



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Creada por Ley N° 29304

COMISIÓN ORGANIZADORA

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"



RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

N° 420-2026-CCO-UNJ

Jaén, 09 de julio de 2026.

VISTO:

La Carta N° 001-2026/SAVH, de fecha 13 de abril de 2026; Carta N° 001-2026/JEOG, recepcionado con fecha 16 de abril de 2026; Carta N° 042-2026-UNJ/VPI-DIITT, de fecha 21 de abril de 2026; Carta N° 0017-2026/UNJ/FI/DAIME-FFM, de fecha 22 de abril de 2026; Carta N° 0020-2026/UNJ/FI/DAIME-FFM, recepcionado con fecha 24 de abril de 2026; Informe N° 014-2026-UNJ/VPI-DIITT/UGI/JCMJ, recepcionado con fecha 28 de abril de 2026; Oficio N° 094-2026-UNJ/VPI-DIITT, recepcionado con fecha 04 de mayo de 2026; Oficio N° 671-2026-UNJ-CO-VPI, de fecha 28 de mayo de 2026; Carta N° 0027-2026/UNJ/FI/DAIME-FFM, de fecha 02 de junio de 2026; Informe N° 103-2026-UNJ/VPI, de fecha 18 de junio de 2026; Oficio N° 356-2026-SG-UNJ, de fecha 23 de junio de 2026; Informe Legal N° 408-2026-UNJ/P/OAJ, recepcionado con fecha 02 de julio de 2026; Acuerdo N° 051-2026-SO-CCO-UNJ, de Sesión Ordinaria N° 026-2026-SO-CCO-UNJ, de fecha 09 de julio de 2026, y;

CONSIDERANDO:

Que, conforme al Cuarto párrafo del Artículo 18° de la Constitución Política del Estado, concordante con el Artículo 8° de la Ley N° 30220 Ley Universitaria, así como con el Artículo 6° del Estatuto de la Universidad Nacional de Jaén, el Estado reconoce la autonomía Universitaria en su régimen normativo, de gobierno, académico, investigación administrativo y económico;

Que, a través del Artículo 48° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que: "La investigación constituye una función esencial y obligatoria de la universidad, que la fomenta y realiza, respondiendo a través de la producción de conocimiento y desarrollo de tecnologías a las necesidades de la sociedad, con especial énfasis en la realidad nacional. Los docentes, estudiantes y graduados participan en la actividad investigadora en su propia institución o en redes de investigación nacional o internacional, creadas por las instituciones universitarias públicas o privadas";

Que, mediante el Artículo 29° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, señala que: "La Comisión Organizadora tiene a su cargo la aprobación del estatuto, reglamentos y documentos de gestión académica y administrativa de la universidad, formulados en los instrumentos de planeamiento, así como su conducción y dirección hasta que se constituyan los órganos de gobierno, de acuerdo a la citada Ley";

Que, el numeral 5.2 de la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU, de fecha 27 de julio de 2021, modificado por Resolución Viceministerial N° 055-2022-MINEDU, y la Resolución Viceministerial N° 053-2023-MINEDU, establece que, la comisión Organizadora tiene a su cargo la aprobación del estatuto, reglamentos y documentos de gestión académica y administrativa de la universidad, formulados en los instrumentos de planeamiento; así como, la conducción y dirección de la universidad hasta la constitución de los órganos de gobierno;

Que, mediante el literal 1.1 del numeral 1 del Artículo IV del Título Preliminar del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, referente al Principio de Legalidad, establece que: "Las autoridades administrativas deben actuar con respeto a la Constitución, a la Ley y al derecho, dentro de las facultades que le estén atribuidas y de acuerdo con los fines para los que les fueron conferidas";

Que, a través de la Resolución de Vicepresidencia de Investigación N° 035-2021-UNJ, de fecha 14 de enero del 2021, se resuelve APROBAR los esquemas y rúbricas del Proyecto de Investigación, e Informe Final de Investigación, con el objetivo de establecer la orientación necesaria para estandarizar la estructura, evaluación y gestión de proyectos docente en nuestra institución;

Que, mediante la Resolución N° 115-2021-CO-UNJ, de fecha 29 de abril de 2021, se resuelve APROBAR el Reglamento General del Fondo Editorial de la Universidad Nacional de Jaén;



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Creada por Ley N° 29304

COMISIÓN ORGANIZADORA

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"



N° 420-2026-CCO-UNJ

09-JULIO-2026

Que, a través del Artículo 1° del Reglamento General del Fondo Editorial de la Universidad Nacional de Jaén, establece que: "La Universidad Nacional de Jaén (UNJ), dentro de sus funciones considera la publicación y la promoción de las obras escritas o digitales, como resultado de la producción intelectual de investigadores en las diversas áreas del conocimiento, priorizando los productos que por su calidad científica y su carácter humanista representen un apoyo a la actividad docente, estudiantil y contribuyan a la solución de los problemas del país";

Que, mediante el Artículo 15° del Reglamento General del Fondo Editorial de la Universidad Nacional de Jaén, señala que: "Los aspectos no previstos en el presente reglamento serán resueltos por la Dirección de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica, en coordinación con la Vicepresidencia de Investigación de la UNJ";

Que, con la Resolución N° 256-2023-CO- UNJ, de fecha 08 de junio de 2023, se resuelve APROBAR el Reglamento de Originalidad y/o Grado de Similitud de los Trabajos de Investigación con Software Antiplagio de la Universidad Nacional de Jaén, cuyo objeto es establecer el grado de la similitud de los trabajos de investigación, con el fin de incentivar, fortalecer la calidad académica, desarrollo científico y prevenir el riesgo de plagio en los documentos académicos, trabajos de investigación, tesis de pregrado, posgrado, producción académica y artículos científicos de la revista científica realizados por miembros de la comunidad universitaria;

Que, mediante la Carta N° 001-2026/SAVH, de fecha 13 de abril de 2026, el Mg. Silverio Ali Valdivia Hernández-Revisor Externo comunica al Director de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica, que, después de realizar la revisión del Trabajo de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)", otorga opinión favorable para su aprobación, para los fines pertinentes;

Que, con la Carta N° 001-2026/JEOG, recepcionado con fecha 16 de abril de 2026, el Mg. Julio Elit Oliva Guevara-Revisor Externo comunica al Director de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica, que, después de realizar la revisión del Proyecto de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)", otorga opinión favorable para su aprobación y posterior ejecución, para los fines pertinentes;

Que, a través de la Carta N° 042-2026-UNJ/VPI-DIITT, de fecha 21 de abril de 2026, el Director de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica remite al Mg. Frans Fuentes Maza, la conformidad correspondiente a la revisión efectuada por los pares externos del Proyecto de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)", para su conocimiento y fines que estime pertinente. Asimismo, deberá subsanar las observaciones del citado Proyecto y remitir la versión corregida al correo institucional de la DIITT;

Que, con la Carta N° 0017-2026/UNJ/FI/DAIME-FFM, de fecha 22 de abril de 2026, el Mg. Frans Fuentes Maza en calidad de Presidente de la Unidad del Fondo Editorial de la Universidad Nacional de Jaén remite al Director de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica, el levantamiento de observaciones formuladas del Trabajo de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)" señaladas en la Carta N° 001-2026/JEOG, Carta N° 001-2026/SAVH y Carta N° 042-2026-UNJ/VPI-DIITT. Adjuntando la versión corregida del Trabajo de Investigación citado, así como la documentación de sustento correspondiente, a fin de continuar con el trámite que corresponda;

Que, mediante la Carta N° 0020-2026/UNJ/FI/DAIME-FFM, recepcionado con fecha 24 de abril de 2026, el Mg. Frans Fuentes Maza solicita al Responsable de la Unidad de la Gestión de Investigación,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Creada por Ley N° 29304

COMISIÓN ORGANIZADORA

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"



N° 420-2026-CCO-UNJ

09-JULIO-2026

derivar al área correspondiente para la aprobación del Trabajo de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)", mediante acto resolutivo de la Comisión Organizadora;

Que, con el Informe N° 014-2026-UNJ/VPI-DIITT/UGI/JCMJ, recepcionado con fecha 28 de abril de 2026, el Responsable de la Unidad de la Gestión de Investigación informa al Director de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica, que el Proyecto de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)" ha cumplido con los requisitos establecidos y con subsanar las observaciones planteadas por los Evaluadores externos, por lo que, solicita su aprobación mediante el acto resolutivo correspondiente, de modo que pueda iniciar la ejecución del mismo;

Que, a través del Oficio N° 094-2026-UNJ/VPI-DIITT, recepcionado con fecha 04 de mayo de 2026, el Director de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica remite al Vicepresidente de Investigación, la solicitud de aprobación del Proyecto de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)" mediante acto resolutivo, a fin de que se sirva disponer las acciones pertinentes para la atención del trámite solicitado;

Que, con el Oficio N° 671-2026-UNJ-CO-VPI, de fecha 28 de mayo de 2026, el Vicepresidente de Investigación remite al Mg. Frans Fuentes Maza, Dr. Gary Charly García Guevara, Dr. Diomer Marino Jara Llanos y Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano, las observaciones y sugerencias formuladas en el presente documento al Trabajo de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)", por lo que, solicita tener en consideración, así como las consignadas en el ejemplar impreso, y remitir la versión corregida del proyecto a fin de continuar con el trámite correspondiente;

Que, mediante la Carta N° 0027-2026/UNJ/FI/DAIME-FFM, de fecha 02 de junio de 2026, el Mg. Frans Fuentes Maza remite al Vicepresidente de Investigación, el levantamiento de sugerencias al Trabajo de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)", presentado por los docentes Mg. Frans Fuentes Maza, Dr. Gary Charly García Guevara, Dr. Diomer Marino Jara Llanos y Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano. Adjuntando la versión corregida del citado Trabajo de Investigación, para su aprobación mediante acto resolutivo;

Que, con el Informe N° 103-2026-UNJ/VPI, de fecha 18 de junio de 2026, el Vicepresidente de Investigación informa al Presidente de la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Jaén, respecto al Informe Final del Proyecto de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)", que: "De la revisión de la normativa vigente, la Vicepresidencia de Investigación, en el marco de las funciones establecidas en el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) de esta Casa Superior de Estudios, relacionadas con la supervisión de las actividades de investigación, aseguramiento de la calidad de los trabajos académicos y científicos, se verifica que:

- El Informe Final del Proyecto del Investigación cumple con el esquema y la rúbrica indicado en la Resolución de Vicepresidencia de Investigación N° 035-2021-UNJ.
- El Informe Final del Proyecto del Investigación ha cumplido con el proceso de revisión por pares correspondiente, contando con opiniones favorables para su aprobación, de acuerdo al Reglamento General del Fondo Editorial.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Creada por Ley N° 29304
COMISIÓN ORGANIZADORA
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"



N° 420-2026-CCO-UNJ

09-JULIO-2026

- El Informe Final del Proyecto de Investigación cumple con el porcentaje máximo permitido de similitud (no mayor al 20%) según el Reglamento de Originalidad y/o Grado de Similitud de los Trabajos de Investigación con software Antiplagio, reportando una similitud aceptable del 5%.
- Asimismo, se verifica que los autores han presentado sus respectivas declaraciones juradas de ausencia de conflicto de intereses, requeridas por la Dirección de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica en ejercicio de sus competencias para garantizar la transparencia del proceso de revisión, en concordancia con el artículo 15° del Reglamento General del Fondo Editorial.

Por lo que, dicho Informe Final del Proyecto de Investigación ha cumplido con el procedimiento establecido en las normativas señaladas en la base legal, recomendando:

- Elevar el presente informe a la Presidencia de la Comisión Organizadora, a fin de que sea sometido a consideración en Sesión Ordinaria para la aprobación mediante acto resolutivo.
- Que las resoluciones de aprobación sean notificadas oportunamente a la Vicepresidencia de Investigación, así como a la Dirección de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica, a fin de consolidar y mantener actualizada una base de datos institucional que permita el adecuado registro, seguimiento y gestión de las actividades de investigación desarrolladas en la Universidad";

Que, mediante el Oficio N° 356-2026-SG-UNJ, de fecha 23 de junio de 2026, la Secretaria General solicita al Jefe de la Oficina de Asesoría Jurídica, emitir informe legal sobre aprobación del Informe Final de Proyecto de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)";

Que, a través del Informe Legal N° 408-2026-UNJ/P/OAJ, recepcionado con fecha 02 de julio de 2026, el Jefe de la Oficina de Asesoría Jurídica informa a la Secretaria General, que: "Es PROCEDENTE la aprobación del Informe Final del Proyecto de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)" mediante acto resolutivo, presentado por los docentes Mg. Frans Fuentes Maza, Dr. Gary Charly García Guevara, Dr. Diomer Marino Jara Llanos y Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano, sin perjuicio de las verificaciones documentarias señaladas en las recomendaciones siguientes:

- Elevar el presente Informe Legal a la Secretaría General, para que sea puesto en conocimiento de la Presidencia de la Comisión Organizadora, a fin de que se proceda del acto resolutivo de aprobación del Informe Final del Proyecto de Investigación, conforme a lo recomendando por la Vicepresidencia de Investigación en el Informe N° 103-2026-UNJ/VPI.
- Disponer que, una vez emitido el acto resolutivo de aprobación, este sea notificado oportunamente a los autores, a la Vicepresidencia de Investigación y a la Dirección de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica (DIITT), para fines de registro, seguimiento y actualización de la base de datos institucional de investigación, conforme a lo recomendado en el Informe N° 103-2026-UNJ/VPI";

Que, el pleno de la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Jaén, en Sesión Ordinaria N° 026-2026-SO-CCO-UNJ, de fecha 09 de julio de 2026, emite el siguiente: Acuerdo N° 0511-2026-SO-CCO-UNJ, por **UNANIMIDAD**, APROBAR, el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado "Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)" conforme al tenor de la parte resolutive. NOTIFICAR a la Vicepresidencia de Investigación, Dirección de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica y a las instancias correspondientes para su conocimiento y fines;

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Artículo 18°, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220-Ley Universitaria: "Disposiciones para la Constitución y Funcionamiento de las Comisiones Organizadoras de las Universidades Públicas en Proceso de Constitución", aprobada



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Creada por Ley N° 29304
COMISIÓN ORGANIZADORA
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"



N° 420-2026-CCO-UNJ

09-JULIO-2026

mediante Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU, modificada con Resolución Viceministerial N° 055-2022-MINEDU y Resolución Viceministerial N° 053-2023-MINEDU, el Estatuto de la Universidad Nacional de Jaén, aprobado mediante Resolución N° 304-2020-CO-UNJ, de fecha 29 de setiembre de 2020, y; conforme a las atribuciones conferidas mediante Resolución Viceministerial N° 098-2026-MINEDU, de fecha 28 de mayo de 2026;

SE RESUELVE:

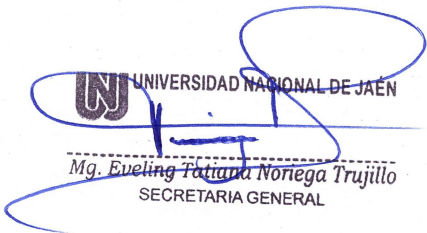
ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el Informe Final del Proyecto de Investigación conforme al siguiente cuadro resumen:

DOCUMENTO ACADÉMICO	TÍTULO	ORIGINALIDAD Y/O GRADO DE SIMILITUD	DOCENTES AUTORES
Informe Final del Proyecto de Investigación	Implementación de un Prototipo Automatizado para la Optimización del Procesamiento de Conserva de Ciruelas (Spondias purpurea)	5%	• Mg. Frans Fuentes Maza • Dr. Gary Charly García Guevara • Dr. Diomer Marino Jara Llanos • Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano

ARTÍCULO SEGUNDO.- NOTIFICAR a la Vicepresidencia de Investigación, Dirección de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica y a las instancias correspondientes para su conocimiento y fines.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER LA PUBLICACIÓN en el Portal Web Institucional de la Universidad Nacional de Jaén www.unj.edu.pe

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y CÚMPLASE;


UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Mg. Eveling Tatiana Noriega Trujillo
SECRETARIA GENERAL


UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
COMISIÓN ORGANIZADORA
Dr. Abel Melchor García Bazán
PRESIDENTE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA
LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE CONSERVA DE
CIRUELAS (*Spondias purpurea*).**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Autores: Mg. Frans Fuentes Maza

Dr. Gary Charly García Guevara

Dr. Diomer Marino Jara Llanos

Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano

Línea de Investigación: LI_IIA_02- Desarrollo y Caracterización de Productos

Jaén – Perú, junio 2026

106



Contenido

I.	DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
1.1.	Título.....	4
1.2.	Área de investigación	4
1.3.	Línea de investigación	4
1.4.	Tipo de investigación.....	4
1.5.	Personal Investigador	4
1.6.	Localidad de ejecución	4
	Resumen	5
II.	INTRODUCCIÓN	6
2.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	7
2.2.	Formulación del problema.....	8
2.3.	Justificación	9
2.4.	Objetivos	10
2.4.1.	Objetivo general	10
2.4.2.	Objetivos específicos.....	10
2.5.	Antecedentes	11
2.6.	Marco Teórico	14
III.	METODOLOGÍA	18
3.1.	Enfoque, tipo y nivel de investigación	18
3.2.	Ámbito de estudio	19
3.3.	Población y muestra	19
3.4.	Variables de estudio.....	19
3.5.	Instrumentación, medición y calibración básica.....	20
3.6.	Procedimiento de evaluación.....	21



3.7. Análisis de datos	21
3.8. Procedimiento de la investigación.....	21
IV. RESULTADOS.....	24
V. DISCUSIÓN	30
VI. CONCLUSIONES	34
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
VIII. Agradecimiento	38
IX. Anexos	38
9.1. Algoritmo	38
9.2. Algoritmo de Simulación en Python del proceso	46





I. DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1. Título

Implementación de un prototipo automatizado para la optimización del procesamiento de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*).

1.2. Área de investigación

Tecnología de Alimentos.

1.3. Línea de investigación

LI_IIA_02- Desarrollo y Caracterización de Productos.

1.4. Tipo de investigación

Investigación aplicada tecnológica.

1.5. Personal Investigador

- Mg. Frans Fuentes Maza
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5280-8173>
- Dr. Gary Charly García Guevara
Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-7662-4229>
- Dr. Diomer Marino Jara Llanos
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9177-5578>
- Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1425-3757>

1.6. Localidad de ejecución

Yanuyacu Alto, Jaén 06801, Cajamarca, Perú



Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo implementar un prototipo automatizado basado en sistemas embebidos para optimizar las etapas de clasificación, pesado, lavado y homogenizado en el procesamiento de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*). La investigación surgió frente a las limitaciones del procesamiento tradicional, caracterizado por baja eficiencia, alta variabilidad y escaso control de variables críticas. Se desarrolló un sistema automatizado con sensores, actuadores y un microcontrolador para controlar en tiempo real variables de color, peso, tiempo y temperatura. El estudio metodológicamente tuvo un enfoque cuantitativo y de tipo aplicada tecnológica, con un diseño de evaluación comparativa entre el proceso tradicional y el proceso automatizado. La evaluación técnica del prototipo se realizó mediante cuatro criterios: clasificación correcta de frutos aptos, aceptación de peso mínimo de 90 g, cumplimiento del tiempo mínimo de lavado de 5 min y verificación del homogenizado a 90 °C durante al menos 15 s. Los indicadores que se evaluaron fueron el tiempo de procesamiento por etapa, el error porcentual en la clasificación, el pesado, y la eficiencia general del sistema. Los resultados mostraron una reducción del tiempo total de procesamiento de 155 s a 72 s, equivalente a una mejora del 53.55 %. Asimismo, el error de clasificación disminuyó de 15 % a 5 %, y el error de pesado de 10 % a 4 %, mejorando la precisión y la uniformidad del producto final. En conclusión, el prototipo automatizado evidenció la viabilidad técnica para optimizar el procesamiento de conserva de ciruelas, reducir errores de selección y fortalecer la productividad agroindustrial en contextos locales.



II. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria atraviesa un proceso de modernización tecnológica orientado a incrementar la eficiencia, seguridad y control de sus operaciones. Bajo el enfoque de la Industria 4.0, se integran recursos como sensores inteligentes, sistemas embebidos, inteligencia artificial e Internet de las Cosas (IoT), los cuales permiten monitorear variables del proceso, generar información en tiempo real y mejorar la toma de decisiones. En consecuencia, estas herramientas contribuyen a optimizar la producción, fortalecer la trazabilidad, elevar la calidad del producto final y reducir pérdidas y costos asociados a la cadena productiva (Hassoun et al., 2023; Zatsu et al., 2024). En ese sentido, los procesos de automatización son elementos importantes y claves dentro de los sistemas agroindustriales, especialmente en aquellos que presentan limitaciones operativas y tecnológicas.

El procesamiento de ciruelas mediante conservas constituye una alternativa para aprovechar los excedentes agrícolas y reducir las pérdidas postcosecha, contribuyendo a la seguridad alimentaria como al desarrollo económico local. Sin embargo, en muchos lugares principalmente rurales estos procesos aún son realizados de forma manual, lo que viene generando disminución de la calidad del producto, baja eficiencia en las operaciones y un uso poco adecuado de los recursos disponibles. Ante esta situación, la incorporación e integración de nuevas tecnologías automatizadas en pequeñas y medianas unidades productivas aparece como una alternativa viable para optimizar el control de los procesos y mejorar la estandarización del producto final (Paladino et al., 2019).

Diversos estudios han demostrado que la automatización permite un manejo y control más preciso de variables críticas como el tiempo, la temperatura y otros parámetros fisicoquímicos, lo que se traduce en productos más uniformes, seguros y de mayor calidad (Alghannam, 2012).

En esa misma línea, la integración de sensores y tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (IoT) permite el monitoreo y control continuo de los



procesos en tiempo real, lo que permite una toma de decisiones más eficiente y oportuna, además de la reducción de desperdicio de materia prima (Adeleke et al., 2023).

Según lo mencionado, el presente trabajo de investigación, titulado "Implementación de un prototipo automatizado para la optimización del procesamiento de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*)", se plantea como objetivo implementar un sistema automatizado que integre sensores, actuadores y una placa de control embebida, enfocada a mejorar las etapas de clasificación, pesado, lavado y homogenizado. De esta forma, se busca incrementar la eficiencia del proceso productivo, asegurar la calidad del producto final y contribuir a la modernización de la agroindustria mediante el uso de tecnologías accesibles y adaptables a las condiciones locales de producción.

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La producción de ciruela (*Spondias purpurea*), en el Perú representa una actividad agrícola con potencial económico significativo; sin embargo, su aprovechamiento agroindustrial es lento debido a la escasa implementación de tecnologías en las etapas de transformación. En épocas de sobreoferta, gran parte de la producción se pierde, alcanzando niveles de desperdicio entre el 40% y 50%, lo que evidencia deficiencias en la gestión postcosecha y en la industrialización de esta fruta. Esta problemática coincide con estudios que señalan que la falta de tecnologías adecuadas en la cadena agroalimentaria incrementa las pérdidas y reduce la eficiencia productiva (Hassoun et al., 2023).

En la provincia de Jaén, la problemática se intensifica debido a que el procesamiento de ciruelas, específicamente en la elaboración de conservas, se realiza mediante procesos manuales y tradicionales. Estas prácticas presentan limitaciones como errores en la clasificación de la materia prima, variaciones en el pesado, uso ineficiente del agua durante el lavado y elevados tiempos en el proceso de homogenizado, lo que afecta directamente la calidad, uniformidad e inocuidad del producto final. Investigaciones recientes han demostrado que los procesos tradicionales y



manuales en la industria alimentaria generan alta variabilidad y menor control de calidad en comparación con sistemas automatizados (Alghannam, 2012).

Asimismo, la poca implementación de sistemas automatizados limita a tener un control preciso de variables críticas como el tiempo, la temperatura y condiciones fisicoquímicas, lo cual impacta en la calidad del producto final y reduce su competitividad en el mercado. Diversos estudios han demostrado que el uso de sensores y sistemas embebidos permite monitorear y controlar estos parámetros en tiempo real, mejorando significativamente la eficiencia y la calidad en el procesamiento de alimentos (Adeleke et al., 2023).

Por otro lado, la limitada implementación de tecnologías en pequeñas y medianas empresas enfocadas al rubro de la agroindustria restringe su capacidad para cumplir con estándares de calidad y responder de manera adecuada a la creciente demanda de productos procesados seguros y uniformes. El uso de sistemas automatizados ha demostrado ser una alternativa efectiva para optimizar procesos, reducir desperdicios y mejorar la trazabilidad en la industria alimentaria (Paladino et al., 2019).

En este contexto, se evidencia la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas accesibles que permitan mejorar el procesamiento de la ciruela en conserva. Por ello, se plantea el diseño, construcción y desarrollo de un prototipo automatizado orientado a optimizar las etapas de clasificación, pesado, lavado y homogenizado, con el fin de reducir las pérdidas postcosecha, mejorar la calidad del producto final y fortalecer la competitividad de los productores locales, mediante la integración de componentes electrónicos, sensores y sistemas de control que permitan una operación más eficiente, precisa y estandarizada del proceso.

2.2. Formulación del problema

¿En qué medida la implementación de un prototipo automatizado mejora la eficiencia, estandarización y calidad del procesamiento de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*)?

2.3. Justificación

Desde un enfoque tecnológico, el procesamiento de conserva de ciruelas en muchos contextos agroindustriales, especialmente en zonas rurales, continúa realizándose mediante métodos tradicionales con un bajo nivel de automatización. Estos métodos o prácticas dependen en gran medida de la intervención manual en los procesos de selección, el pesado, el lavado y la homogenización, lo que crea variabilidad en el proceso y limita el control de las variables operativas. En contrario, en entornos industriales avanzados se implementan y emplean sistemas automatizados y tecnologías basadas en sensores que permiten mejorar la precisión, la repetibilidad y el control del proceso productivo. Es así que la implementación de un sistema automatizado basado en plataformas embebidas permite disminuir la brecha tecnológica, adaptando soluciones innovadoras a contextos locales con recursos limitados.

Desde un contexto agrícola y productivo, el proceso de elaboración de conservas que no cuente con un control adecuado de variables como la temperatura, tiempo, etc. puede generar inconsistencias en la calidad del producto final, tales como variaciones en textura, peso, limpieza y homogenización. El uso de estas tecnologías mediante la implementación de un sistema automatizado permite optimizar de manera significativa estas etapas críticas, mejorando la eficiencia operativa, reduciendo los errores humanos y garantizando una mayor estandarización y estabilidad del proceso, lo que contribuye directamente a la obtención de un producto de mejor calidad.

Desde una perspectiva social, la automatización de los procesos agroindustriales en pequeñas y medianas etapas productivas favorece al desarrollo local, fortaleciendo los procesos tecnológicos de los productores y promoviendo la adopción de innovaciones. Teniendo en cuenta lo antes mencionado la implementación de tecnologías accesibles como sistemas automatizados basados en microcontroladores favorece la transferencia tecnológica y mejora la competitividad de los productores, generando

oportunidades de crecimiento económico y sostenibilidad en las comunidades.

Desde un enfoque económico, la implementación de la automatización de las etapas del proceso de elaboración de conservas permite optimizar el uso de recursos como agua, materia prima y tiempo, reduciendo pérdidas y costos operativos. Además de mejorar la calidad y uniformidad del producto final, lo que permite el incremento de su valor en el mercado, favoreciendo la rentabilidad del proceso productivo.

En ese sentido el presente trabajo de investigación se justifica por su aporte tecnológico, productivo, social y económico, al proponer la implementación de la automatización del procesamiento de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*), mejorando la eficiencia, estandarización y calidad del producto final.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Implementar un prototipo automatizado basado en sistemas embebidos para optimizar el proceso de clasificación, pesado, lavado y homogenizado en la elaboración de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*).

2.4.2. Objetivos específicos

- a) Diseñar el sistema automatizado para el control de las etapas de clasificación, pesado, lavado y homogenizado de la conserva de ciruelas.
- b) Construir el prototipo automatizado mediante la integración de componentes electrónicos, sensores, actuadores y elementos mecánicos.
- c) Programar el sistema embebido para el control y monitoreo de las variables del proceso.
- d) Analizar el desempeño del sistema automatizado mediante la comparación del proceso tradicional y el proceso automatizado.

2.5. Antecedentes

Desde una perspectiva internacional, la automatización en la industria alimentaria ha sido ampliamente investigada como un elemento clave dentro del enfoque de la Industria 4.0. Estudios actuales destacan que la implementación e integración de tecnologías como sensores inteligentes, inteligencia artificial, robótica e Internet de las Cosas (IoT) permite optimizar los procesos productivos, mejorar la calidad del producto final y reducir las pérdidas en la cadena de suministro (Hassoun et al., 2023).

Dadhaneeya et al. (2023) analizaron el Internet de las Cosas aplicado al procesamiento de alimentos en el contexto de la Industria 4.0. Los autores señalan que las tecnologías IoT permiten el monitoreo en tiempo real de parámetros críticos, la adquisición continua de datos, la optimización de procesos y la mejora de la eficiencia operativa en plantas alimentarias. Este antecedente se relaciona con el presente estudio, debido a que el prototipo automatizado propuesto integra sensores y un sistema embebido para controlar variables como color, peso, tiempo y temperatura durante el procesamiento de conserva de ciruelas.

Olorunfemi et al. (2024) desarrollaron una revisión sistemática y bibliométrica sobre los avances de la visión artificial para la clasificación y graduación de frutas. El estudio destaca que los sistemas de visión artificial y procesamiento de imágenes permiten mejorar la precisión, la uniformidad y la evaluación objetiva de la calidad en productos agrícolas. Este antecedente es pertinente para la etapa de clasificación de la materia prima, ya que la propuesta busca reducir la subjetividad del proceso manual mediante criterios automatizados de selección.

Da Costa et al. (2023) evaluaron tecnologías de monitoreo en tiempo real enfocado a reducir pérdidas y desperdicios en el proceso alimentario, donde se evidencia que el uso de sensores e IoT permite obtener datos en línea del proceso, mejorar la trazabilidad y apoyar la toma de decisiones durante las etapas de producción y conservación, respaldando la importancia de implementar sistemas automatizados accesibles en procesos agroindustriales locales.



El uso de tecnología como la visión artificial, permite mejorar de manera eficiente la clasificación y selección de productos agrícolas, logrando la mayor precisión y uniformidad en comparación con métodos manuales (Kim & Kim, 2024). En ese sentido Adeleke et al. (2023) plantean que el uso de sensores y tecnologías IoT en procesos alimentarios permite monitorear variables críticas como temperatura, humedad y composición fisicoquímica en línea, optimizando el control del proceso y reduciendo desperdicios.

Chakraborty et al. (2023) desarrollaron una máquina automática de clasificación y graduación de frutas cítricas en tiempo real, integrando lavado, visión artificial, pesado, sistema embebido y mecanismos de separación, donde se señala que el uso conjunto de cámara, celda de carga, algoritmos de clasificación, actuadores y diseño mecánico permite automatizar operaciones postcosecha como lavado, selección por color y clasificación por peso.

Rizzo et al. (2023) realizaron la clasificación automática de madurez de frutas, demostrando que la evaluación manual suele depender del criterio del operador, consume tiempo y puede generar errores, donde se destaca los métodos automáticos basados en aprendizaje automático y aprendizaje profundo permiten mejorar la objetividad de la clasificación. Este antecedente respalda la necesidad de automatizar la selección de ciruelas destinadas al procesamiento de conservas.

Zhu et al. (2021) analizaron la aplicación de visión artificial y aprendizaje profundo en el procesamiento de alimentos, destacando su utilidad para clasificación, detección de defectos, evaluación de calidad y separación de impurezas. Este antecedente sustenta la incorporación de tecnologías automatizadas en procesos agroindustriales donde se busca mejorar la eficiencia, uniformidad y control del producto final.

Las investigación sobre el control automatizado en alimentos indican que la implementación de sistemas inteligentes mejora de manera significativa la eficiencia, la seguridad alimentaria y la consistencia del producto, permitiendo reducir la intervención humana y los errores asociados al proceso (Alghannam, 2012). Así también, el uso de tecnologías como el uso

de sensores ultrasónicos ha demostrado ser eficaz para el control de calidad en alimentos en tiempo real (Giacomozzi et al., 2024).

La incorporación de tecnologías para pequeñas y medianas unidades productivas sigue siendo limitada debido a restricciones de inversión, infraestructura y capacitación técnica. No obstante, existen estudios que señalan que los sistemas de monitoreo y control basados en sensores, microcontroladores e IoT pueden mejorar el proceso operativo, la trazabilidad y la calidad del producto (Da Costa et al., 2023; Dadhaneeya et al., 2023; Paladino et al., 2019).

Es así que la incorporación de la automatización sigue siendo limitada en unidades productivas de baja escala, específicamente cuando predominan procesos manuales, pocos instrumentos y bajo control de variables críticas. Es por ello que se justifica el desarrollo de prototipos accesibles orientados a automatizar etapas específicas del proceso, como clasificación, pesado, lavado y homogenizado (Hassoun et al., 2023; Paladino et al., 2019).

En el ámbito de la implementación del trabajo de investigación, la producción de ciruela (*Spondias purpurea*) constituye una actividad agrícola con potencial agroindustrial; pero su transformación aún presenta limitaciones asociadas al uso de métodos artesanales y bajo nivel de automatización.

Silva et al. (2025) evaluaron frutos de ciruela *Spondias purpurea* L. en varios estados de maduración, considerando características como la cinética de secado, modelamiento matemático y caracterización de calidad, evidenciando la importancia de considerar el estado de madurez de la fruta como un factor relevante en procesos agroindustriales.

En la producción de conservas de ciruela en la localidad, presenta varias limitaciones, como clasificación incorrecta, errores en el pesado, uso abundante de agua en el lavado y tiempos altos en el homogenizado, lo que genera productos con baja uniformidad y calidad variable. Estas variables y condiciones influyen directamente la competitividad de los productores locales, quienes no logran cumplir con estándares de calidad exigidos en mercados locales.

En ese sentido, la falta de tecnologías automatizadas implementadas a contextos locales evidencia una brecha tecnológica importante, lo que limita el aprovechamiento integral de la ciruela y el desarrollo de la agroindustria en la región. Por ello, resulta importante implementar soluciones tecnológicas accesibles, como prototipos automatizados, que permitan optimizar los procesos productivos, mejorar la calidad del producto final y reducir las pérdidas postcosecha.

2.6. Marco Teórico

a) Automatización en la industria alimentaria

El proceso de la automatización consiste en el uso de tecnologías que permiten realizar etapas con mínima intervención humana, mejorando la eficiencia, precisión y productividad. En la industria alimentaria, cada día es más importante porque permite contribuir a elevar la calidad, la seguridad y la uniformidad de los productos. La incorporación de sensores, sistemas embebidos, robótica e inteligencia artificial permite optimizar la producción, disminuyendo errores humanos y costos operativos (Hassoun et al., 2023).

b) Sistemas embebidos y sensores en procesos alimentarios

Los sistemas embebidos son componentes o módulos electrónicos desarrollados para realizar funciones específicas dentro de un sistema mayor, integrando hardware y software para el control adecuado de los procesos. Desde la industria de alimentos estos sistemas permiten automatizar operaciones mediante el uso de sensores y actuadores. El uso de sensores permite la medición de variables como temperatura, peso, color y flujo, ayudando al monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones. Estudios recientes destacan que la implementación de sensores e Internet de las Cosas (IoT) mejora de forma significativa el control de procesos y la eficiencia productiva (Adeleke et al., 2023).

c) Procesamiento de conservas de frutas

El proceso de conservación de frutas permite prolongar la vida útil de los alimentos mediante procedimientos térmicos y soluciones conservantes, abarcando fases como selección, lavado, pesado, cocción y almacenamiento. Cuando estas fases se realizan manualmente, pueden

generar variaciones en la calidad, riesgos de contaminación y pérdidas de materia prima (Paladino et al., 2019).

d) Clasificación automática de frutas

La clasificación de frutas es una fase clave que influye en la calidad final del producto. Al realizarse manualmente pueden darse errores, mientras que el uso de sensores y visión artificial permite automatizarla, logrando mayor precisión, uniformidad y eficiencia (Kim & Kim, 2024).

La clasificación automática de frutas puede realizarse mediante sensores, visión artificial y algoritmos de procesamiento de datos, permitiendo evaluar características externas como color, tamaño, forma, madurez y presencia de defectos. Rojas Santelices et al. (2025) señalan que los sistemas de visión artificial aplicados a la inspección y clasificación de frutas permiten identificar configuraciones de hardware, técnicas de procesamiento de imágenes y métodos de clasificación orientados a garantizar la calidad del producto.

La clasificación automática de frutas permite evaluar atributos físicos visibles como color, tamaño, forma, madurez y defectos superficiales. Chuquimarca et al. (2024) señalan que la inspección externa de frutas mediante modelos CNN considera parámetros como color, forma, tamaño y defectos, los cuales permiten categorizar productos agrícolas según niveles de calidad.

Palumbo et al. (2023) indican que los sistemas de visión por computadora basados en imágenes convencionales permiten evaluar de forma no destructiva defectos externos, cambios de color y atributos de calidad en frutas y hortalizas.

e) Procesamiento Térmico

El procesamiento térmico es una operación fundamental en la conservación de alimentos, debido a que permite mejorar la inocuidad, prolongar la vida útil y mantener características de calidad cuando se controlan adecuadamente el tiempo y la temperatura. En su investigación Vidigal et al. (2023) señalan que los tratamientos térmicos en frutas influyen sobre sus propiedades fisicoquímicas y reológicas, por lo que el control de temperatura

durante el homogenizado resulta esencial para asegurar un proceso estable y reproducible.

f) Sistemas de pesado automatizado

El pesado es una fase importante en el procesamiento de alimentos porque asegura porciones o lotes uniformes. Los sistemas automatizados con celdas de carga permiten mediciones precisas, reducen errores humanos y mejoran la eficiencia, garantizando la consistencia del producto final.

g) Sistemas de lavado automatizado

El lavado de la ciruela permite la eliminación de impurezas y microorganismos; al realizar la automatización se optimiza el uso de agua, se mejora la eficiencia y se garantiza una limpieza uniforme y segura.

h) Automatización

La automatización es el uso de tecnología para ejecutar procesos con poca intervención humana, mejorando la eficiencia, calidad y seguridad (Hassoun et al., 2023).

i) Clasificación de materia prima

Proceso mediante el cual se seleccionan las frutas según características como color, tamaño o estado de madurez. En este proyecto la clasificación se realiza mediante sensores de color para asegurar uniformidad en el producto final. Estudios indican que la clasificación automatizada mejora la precisión y reduce errores humanos (Kim & Kim, 2024).

j) Pesado automatizado

Es el proceso de medición precisa de la masa de un producto mediante sensores como celdas de carga, permitiendo estandarizar porciones y reducir errores manuales. La automatización del pesado mejora la eficiencia y la consistencia en procesos industriales (Khan et al., 2019).

k) Lavado de alimentos

Etapa del procesamiento destinada a eliminar suciedad, microorganismos y contaminantes presentes en la superficie de las frutas. En sistemas automatizados se optimiza el uso de agua y se garantiza una limpieza

uniforme. Sistemas automatizados permiten mejorar la higiene y reducir riesgos de contaminación (Paladino et al., 2019).

l) Homogeneización

Proceso mediante el cual se obtiene una mezcla uniforme de los componentes del producto, garantizando consistencia en textura, sabor y apariencia. El control automatizado de temperatura y tiempo mejora la calidad del producto final (Neverov et al., 2023).

m) Sensores

Son dispositivos que detectan cambios en variables físicas, como temperatura, color, peso o flujo, y los convierten en señales eléctricas para su procesamiento. En el presente estudio, permiten registrar variables críticas del proceso, proporcionando información al sistema embebido para ejecutar acciones de control sobre las etapas de clasificación, pesado, lavado y homogenizado. Los sensores son componentes clave para el monitoreo en tiempo real y la mejora de procesos alimentarios (Adeleke et al., 2023).

n) Sistema embebido

Sistema electrónico programable diseñado para cumplir funciones específicas dentro de un proceso, integrando hardware y software. En este proyecto, el microcontrolador coordina sensores y actuadores. Estos sistemas permiten automatizar procesos con alta precisión y bajo costo (Neverov et al., 2023).

o) Actuadores

Dispositivos que convierten señales eléctricas en acciones físicas (movimiento, bombeo, apertura, etc.), como motores, bombas o servomotores utilizados en el prototipo. Son esenciales para ejecutar las acciones dentro de sistemas automatizados.

p) Internet de las Cosas (IoT)

Tecnología que permite la conexión de dispositivos físicos a internet para recopilar y transmitir datos en tiempo real. En la industria alimentaria facilita

el monitoreo remoto y la toma de decisiones. Mejora la eficiencia y el control de procesos productivos (Adeleke et al., 2023).

q) Trazabilidad

Capacidad de seguir el historial, ubicación y aplicación de un producto a lo largo de la cadena productiva. Es fundamental para garantizar la calidad e inocuidad alimentaria. La automatización mejora la trazabilidad mediante el registro continuo de datos (Hassoun et al., 2023).

r) Inocuidad alimentaria

Condición que garantiza que los alimentos no causarán daño al consumidor cuando se preparen y consuman correctamente. Los sistemas automatizados reducen riesgos de contaminación y mejoran la seguridad alimentaria (Paladino et al., 2019).

III. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque, tipo y nivel de investigación

- El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada tecnológica, con diseño de desarrollo tecnológico y evaluación comparativa del desempeño. Se orientó al diseño, construcción, programación e implementación de un prototipo automatizado para optimizar el procesamiento de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*). La evaluación comparó el proceso tradicional y el proceso automatizado mediante indicadores técnicos como tiempo de procesamiento, error porcentual en clasificación y pesado, eficiencia global y cumplimiento de criterios operativos de validación.

El diseño fue de desarrollo tecnológico con evaluación comparativa, debido a que se implementó un prototipo funcional y se analizó su desempeño frente al procedimiento tradicional.

- **Tipo de investigación:** La investigación es de tipo aplicada tecnológica, debido a que se orienta al diseño, construcción e implementación de un prototipo automatizado como solución concreta para mejorar el proceso de elaboración de conserva de ciruelas. Este enfoque busca resolver un problema práctico mediante el uso de tecnologías como sensores, actuadores y sistemas embebidos.

- **Diseño de investigación:**

El diseño correspondió a desarrollo tecnológico con evaluación comparativa, debido a que se implementó un prototipo funcional y se analizó su desempeño frente al procedimiento tradicional. La comparación se realizó mediante indicadores técnicos como tiempo de procesamiento, error porcentual en clasificación y pesado, eficiencia global y cumplimiento de criterios operativos de validación.

3.2. **Ámbito de estudio**

La investigación se desarrolló en Yanuyacu Alto, distrito de Jaén, provincia de Jaén, región Cajamarca. El ámbito de aplicación correspondió a unidades productivas agroindustriales dedicadas al procesamiento de frutas para conservas, con énfasis en la transformación de ciruela roja (*Spondias purpurea*).

3.3. **Población y muestra**

- **Población:**

La población estuvo conformada por los productores y unidades agroindustriales dedicadas al procesamiento de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*) en Yanuyacu Alto, distrito de Jaén durante el año 2026.

- **Muestra:**

La muestra estuvo integrada por dos productores seleccionados mediante muestreo no probabilístico intencional. Los criterios de selección fueron: experiencia previa en el procesamiento de conserva de ciruelas, disponibilidad para permitir la observación del proceso tradicional y participación en la prueba del sistema automatizado. La unidad de análisis fue el desempeño técnico del proceso en sus etapas de clasificación, pesado, lavado y homogenizado.

3.4. **Variables de estudio**

Variable	Indicadores	Unidad / criterio
Independiente	Sistema automatizado para el procesamiento de conserva de ciruelas	Implementado / no implementado

Dependientes	Tiempo por etapa, error en clasificación, error en pesado, eficiencia global	s, %, comparación tradicional vs. automatizado
Criterios de validación	Peso mínimo, tiempo de lavado, temperatura y tiempo de homogenizado	≥ 90 g; ≥ 5 min; ≥ 90 °C y ≥ 15 s
Variable rendimiento del proceso (%)	Porcentaje de producto útil obtenido respecto a la materia prima inicial procesada	kg

3.5. Instrumentación, medición y calibración básica

El prototipo integró un sensor de color APDS9960 para la clasificación de la materia prima, una celda de carga con módulo HX711 para el pesado, un sensor DS18B20 para el control de temperatura y servomotores y actuadores para la ejecución secuencial del proceso. Antes de cada sesión de prueba se realizó la tara y ajuste de escala de la celda de carga; el sensor de color se verificó mediante umbrales RGB definidos en la programación del sistema; y el sensor de temperatura se comprobó mediante lectura previa de funcionamiento para asegurar que activara el control térmico en el rango establecido. La evaluación del desempeño del prototipo se efectuó registrando el tiempo de cada fase, el cumplimiento de los umbrales operativos y el error porcentual observado en la clasificación y el pesado.

La materia prima fue las ciruelas (*Spondias purpurea*) seleccionadas en su estado de madurez comercial, teniendo en cuenta frutos suficientemente desarrollados y maduros, pero no sobremaduros para el procesamiento. Se priorizaron frutos con epidermis de color naranja a rojo, con predominio de madurez intermedia-avanzada (grados 4–5), contenido de sólidos solubles de 12–13 °Brix, tamaño homogéneo cercano a 36 mm de diámetro polar y 30 mm de diámetro ecuatorial, y estado físico adecuado para soportar las etapas de clasificación, lavado y procesamiento.

Criterios establecidos:

- Color: naranja a rojo uniforme; 60–90% de pigmentación superficial.
- Tamaño: diámetro polar ≈ 36.0 mm; diámetro ecuatorial 30.4–30.5 mm.
- Peso: 14.65–14.82 g por fruto.

- Estado físico: frutos intactos, sanos, limpios, sin daño mecánico, sin signos de deterioro y no sobre maduros.

3.6. Procedimiento de evaluación

La evaluación del procesamiento se realizó siguiendo la secuencia real de trabajo empleada en la elaboración de la conserva. Inicialmente, se identificó y describió el procedimiento tradicional, considerando las etapas de recepción de la materia prima, clasificación por color, pesado, lavado, homogenizado y almacenamiento. Luego, se puso en funcionamiento el prototipo automatizado, manteniendo la misma secuencia operativa, pero bajo control programado. Durante la clasificación, el sistema permitió separar los frutos verdes o no aptos para el proceso. En la etapa de pesado, se verificó que la cantidad de materia prima cumpliera con el umbral mínimo establecido de 90 g. Posteriormente, en el lavado, se controló el tiempo mínimo de 5 min, mientras que en el homogenizado se comprobó que la mezcla alcanzara una temperatura mínima de 90 °C durante 15 s. Finalmente, los resultados obtenidos en ambos procedimientos fueron comparados con el propósito de evaluar la mejora del sistema automatizado en términos de eficiencia, precisión y uniformidad operativa..

3.7. Análisis de datos

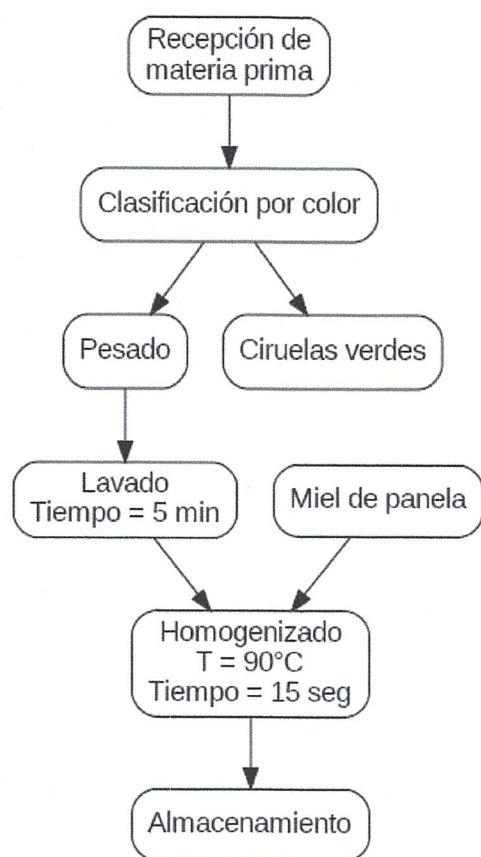
El análisis se realizó con estadística descriptiva. Se compararon los tiempos de procesamiento por etapa, el tiempo total, el error porcentual del sistema y la eficiencia global. Además, se calcularon diferencias absolutas y mejoras porcentuales entre el proceso tradicional y el automatizado. Debido al carácter prototípico del estudio y al tamaño reducido de la muestra, el análisis se orientó a la validación técnica y comparativa del sistema, por lo que no se aplicaron pruebas inferenciales.

3.8. Procedimiento de la investigación

La metodología del proyecto se desarrolló en varias etapas secuenciales orientadas al diseño e implementación de un sistema automatizado.

Figura 1

Proceso de elaboración de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*)



El proceso de elaboración de conserva de ciruelas inicia con la recepción de la materia prima, donde se verifica el estado físico y la calidad de las ciruelas recolectadas. Posteriormente, se realiza la clasificación por color, separando las ciruelas verdes o no aptas, con el fin de asegurar la uniformidad del producto final.

A continuación, se lleva a cabo el pesado de la materia prima, permitiendo determinar la cantidad exacta de insumo que será procesado y garantizando control en la dosificación.

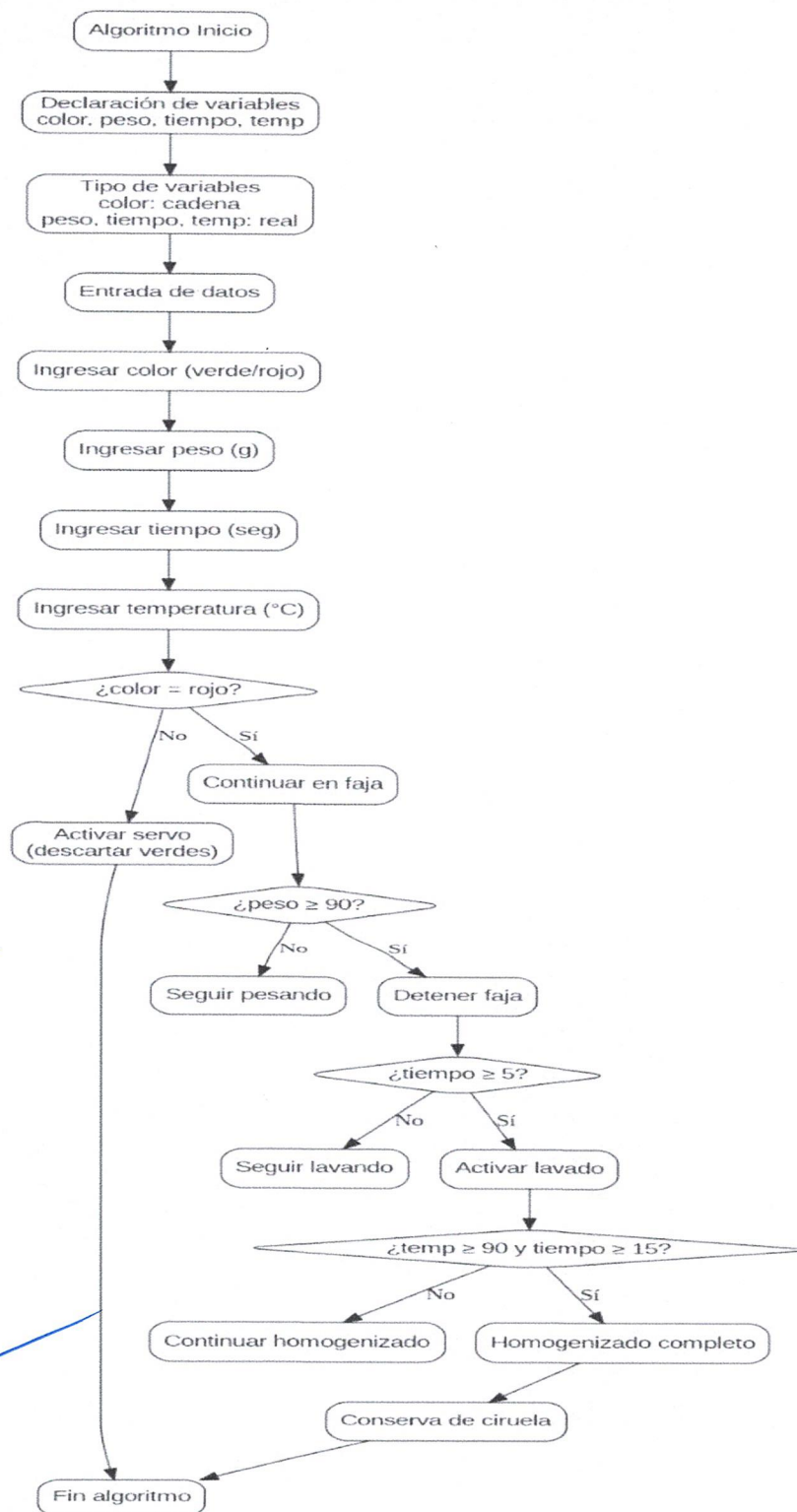
Seguidamente, las ciruelas pasan a la etapa de lavado, en la cual se eliminan impurezas, suciedad y posibles contaminantes. Este proceso se realiza durante un tiempo aproximado de 5 minutos, asegurando condiciones higiénicas adecuadas.

Posteriormente, se realiza el homogenizado, donde se incorpora miel de panela como insumo adicional. En esta etapa, la mezcla es sometida a una temperatura de 90 °C durante 15 segundos, permitiendo la integración de los componentes y contribuyendo a la conservación del producto.

Finalmente, el producto obtenido pasa a la etapa de almacenamiento, donde se conserva en condiciones adecuadas para su posterior distribución o consumo.

Figura 2

Flujo de procesamiento del sistema automatizado.



Según la Figura 2, el sistema inicia con las siguientes etapas:

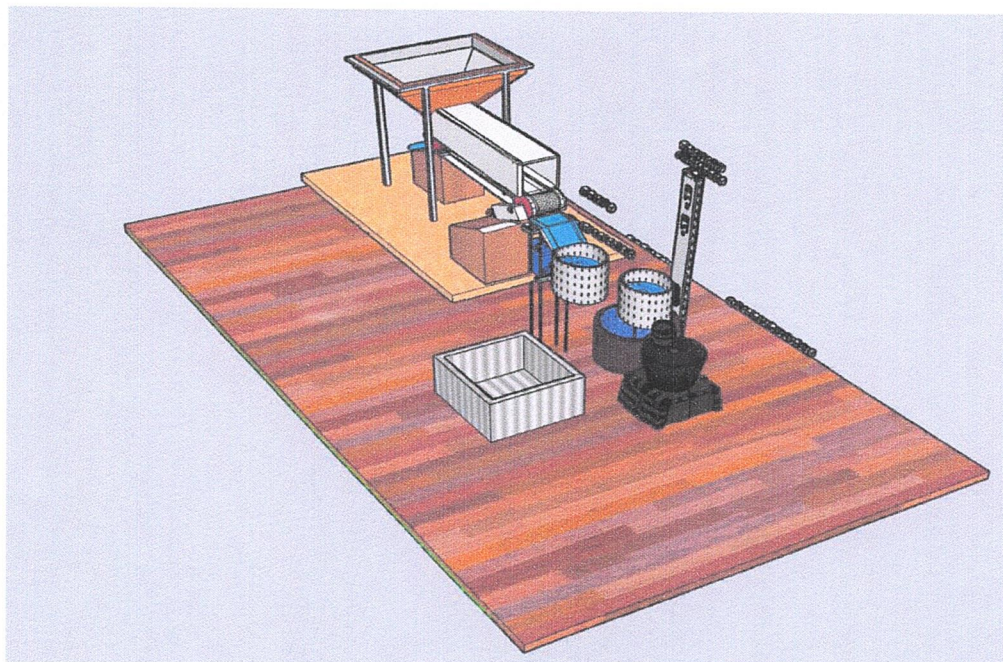


1. La activación del sistema que controla todo el proceso automatizado.
2. **Definición de variables:**
Se establecen las variables: color, peso, tiempo y temperatura.
3. **Ingreso de datos:**
Se introducen los datos necesarios del proceso (color, peso, tiempo y temperatura).
4. **Clasificación por color:**
Se separan las ciruelas; las verdes son descartadas y las rojas continúan.
5. **Verificación de peso:**
Se evalúa si el peso es adecuado (≥ 90 g) para continuar el proceso.
6. **Control de lavado:**
Se verifica el tiempo de lavado y se asegura que cumpla con el mínimo requerido.
7. **Activación del lavado:**
Se ejecuta el lavado una vez cumplido el tiempo establecido.
8. **Proceso de homogenizado:**
Se controla la temperatura (≥ 90 °C) y el tiempo (≥ 15 s) para garantizar la calidad.
9. **Obtención del producto final:**
Se obtiene la conserva de ciruela lista y finaliza el proceso.

IV. RESULTADOS

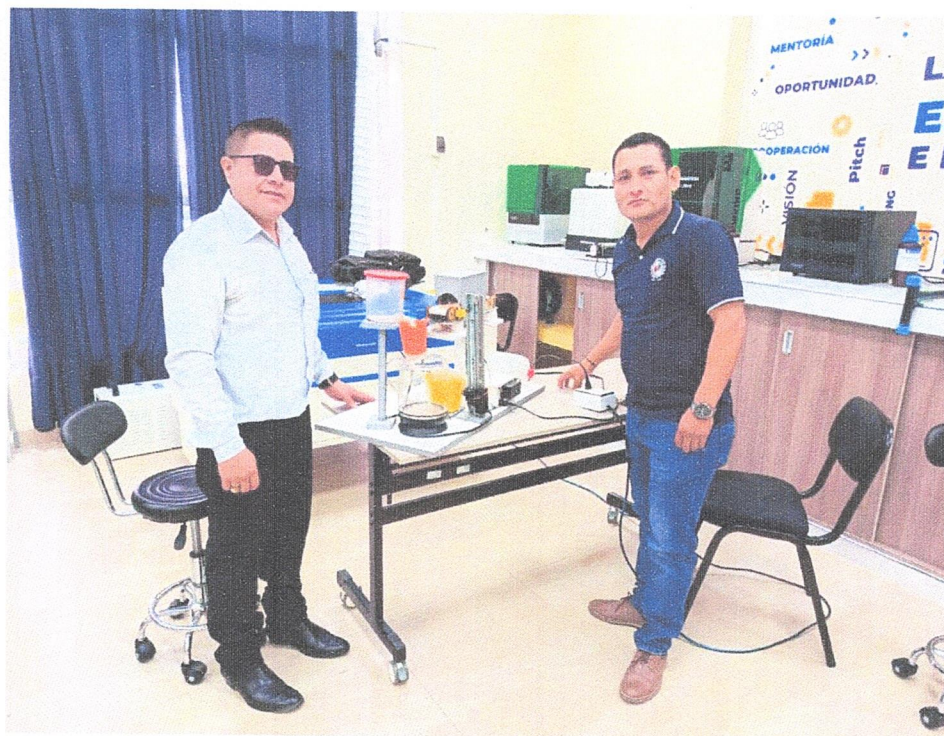
En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación y evaluación del prototipo automatizado diseñado para el procesamiento de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*). El análisis se centra en la comparación del desempeño del sistema automatizado frente al proceso tradicional, considerando variables clave como la eficiencia operativa, el tiempo de procesamiento, la precisión en el pesado y la uniformidad del producto final.



Figura 3**Diseño inicial del prototipo**

La imagen muestra el modelo 3D del prototipo automatizado para el procesamiento de conserva de ciruelas, con sus principales componentes integrados en una secuencia de alimentación, conducción, procesamiento y recolección del producto.

Figura 4**Construcción e integración final del sistema automatizado**



Las imágenes muestran la etapa de ensamblaje, integración y verificación física del prototipo automatizado para el procesamiento de conserva de ciruelas. Se observa el montaje de los componentes mecánicos, eléctricos y de control sobre una mesa de trabajo, así como la interacción de los investigadores durante las pruebas de funcionamiento del sistema. Estas evidencias muestran el proceso de implementación práctica del prototipo y la validación preliminar de su operatividad en condiciones de laboratorio.



Lavado	50.00
Homogenizado	50.00

Tabla 4

Evaluación global del sistema.

Indicador	Valor
Tiempo total tradicional (s)	155
Tiempo total automatizado (s)	72
Eficiencia global (%)	53.55

Figura 6

Comparación de tiempos por etapas

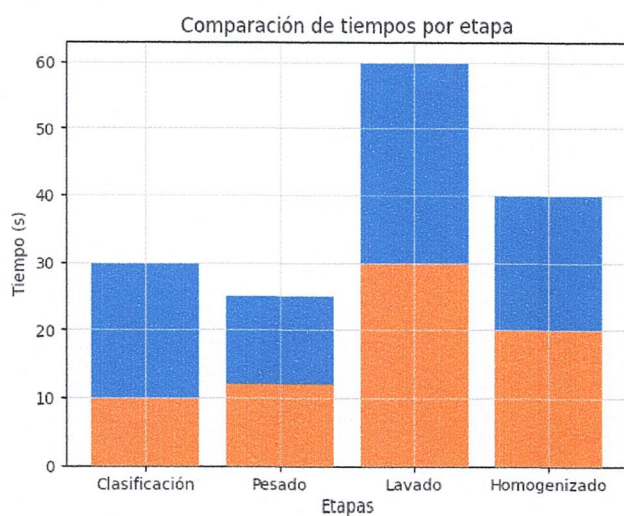


Figura 7

Comparación de precisión del sistema

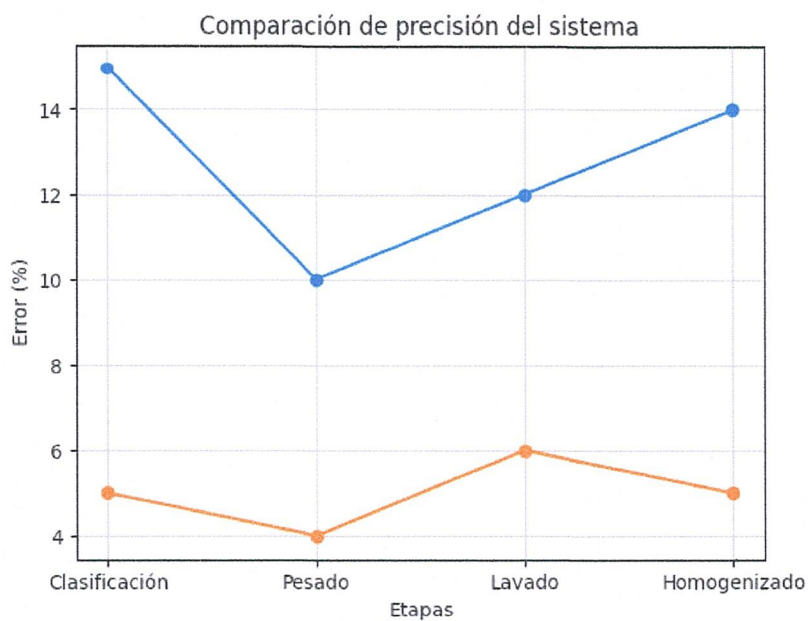


Figura 8
Mejora porcentual del sistema

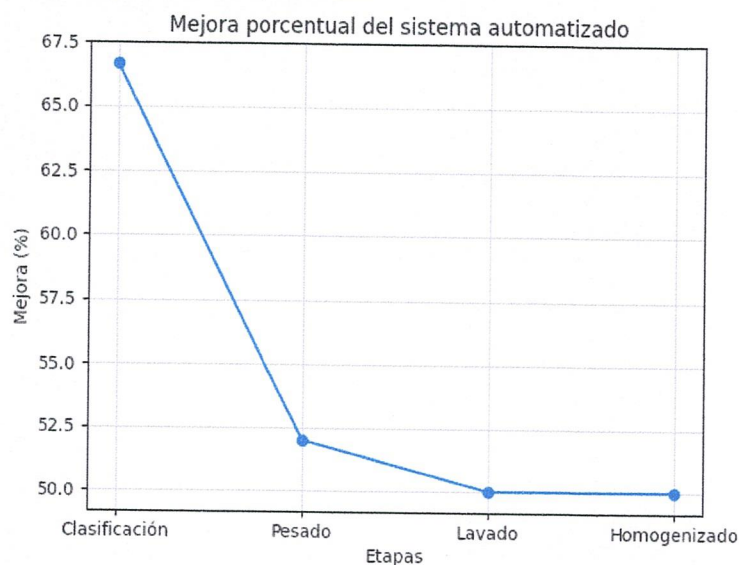


Figura 9
Evaluación global del sistema

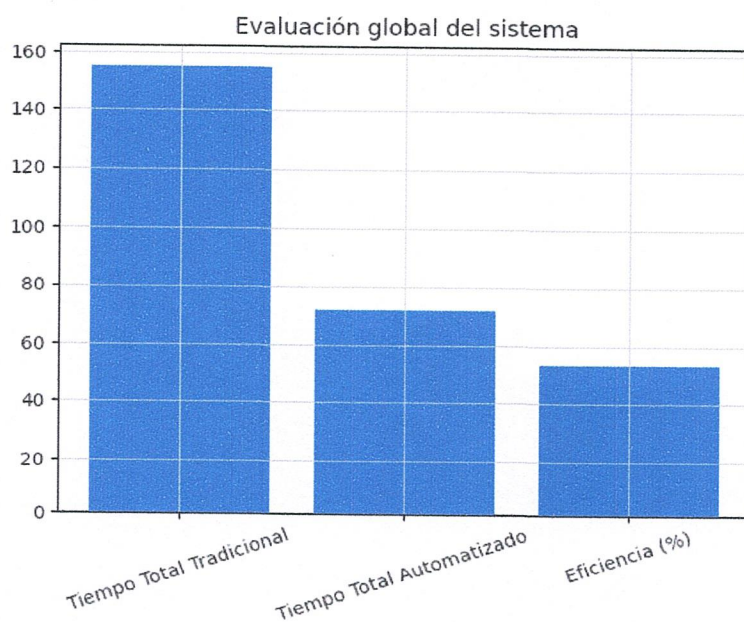


Tabla 5

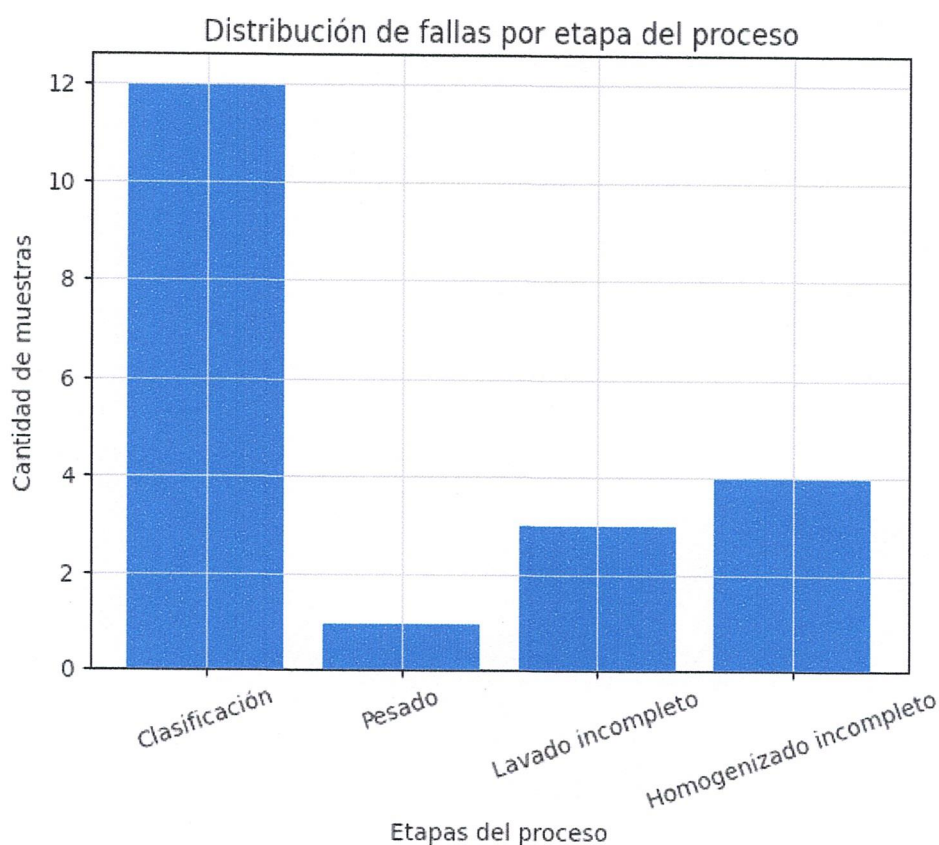
Simulación de sistema automatizado

ID	Color	Peso	Tiempo	Temperatura	Estado	Etapas final
1	verde	82	2	84	Rechazada	Clasificación
2	rojo	108	5	94	En proceso	Homogenizado incompleto
3	rojo	105	4	91	En proceso	Lavado incompleto
4	verde	118	9	83	Rechazada	Clasificación
5	rojo	116	5	84	En proceso	Homogenizado incompleto
6	verde	107	9	93	Rechazada	Clasificación
7	verde	113	2	90	Rechazada	Clasificación
8	verde	77	9	93	Rechazada	Clasificación

9	verde	89	8	96	Rechazada	Clasificación
10	verde	109	9	89	Rechazada	Clasificación
11	verde	90	6	93	Rechazada	Clasificación
12	verde	111	10	98	Rechazada	Clasificación
13	verde	97	5	81	Rechazada	Clasificación
14	verde	110	2	88	Rechazada	Clasificación
15	verde	92	5	86	Rechazada	Clasificación
16	rojo	99	1	91	En proceso	Lavado incompleto
17	rojo	113	7	98	En proceso	Homogenizado incompleto
18	rojo	76	8	87	Rechazada	Pesado
19	rojo	92	1	84	En proceso	Lavado incompleto
20	rojo	103	10	82	En proceso	Homogenizado incompleto

Figura 10

Distribución de fallas por cada proceso



V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que la construcción e implementación del prototipo automatizado mejoró de manera significativa la eficiencia operativa, la precisión del sistema y la uniformidad del producto final en comparación con el proceso tradicional. Estos hallazgos guardan coherencia con los antecedentes presentados en la investigación, donde se señala que la automatización en la industria alimentaria, en el marco de la Industria 4.0,



permite optimizar los procesos productivos, elevar la calidad del producto y reducir pérdidas mediante la integración de sensores, sistemas embebidos e Internet de las Cosas.

Los resultados obtenidos se relacionan con los enfoques actuales de automatización alimentaria, en los cuales el uso de sensores, sistemas embebidos e IoT permite controlar variables críticas del proceso y reducir la variabilidad operativa. Dadhaneeya et al. (2023) sostienen que el Internet de las Cosas aplicado al procesamiento de alimentos favorece el monitoreo en tiempo real, la adquisición de datos y la optimización del proceso. En el presente estudio, la incorporación de sensores de color, peso y temperatura permitió mejorar el control de las etapas de clasificación, pesado, lavado y homogenizado.

Asimismo, la reducción del error en la clasificación de la materia prima coincide con lo señalado por Olorunfemi et al. (2024), quienes indican que los sistemas de clasificación automatizada de frutas contribuyen a mejorar la precisión y uniformidad del proceso de selección. Aunque el prototipo implementado no emplea un sistema completo de visión artificial, sí integra un principio de evaluación objetiva mediante sensor de color, lo que permite disminuir la subjetividad del operador y mejorar la estandarización del producto.

El control automatizado de variables como tiempo y temperatura son importantes para fortalecer la trazabilidad y la eficiencia del proceso. Da Costa et al. (2023) señalan que el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real puede reducir pérdidas alimentarias mediante la obtención oportuna de datos y el seguimiento de condiciones críticas. Es así que el prototipo automatizado represento una alternativa tecnológica viable para pequeñas unidades agroindustriales dedicadas al procesamiento de frutas.

En relación con la especie utilizada, *Spondias purpurea* presento variaciones asociadas al estado de madurez, las cuales influyen en el procesamiento agroindustrial. Silva et al. (2025) evidencian que los frutos de *Spondias purpurea* presentan diferencias de calidad según el estado de maduración, lo que confirma la importancia de considerar criterios de selección antes de





su transformación. Por ello, la clasificación automatizada por color incorporada en el prototipo permite seleccionar frutos con características más uniformes, lo que favorece un procesamiento más ordenado y una conserva con mayor homogeneidad.

Asimismo, la implementación del prototipo se relaciona con la necesidad de modernizar procesos agroindustriales mediante tecnologías accesibles. Si bien existen sistemas avanzados basados en visión artificial, aprendizaje profundo y robótica, como se ha reportado en estudios previos

El desarrollo del prototipo se enfoca a modernizar los procesos agroindustriales mediante uso de tecnologías accesibles en el mercado como el uso de sensores, actuadores y programación embebida para automatizar etapas específicas del procesamiento, esto es fundamental ya que resulta pertinente para productores y pequeñas agroindustrias que requieren mejorar sus procesos sin asumir costos elevados (Chakraborty et al., 2023; Kim & Kim, 2024; Rojas Santelices et al., 2025; Zhu et al., 2021).

Respecto al proceso de homogenización, el control de la temperatura y del tiempo permitió establecer condiciones mínimas de procesamiento térmico. Esta condición se relaciona con la propuesta de Vidigal et al. (2023), quienes señalan que el procesamiento térmico de frutas puede afectar propiedades físicas y reológicas, por lo que el control de temperatura constituye un aspecto clave para mantener la calidad del producto. Asimismo, Neverov et al. (2023) demuestran que los sistemas automatizados basados en microcontroladores, como Raspberry Pi, pueden ser aplicados al control térmico en procesos alimentarios, evidenciando la pertinencia de utilizar sistemas embebidos para mejorar el proceso operativo.

En relación con el tiempo de procesamiento, el sistema automatizado redujo el tiempo total de 155 s a 72 s, lo que representa una mejora global del 53.55%. Esta reducción confirma lo expuesto en los antecedentes internacionales, en los que Hassoun et al. (2023) sostienen que la incorporación de tecnologías inteligentes en el procesamiento de alimentos incrementa la eficiencia y disminuye las ineficiencias operativas. Del mismo modo, estos resultados responden al problema identificado en el contexto





local de Jaén, donde el procesamiento artesanal de la ciruela presentaba tiempos elevados, especialmente en las etapas de lavado y homogenizado.

Respecto a la precisión del sistema, se observó una disminución importante del error en la clasificación, de 15% a 5%, y en el pesado, de 10% a 4%, lo cual evidencia un mejor control del proceso y una mayor estandarización del producto final. Este comportamiento coincide con los antecedentes que destacan que la visión artificial y los sistemas automatizados mejoran significativamente la clasificación y selección de productos agrícolas, superando la subjetividad propia de los métodos manuales. Asimismo, el mejor desempeño del pesado automatizado se relaciona con el uso de sensores de medición que favorecen la uniformidad y reducen errores humanos.

El análisis por etapas mostró que la clasificación alcanzó la mayor mejora porcentual (66.67%), seguida del pesado (52%), lavado (50%) y homogenizado (50%). Este resultado puede explicarse porque las etapas iniciales del proceso tradicional dependen en mayor medida de la percepción y manipulación humana, lo que incrementa la variabilidad operativa. En este sentido, los antecedentes ya advertían que los sistemas inteligentes en alimentos permiten disminuir la intervención humana, mejorar la consistencia del producto y fortalecer el control de calidad, lo cual también se refleja en el presente estudio.

Por otro lado, la simulación del sistema automatizado mostró que las principales fallas se concentraron en las etapas de clasificación y homogenizado. Este resultado sugiere que, aunque el prototipo presenta un desempeño favorable, aún requiere ajustes en la calibración de sensores, en los umbrales de detección de color y en el control de temperatura durante el homogenizado. Esta observación se relaciona con los antecedentes que resaltan que el monitoreo en tiempo real y la correcta configuración de sensores son factores determinantes para asegurar el rendimiento de los sistemas automatizados en procesos alimentarios. Además, el marco teórico del estudio señala que la homogeneización automatizada depende



directamente del control preciso del tiempo y la temperatura para garantizar la calidad final del producto.

Desde un análisis integral, la implementación del prototipo automatizado permitió optimizar el procesamiento de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*) al mejorar el control de las etapas de clasificación, pesado, lavado y homogenizado. La evidencia obtenida demuestra que el uso de sensores, actuadores y sistemas embebidos reduce la variabilidad operativa, mejora la precisión del proceso y contribuye a la estandarización del producto final. Estos resultados son consistentes con investigaciones recientes sobre automatización alimentaria, IoT, visión artificial y control de calidad en frutas, las cuales destacan la importancia de incorporar tecnologías accesibles para mejorar la eficiencia y competitividad de los procesos agroindustriales.

VI. CONCLUSIONES

En relación con el primer objetivo específico, se logró diseñar un sistema automatizado para el control de las etapas de clasificación, pesado, lavado y homogenizado en el procesamiento de conserva de ciruelas, integrando de manera adecuada sensores, actuadores y un sistema de control embebido que permite la gestión eficiente de las variables críticas del proceso.

Respecto al segundo objetivo específico, se construyó satisfactoriamente el prototipo automatizado mediante la integración de componentes electrónicos, dispositivos de medición y elementos mecánicos, evidenciando su funcionalidad en la ejecución secuencial de las etapas del proceso productivo.

En cuanto al tercer objetivo específico, se desarrolló e implementó la programación del sistema embebido, permitiendo el monitoreo y control en tiempo real de variables como el color, peso, tiempo y temperatura, lo que contribuyó a una operación más precisa y automatizada del sistema.

Finalmente, en relación con el cuarto objetivo específico, el análisis del desempeño del sistema automatizado evidenció mejoras significativas frente al proceso tradicional, destacando una reducción del tiempo total de procesamiento del 53.55%, así como una disminución considerable del error



en las distintas etapas, lo que permitió incrementar la eficiencia, uniformidad y calidad del producto final.

En síntesis, la implementación del prototipo automatizado cumplió con los objetivos planteados, demostrando ser una solución tecnológica viable para optimizar el procesamiento de conserva de ciruelas y contribuir al fortalecimiento de la agroindustria local.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adeleke, I., Nwulu, N., & Adebo, O. A. (2023). Internet of Things (IoT) in the food fermentation process: A bibliometric review. *Journal of Food Process Engineering*, 46(5), e14321. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14321>

Alghannam, A. R. O. (2012). Design of a Simple Fuzzy Logic Control for Food Processing. En *Trends in Vital Food and Control Engineering*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/39086>

Chakraborty, S. K., Dubey, K., Jat, D., Chandel, N. S., Potdar, R., Rao, N. R. N. V. G., & Kumar, D. (2023). Development of an optimally designed real-time automatic citrus fruit grading–sorting machine leveraging computer vision-based adaptive deep learning model. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120, 105826. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105826>

Chuquimarca, L. E., Vintimilla, B. X., & Velastin, S. A. (2024). A review of external quality inspection for fruit grading using CNN models. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 14, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.10.002>

Da Costa, T. P., Gillespie, J., Cama-Moncunill, X., Ward, S., Condell, J., Ramanathan, R., & Murphy, F. (2023). A Systematic Review of Real-Time Monitoring Technologies and Its Potential Application to Reduce Food Loss and Waste: Key Elements of Food Supply Chains and IoT Technologies. *Sustainability*, 15(1), 614. <https://doi.org/10.3390/su15010614>

Dadhaneeya, H., Nema, P. K., & Arora, V. K. (2023). Internet of Things in food processing and its potential in Industry 4.0 era: A review. *Trends in Food*



Science & Technology, 139, 104109.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.006>

Giacomozzi, A., Benedito, J., Álvarez-Arenas, T. E. G., & García-Perez, J. V. (2024). Air-Coupled Ultrasonic Inspection of Foods: A Review. *IEEE Open Journal of Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 4, 100-115. <https://doi.org/10.1109/OJUFFC.2024.3457503>

Hassoun, A., Jagtap, S., Trollman, H., Garcia-Garcia, G., Abdullah, N. A., Goksen, G., Bader, F., Ozogul, F., Barba, F. J., Cropotova, J., Munekata, P. E. S., & Lorenzo, J. M. (2023). Food processing 4.0: Current and future developments spurred by the fourth industrial revolution. *Food Control*, 145, 109507. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109507>

Khan, T. Z., Adhikary, A., & Khan, M. A. R. (2019). Microcontroller based Industrial Automation System using Temperature Sensor and Output Logic Control. *International Journal of Computer Applications*, 178(43), 40-43. <https://doi.org/10.5120/ijca2019919326>

Kim, Y., & Kim, S. (2024). Automation and Optimization of Food Process Using CNN and Six-Axis Robotic Arm. *Foods*, 13(23), 3826. <https://doi.org/10.3390/foods13233826>

Neverov, E., Korotkiy, I., Vladimirov, A., Korotkih, P., Nikolaeva, E., & Porokhnov, A. (2023). Development of a Raspberry Pi-Based Automation System for an Induction-Heated Milk Pasteurizer. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*, 56(5), 801-809. <https://doi.org/10.18280/jesa.560511>

Olorunfemi, B. O., Nwulu, N. I., Adebo, O. A., & Kavadias, K. A. (2024). Advancements in machine visions for fruit sorting and grading: A bibliometric analysis, systematic review, and future research directions. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101154. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101154>

Paladino, O., Fissore, F., & Neviani, M. (2019). A Low-Cost Monitoring System and Operating Database for Quality Control in Small Food Processing Industry. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(4), 52. <https://doi.org/10.3390/jsan8040052>



- Palumbo, M., Cefola, M., Pace, B., Attolico, G., & Colelli, G. (2023). Computer vision system based on conventional imaging for non-destructively evaluating quality attributes in fresh and packaged fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 200, 112332. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112332>
- ✓ Rizzo, M., Marcuzzo, M., Zangari, A., Gasparetto, A., & Albarelli, A. (2023). Fruit ripeness classification: A survey. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 7, 44-57. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2023.02.004>
- ✓ Rojas Santelices, I., Cano, S., Moreira, F., & Peña Fritz, Á. (2025). Artificial Vision Systems for Fruit Inspection and Classification: Systematic Literature Review. *Sensors*, 25(5), 1524. <https://doi.org/10.3390/s25051524>
- ✓ Silva, Á. G. F. da, Costa, F. B. da, Nascimento, A. M. do, Sales, G. N. B., Silva, J. L. da, Neta, A. M. de S. S., Ribeiro, W. S., Silva, T. I. da, & Feitosa, B. F. (2025). Spondias purpurea L. (Anacardiaceae) fruits flours at different maturation stages: Drying kinetics, mathematical modelling, characterization and correlation analysis. *Heliyon*, 11(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41832>
- ✗ Vidigal, I. G., Melo, M. P., Da Rós, P. C. M., Carvalho, A. K. F., Alencar, S. M., & Ferreira, A. L. G. (2023). Rheological and Physical Properties Affected by the Thermal Processing of Fruit: A Bibliometric Analysis. *Processes*, 11(10), 2874. <https://doi.org/10.3390/pr11102874>
- ✗ Zatsu, V., Shine, A. E., Tharakan, J. M., Peter, D., Ranganathan, T. V., Alotaibi, S. S., Mugabi, R., Muhsinah, A. B., Waseem, M., & Nayik, G. A. (2024). Revolutionizing the food industry: The transformative power of artificial intelligence-a review. *Food Chemistry: X*, 24, 101867. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101867>
- ✗ Zhu, L., Spachos, P., Pensini, E., & Plataniotis, K. N. (2021). Deep learning and machine vision for food processing: A survey. *Current Research in Food Science*, 4, 233-249. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.009>

VIII. Agradecimiento

Se expresa el más sincero agradecimiento al Grupo de Investigación en Robótica, Inteligencia Artificial e Innovación (RIAI) por su importante participación en el desarrollo del trabajo de investigación denominado **"Implementación de un prototipo automatizado para la optimización del procesamiento de conserva de ciruelas (*Spondias purpurea*)"**. Su aporte científico, técnico y metodológico ha sido clave para la ejecución de este estudio, fortaleciendo la generación de conocimiento y la aplicación de soluciones innovadoras en el ámbito productivo.

IX. Anexos

9.1. Algoritmo

```
#include <Wire.h>

#include <SparkFun_APDS9960.h>

#include <ESP32Servo.h>

#include "HX711.h" // incluye libreria HX711

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#include <Adafruit_GFX.h>

#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define SCREEN_WIDTH 128

#define SCREEN_HEIGHT 32

#define OLED_RESET -1

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);

String displayMessage = "Conserva";

#define AC 17 // DT de HX711 a pin digital 2

const int calor = 4;

#define DT 32 // DT de HX711 a pin digital 2

#define SCK 33 // SCK de HX711 a pin digital 3

// Definir los pines a los que se conectan los servos

const int pinServo1 = 13;

const int pinServo2 = 12;

const int pinServo3 = 14;

const int pinServo4 = 27;
```




```
HX711 celda; // crea objeto con nombre celda
SparkFun_APDS9960 apds = SparkFun_APDS9960();
Servo selector;
Servo descarga;
Servo giro;
Servo miel;
uint16_t red, green, blue, clear;
const int faja = 25;
bool FAJA = true;
bool paso1 = true, paso2 = false, paso3 = false, paso4 = false;
bool paso5 = false;
// Pines del L298N y finales de carrera
#define ENA 19 // Pin de control de velocidad (PWM)
#define IN1 18 // Pin de dirección 1
#define IN2 5 // Pin de dirección 2
#define FC1 34 // Pin del final de carrera 1
#define FC2 35 // Pin del final de carrera 2
// Variables para almacenar el estado de los finales de carrera
bool estadoFC1 = false;
bool estadoFC2 = false;
// Velocidad del motor (0-255)
int velocidad = 250;
// Variable para la dirección del motor (true = derecha, false = izquierda)
bool direccion = true;
// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(calor);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);
void centerText(String text, int textSize) {
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(textSize);
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    int16_t x1, y1;
```




```
uint16_t w, h;

display.getTextBounds(text, 0, 0, &x1, &y1, &w, &h);

int16_t x = (SCREEN_WIDTH - w) / 2;
int16_t y = (SCREEN_HEIGHT - h) / 2;
display.setCursor(x, y);
display.print(text);
display.display();
}

void showTextTask(void *pvParameters) {
    // Inicializar display
    if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
        Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
        vTaskDelete(NULL);
    }
    for (;;) {
        centerText(displayMessage, 2);
        vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(1000)); // Refresca cada segundo
    }
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    if (apds.init()) {
        Serial.println("Inicialización exitosa");
    }
    apds.enableLightSensor(false);
    celda.begin(DT, SCK);
    celda.set_scale(-109.f);
    celda.tare();

    // Asociar los servos a los pines correspondientes
    selector.setPeriodHertz(50); // Configura la frecuencia PWM para el servo 1 (50Hz)
```




```
descarga.setPeriodHertz(50); // Configura la frecuencia PWM para el servo 2
(50Hz)

giro.setPeriodHertz(50);    // Configura la frecuencia PWM para el servo 3 (50Hz)
miel.setPeriodHertz(50);    // Configura la frecuencia PWM para el servo 4 (50Hz)
selector.attach(pinServo1);
descarga.attach(pinServo2);
giro.attach(pinServo3);
miel.attach(pinServo4);

// Inicializa los servos en una posición inicial (puedes cambiar este valor)
selector.write(90); // Servo 1 a 0 grados
descarga.write(160); // Servo 2 a 45 grados
giro.write(180);    // Servo 3 a 90 grados
miel.write(90);     // Servo 4 a 135 grados
delay(1000);

pinMode(ENA, OUTPUT);
pinMode(IN1, OUTPUT);
pinMode(IN2, OUTPUT);

// Configuración de pines de los finales de carrera
pinMode(FC1, INPUT); // Configurados como entrada sin pull-up
pinMode(FC2, INPUT);

// Iniciar movimiento inicial
pinMode(AC, OUTPUT);
sensorDS18B20.begin();
Wire.begin();
delay(2000);
xTaskCreatePinnedToCore(showTextTask, "ShowText", 10000, NULL, 1, NULL, 0);
}

void loop() {
    while (paso1) {
        float peso = 0.0;
        unsigned long period = 1000;
        static unsigned long previousMillis = 0;
```




```
if ((millis() - previousMillis) > period) {  
    peso = celda.get_units(10);  
    Serial.println(peso);  
    displayMessage = String(peso);  
    previousMillis += period;  
}  
analogWrite(faja, 255);  
  
if (apds.readAmbientLight(clear) && apds.readRedLight(red) &&  
apds.readGreenLight(green) && apds.readBlueLight(blue)) {  
    Serial.println(String(red) + " " + String(green) + " " + String(blue));  
}  
  
if (red <= 40 && green <= 50 && blue <= 40) { // verde  
    selector.write(45);  
    delay(4000);  
} else if (red >= 80 && green >= 60 && blue >= 35) { // maduro  
    selector.write(90);  
} else { // faja  
    selector.write(90);  
}  
  
if (peso > 90) {  
    paso1 = false;  
    paso2 = true;  
}  
}  
  
while (paso2) {  
    displayMessage = "decargando";  
    analogWrite(faja, 0);  
    delay(3000);  
    descarga.write(90);  
    delay(100);  
    descarga.write(80);  
    delay(100);
```




```
descarga.write(75);  
delay(100);  
descarga.write(70);  
delay(100);  
descarga.write(65);  
delay(100);  
descarga.write(60);  
delay(100);  
descarga.write(55);  
delay(500);  
descarga.write(50);  
delay(500);  
descarga.write(48);  
delay(500);  
descarga.write(50);  
delay(500);  
descarga.write(45);  
delay(100);  
celda.tare();  
delay(3000);  
descarga.write(90);  
delay(1000);  
descarga.write(180);  
delay(2000);  
paso2 = false;  
paso3 = true;  
}  
while (paso3) {  
  displayMessage = "Lavando";  
  analogWrite(26, 5);  
  delay(5000);  
  analogWrite(26, 0);
```




```
delay(2000);
analogWrite(26, 5);
delay(5000);
analogWrite(26, 0);
delay(2000);
displayMessage = "subiendo";
if (digitalRead(35)) {
  analogWrite(ENA, 255);
  digitalWrite(IN1, HIGH);
  digitalWrite(IN2, LOW);
  delay(5000);
  displayMessage = "vaciando";
  giro.write(175); // Inicializar el servo en 90 grados
  delay(150);
  giro.write(160); // Inicializar el servo en 90 grados
  delay(150);
  giro.write(150); // Inicializar el servo en 90 grados
  delay(150);
  giro.write(140); // Inicializar el servo en 90 grados
  delay(150);
  giro.write(130); // Inicializar el servo en 90 grados
  delay(150);
  giro.write(120); // Inicializar el servo en 90 grados
  delay(150);
  giro.write(110); // Inicializar el servo en 90 grados
  delay(150);
  giro.write(100); // Inicializar el servo en 90 grados
  delay(150);
  giro.write(90); // Inicializar el servo en 90 grados
  delay(150);
  giro.write(80); // Inicializar el servo en 90 grados
  delay(150);
```

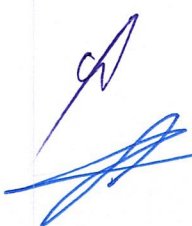
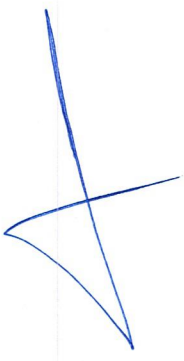



```
giro.write(70); // Inicializar el servo en 90 grados
delay(150);
giro.write(60); // Inicializar el servo en 90 grados
delay(500);
giro.write(55); // Inicializar el servo en 90 grados
delay(500);
giro.write(50); // Inicializar el servo en 90 grados
delay(500);
giro.write(45); // Inicializar el servo en 90 grados
delay(3000);
displayMessage = "regresando";
giro.write(165); // Inicializar el servo en 90 grados
delay(5000);
analogWrite(ENA, 80);
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(5000);
analogWrite(ENA, 0);
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, LOW);
paso3 = false;
paso4 = true;
} else {
    Serial.println(" no se activa el sensor ");
}
}
while (paso4) {
    digitalWrite(AC, HIGH);
    displayMessage = "hirviendo";
    miel.write(180);
    displayMessage = "Miel";
```



```
delay(45000);
miel.write(80);
paso4 = false;
paso5 = true;
}
while (paso5) {
    sensorDS18B20.requestTemperatures();
    float temper = sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
    displayMessage = String(temper);
    if (temper > 95) {
        delay(15000);
        digitalWrite(AC, LOW);
    } else {
        digitalWrite(AC, HIGH);
    }
}
}
```

9.2. Algoritmo de Simulación en Python del proceso



```
import random
import pandas as pd
# Parámetros del sistema
PESO_MIN = 90
TIEMPO_LAVADO = 5
TEMP_HOMOG = 90
TIEMPO_HOMOG = 15
# Función de simulación de una ciruela
def procesar_ciruela(id_ciruela):
    color = random.choice(["rojo", "verde"])
    peso = random.randint(70, 120)
    tiempo = random.randint(1, 10)
    temp = random.randint(80, 100)
    resultado = {
```



```
"ID": id_ciruela,
"Color": color,
"Peso": peso,
"Tiempo": tiempo,
"Temperatura": temp,
"Estado": "",
"Etapa_final": ""
}

# Clasificación
if color != "rojo":
    resultado["Estado"] = "Rechazada"
    resultado["Etapa_final"] = "Clasificación"
    return resultado

# Pesado
if peso < PESO_MIN:
    resultado["Estado"] = "Rechazada"
    resultado["Etapa_final"] = "Pesado"
    return resultado

# Lavado
if tiempo < TIEMPO_LAVADO:
    resultado["Estado"] = "En proceso"
    resultado["Etapa_final"] = "Lavado incompleto"
    return resultado

# Homogenizado
if temp >= TEMP_HOMOG and tiempo >= TIEMPO_HOMOG:
    resultado["Estado"] = "Aprobada"
    resultado["Etapa_final"] = "Producto final"
else:
    resultado["Estado"] = "En proceso"
    resultado["Etapa_final"] = "Homogenizado incompleto"
    return resultado

# Simulación de múltiples ciruelas
N = 20
```




```
resultados = [procesar_ciruela(i) for i in range(1, N+1)]  
df = pd.DataFrame(resultados)  
print("\nResultados de simulación:\n")  
print(df)  
# Estadísticas  
print("\nResumen:")  
print(df["Estado"].value_counts())
```



Handwritten signature or initials.

Handwritten signature or initials.