado final G1 (tiempo usado por fruta en limpieza y selección con robótica industrial) sobre los cuales se aplicación las técnicas de análisis seleccionadas, derivando la figura 3.



**Figura 3.** Tiempo Promedio (en minutos) de limpieza y selección de mangos. Grupo G2 (Proceso Tradicional Manual) Respecto al Grupo G1 (Proceso Usando Robótica industrial).

En el caso de los procesos considerados en la piña, el tiempo promedio por unidad para el proceso manual fue de 4,5 minutos comparado

con el proceso automatizado con robótica industrial que fue de 2,7 minutos disminuyendo en un 40,60% (disminución de 1 minuto y 48 segundos por unidad) en los tiempos promedio de limpieza y selección de la producción esperada en el grupo G2 con respecto al grupo G1. Por tanto, se evidenció que en el comportamiento del grupo G2, presentó una curva creciente en el tiempo a diferencia del comportamiento de la curva del grupo G1, la cual se mantiene estable en el tiempo debido a la participación de robots en las actividades de limpieza y selección.

Los resultados obtenidos distinguen que al consolidar los registros en forma diaria del grupo G1 y G2, en ambos tipos de fruta (mango y piña), para luego compararlos entre sí, bajo una relación cantidad de tiempo usado para limpieza y selección contra día de trabajo, se encontró que en ambos grupos se mantiene una relación directamente proporcional entre cantidad de fruta procesada por día y el tiempo usado para dicha actividad. En otras palabras, se evidencia que en el proceso tradicional manual, a mayor cantidad de frutas procesadas por día se incrementa la cantidad de tiempo usado por unidad en ese mismo día, mientras que, en el proceso automatizado con robótica industrial, sin importar la cantidad de fruta, se mantiene una tendencia estable sobre los 3,2 minutos para el mango y 2,7 minutos para la piña.

### DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados expuestos permiten concluir acerca de la posibilidad efectiva de mejora en el uso del tiempo industrial de procesamiento de selección y limpieza de frutas, pues el promedio de tiempo empleado por unidad, en el caso de la piña, disminuyó en un 1 minuto y 48 segundos, lo cual significa que el porcentaje de mejora fue del 40,60% mientras que, en el caso del mango, el tiempo promedio disminuyó en un 19,67%, que se corresponde con la disminución de 48 segundos por unidad con respecto al proceso manual. En este sentido, se alcanzó el cumplimiento del objetivo formulado para estudiar el uso del tiempo con la simulación del sistema de robótica industrial en la limpieza y selección de frutas.

Tal como lo reafirma Bachche (2015), al enfocarse en los desarrollos técnicos logrados hasta ahora en los dispositivos de selección y perspectivas futuras de los robots de recolección de frutas; así como también lo indica Chaffarzadeh (2018), al coincidir con la potencialidad de efectores, incluidos aquellos basados en

robótica suave, que se adaptan pasivamente a la forma de la fruta, involucrados con los algoritmos de agarre mejorados que respaldan el sistema de mejoras para impulsar esta tecnología con mayor fuerza industrial de innovación.

### CONCLUSIONES

Se concluye que la parametrización de simulaciones de procesos que usen robótica industrial, logran generar una línea base de conocimiento en los procesos de disminución de tiempo en la selección y limpieza de la piña y el mango, de fundamento científico aplicativo, que sirve de referente en este tipo de procedimientos innovadores. De esta forma, se determina la utilidad de la robótica industrial en el procesamiento óptimo de limpieza y selección, en el uso efectivo del tiempo, resalta los beneficios que esto representa para la industria.

Al consolidar los registros en forma diaria del grupo G1 y G2, en ambos tipos de fruta (mango y piña), y luego compararlos entre sí, con relación a la cantidad de tiempo utilizado para limpieza y selección contra día de trabajo, se encontró que en ambos grupos se mantiene una relación directamente proporcional, lo cual permite concluir que el proceso tradicional manual, incrementa la cantidad de tiempo usado por unidad; mientras que en el proceso automatizado con robótica industrial, mantiene una tendencia a la estabilidad entre los 3,2 minutos para el mango y 2,7 minutos para la piña.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albitar, H., Dandan, K., Ananiev, A., & Kalaykov, I. (2016). Underwater robotics: surface cleaning technics, adhesion and locomotion systems. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 13 (1). 1-14, <https://doi.org/10.5772/62060>.
- Bachche, S. (2015). Deliberation on design strategies of automatic harvesting systems: a survey. *Robotics*. 4 (2), 194-222; doi:10.3390/robotics4020194.
- Cempini, M., Fumagalli, M., Vitiello, N., & Stramigioli, S. (2015). A clutch mechanism for switching between position and stiffness control of a variable stiffness actuator. *Proceedings-IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 1017-1022. June 2015, doi: 10.1109/ICRA.2015.7139301
- de Farias, C., & de Souza, A. (2017). Tropical fruit pulps: processing, product standardization and main control parameters for quality assurance. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 60, May 11, 2017, <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2017160209>.
- Díaz, V. (2015). Frutas tropicales. Elaboración de pulpas, jugos y deshidratados. Cuadernillo tecnológico N° 12. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial/Delegación de la Comisión Europea en Argentina.
- Ford, M. (2015). *Rise of the robots. Technology and the threat of a jobless future*. New York: Basic Book.
- Gao, D., Ju, Z., Cao, J., & Liu, H. (2018). A novel object tracking method based on a mixture model. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*. August 17. 1-11, 2366-598X, <https://doi.org/10.1007/s41315-018-0062-x>.
- Gerber, L., Calasanz-Kaiser, A., Hyman, L., Voitiuk, K., Patil, U., Riedel-Kruse, I., (2017). Liquid-handling Lego robots and experiments for STEM education and research. *Journal Plos/Biology*. March 21, 2017, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2001413>
- Grift, T., Zhang, Q., Kondo, N., & Ting, K. (2008). A review of automation and robotics for the bioindustry. *Journal of Biomechatronics Engineering*. 1 (1). 37-54.
- Gutiérrez, H y De la Vara, R. (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGrawHill.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. (5ª ed.). México: McGraw Hill.
- Iqbal, J., Khan, Z., & Khalid, A. (2017). Prospects of robotics in food industry. *Food Science and Technology*. Campinas. 37 (2). 159-165. April-June 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.14616>.
- Kim, S., Seo, H., & Kim, H. (2015). Operating an unknown drawer using an aerial manipulator. *Proceedings-IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 5503-5508. June 2015, doi: 10.1109/ICRA.2015.7139968.
- LaViers, A., Cuan, K., Maguire, C., Bradley, K., Mata, K., Nilles, A., Vidrin, I., Chakraborty, N., Heimerdinger, M., Huzaifa, U., McNish, R., Pakrasi, I., & Zurawski, A. (2018). Choreographic and somatic approaches for the development of expressive robotic systems. *Arts*. 7 (11). 2-21, doi:10.3390/arts7020011.
- Li, R., Liu, Q., Gui, J., & Hu, H. (2017). Indoor relocalization in challenging environments with dual-stream convolutional neural networks. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. (99).1-12. March 2017, doi: 10.1109/TASE.2017.2664920.
- Majid, I., Nayik, G., & Nanda, V. (2015). Ultrasonication and food technology: A review.



- Journal Cogent Food & Agriculture. 1 (1), doi: 10.1080/23311932.2015.1071022
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca/Agrocalidad. (2004). *Resolución DAJ-2014203-0201.0133*. Quito: Autor.
- Mohd, N., & Ahmad, A. (2016). Roller picker robot (ropicot 1.0) for loose fruit collection system. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11 (14). July, 2016, ISSN 1819-6608.
- Nayik, G., Muzaffar, K., & Gull, A. (2015). *Robotics and Food Technology: A Mini Review*. *Journal Nutrition & Food Sciences*. 5, 384. doi: 10.4172/2155-9600.1000384.
- ABB Robotics. (2010). *Operating manual robotstudio*. 5.13. Sweden: Autor, ID: 3HAC032104-001.
- Sin, S., & Gámiz, J. (2014). La robótica industrial en el ámbito de la automatización global: estado actual y tendencias. *Técnica Industrial. Revista cuatrimestral de ingeniería, industria e innovación*. Fundación Técnica Industrial. TI 306. Junio 2014. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-5832-la-robotica-industrial-ambito-automatizacion-global--actual-tendencias.aspx>.
- Singh, A., Philip, D., & MainakDas, J. (2018). A simulation based approach to realize green factory from unit green manufacturing processes. *Journal of Cleaner Production*. 182. May 1. 67-81, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.025>.
- Stolt, A., Linderoth, M., Robertsson, A., & Johansson, R. (2015). Detection of contact force transients in robotic assembly. *Proceedings-IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 962-968. June 2015, doi: 10.1109/ICRA.2015.713929
- Stoy, K., Brandt, D., & Christensen, D. (2010). *Self-reconfigurable Robots*. Cambridge: MIT Press. ISBN: 9780262013710.
- Sumonsiri, N., & Barringer, S. (2014). Fruits and vegetables-processing technologies and applications. En: Clark, S., Jung, S and Lamsal, B. (2014) (Edit.). *Food processing: principles and applications*. (2<sup>a</sup> ed.). Washington: John Wiley. 368-381.
- Venables, W., & Ripley, B. (2002). *Modern applied statistics with S*. (4<sup>a</sup> ed.). Luxemburgo: Springer.
- Zhang, X., Wang, L., Zhao, Y., & Su, Y. (2018). Graph-based place recognition in image sequences with CNN features. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. August, 2018, doi: 10.1007/s10846-018-0917-2