



FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

Fabricación de prototipo de sistema de control de calidad para la detección de contaminantes superficiales en cosechas de naranjas *Citrus sisnensis* Obs utilizando visión artificial

Realizado por:

Juan Diego Mantilla Ayala

Director del proyecto:

M.Sc María Gabriela Mancheno Falconi .Ing

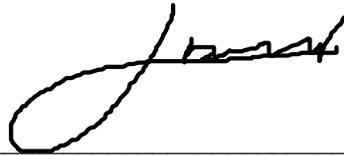
**Trabajo de titulación previo a la obtención del título Pregrado en Ingeniería
Mecatrónica**

QUITO, Octubre del 2024

Declaración Juramentada

Yo, Juan Diego Mantilla Ayala, con cédula de identidad 1724143506, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Juan Diego Mantilla Ayala

C.I: 1724143506

Declaración del director de tesis

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando el cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

M.Sc María Gabriela Mancheno Falconi. Ing

Dedicatoria

La gratitud y el amor se expresan de maneras más convincentes que las simples palabras, y es mediante las acciones donde se desvela la auténtica intensidad de las emociones. Esta disertación es una demostración de cariño y reconocimiento hacia aquellos que han jugado un papel crucial en mi camino vital y académico.

Primero, quiero manifestar mi más profunda gratitud a mi padre, Guido Desiderio Mantilla Jacome. Alguien que desde siempre a su manera me mostro lo que es el amor incondicional, ha sido el fundamento en el que he edificado mis éxitos. Sus sacrificios y su respaldo infatigable permanecerán indeleblemente en mi corazón, siendo él el primer cimiento que me ha facilitado alcanzar este nivel.

A mi madre, Lupe Margarita Ayala Zarate, no solo dedico esta tesis sino también a todos mis éxitos actuales y venideros. Ella, la primera mujer en mi existencia ha sido mi luz en la penumbra, mi alivio en las dificultades y mi felicidad más pura en los instantes de júbilo. Su presencia incesante, su cariño incondicional y su cuidado en cada detalle han sido el impulso que me motiva a superarme cotidianamente.

Mi hermano mayor, José Gabriel Mantilla Ayala, recibe mi más sincero afecto y agradecimiento. Además de ser mi hermano, ha sido mi primer amigo y un soporte constante en mi vida. Su presencia y respaldo han sido constante, creando una conexión que va más allá de los vínculos sanguíneos.

La atención que he obtenido no se ha restringido al núcleo familiar cercano. A pesar de que ya no están físicamente presentes, mis abuelos maternos, Pedro Ayala y María Josefina Zarate, han dejado un impacto indeleble perpetuamente. Estoy seguro de que desde el firmamento han velado por mí, orientándome en mis acciones y proporcionándome su respaldo espiritual.

Mi abuelo, el Dr. Guido Erasmo Mantilla Cardoso, un individuo sobresaliente cuya inteligencia solo es sobrepasada por la magnificencia de su corazón. Su sabiduría, sus recomendaciones y su amor sin condiciones han sido esenciales para lograr este objetivo que en ocasiones parecía irrealizable. Me llena de orgullo ser su nieto y poder brindarle este logro.

La familia Cisneros/Ayala tiene un espacio especial en mi corazón. Mi tío Marcelo Cisneros, a quien veo como una segunda figura de mi padre, estoy seguro de que está conmigo desde el firmamento, vigilando mi bienestar. Mi tía Amparito Ayala ha actuado como una segunda madre, abriéndome las puertas de su casa y proporcionándome asistencia y comida durante toda mi etapa universitaria, independientemente de las circunstancias.

A mis primos, que considero como mis segundos hermanos, les ofrezco este trabajo con todo mi cariño. María José Cisneros, quien desde mi infancia me ha protegido como si fuera un hermanito más pequeño. Siguiendo quiero mencionar al Lic. Ricardo Antonio Cisneros Ayala (aka Kachi), un sujeto maravilloso con el corazón mas enorme que he conocido, el tiempo y los párrafos me faltarían para describir todo lo que él ha hecho por mí, pero gracias a él nunca me faltó alguien que me escuche o una mano que me ayude y espero poder compensárselo algún día. Para finalizar dedico este esfuerzo a Alejandro Martin Cisneros Ayala, mi hermano meses menor, mi compañero de vida y aventuras desde que tengo uso de razón, siempre sabiendo como sacarme una sonrisa cuando más lo necesitaba y demostrándome que jamás podría sentirme solo mientras los tenga a ellos a mi lado, si llegue a realizar este logro y a ser el hombre que soy hoy en día es por tener a estas personas como mis más grandes pilares.

Agradecimientos

Agradezco a la vida que después de un accidente que pudo ser fatal, me haya dado la segunda oportunidad y las fuerzas para levantarme y continuar cumpliendo mis sueños y metas.

A cada persona que ha puesto su grano de arena para cada escalón que he subido, a mis tíos Ligia, Carmen, Teresa, Fanicita, Pedro, Patricio, Elena por siempre ser cariñosos y tenerme presente en sus corazones, a mis primos Mateo, Sebas, Juan Pablo, Yobi, Abril, Eri, Ana, Cris, Andi, Esteban y Lorena por crecer junto a mí en una familia llena de amor.

A doña Moni y a Don Edu por su constante aliento y resguardo.

A mis profesores, quienes con retos y empatía supieron guiarme y moldearme tanto en lo académico, como en lo personal. A mi profesor Ing. Jaime Molina por enseñarme lo que un ingeniero debe de ser y por siempre alentarme a no conformarme con lo mínimo, a mi profesora Ing. Diana Peralta por su ayuda y consejo a lo largo de la realización de la tesis, a mi profesor Diego Fernando Bustamante por presentarme retos y enseñarme a tomarlos con determinación y optimismo, mostrándome que las cosas se pueden lograr con esfuerzo, por su apoyo y consejo dentro y fuera de clase, formándome no solo como ingeniero sino como ser humano . Por último, a mi tutora Ing. María Gabriela Mancheno Falconi por ser desde que ingreso a la universidad una excelente maestra, enseñándome diferentes destrezas como ingeniero, con amabilidad, ayudándome a lo largo de mi formación profesional y mostrando lo buena persona que uno debe ser.

A mis amigos que la vida y la universidad me dio el privilegio de conocer, comenzando por el Ing. Alejandro Morejón quien desde el día que los estudios nos juntaron los caminos encontré un hermano más, una persona de confianza y alguien que sé que me cuida la espalda, a Mathias Gómez por ser un amigo incondicional, por nunca querer dejarme solo, a Ing Luis Zaldumbide por estar en buenas y malas junto a mí siempre con un consejo, a Dra.Sophia Hidalgo su tiempo y cariño, a Nicole León por su amistad presente y duraderas, a Yuriko Andrade por todo el cariño que me ha dado a través de los años, a María Paula Ortiz por a pesar de cualquier cosa siempre tenerme presente y preocuparse por mí, a Mathias Aguilar por ser el primer amigo que

tuve en la universidad y pasar a lo largo de la carrera hombro con hombro, a Leslie Alomia por su paciencia y cariño inmenso lleno de detalles , a Mateo Tipan quien es una de las personas más auténticas y buenas con la que he tenido el placer de convivir en un aula al igual que a Fernando, Steven, Jhoann, a María Emilia Mantilla , Misheel Alejandra, Adonis, Rodrigo Muñoz, Lucia, Tomas, Tony, Sara, Nico, Ricardo, Emilita, Sebas, Karla, Danna, Evaluna, Romina, Xavier, Maria, Raphaela, Briana, Alicia, Cristian, Gonzalo, Erick, Dani, Steven, Tamia, Pau, Renata, Cami, Javi, Andres a todos les agradezco por regalarme la temporada más linda de mi vida, esperando a ver complementado su vida como ustedes han complementado la mía.

Lista de Contenidos

Declaración Juramentada	2
Declaración del director de tesis	3
Dedicatoria	3
Agradecimientos	5
Lista de Contenidos	7
Lista de figuras	13
Lista de tablas	19
Lista de abreviaturas	21
Lista de conceptos	22
Resumen	24
Abstract	25
Introducción	26
Antecedentes	26
Planteamiento del problema	27
Justificación	28
Objetivo General	29
Objetivos Específicos	30
Hipótesis	30
Estado del Arte	31

Visión artificial en control de calidad de frutas	32
Identificación de contornos:	32
Aprendizaje profundo de red Neuronal	34
Robustecimiento de base de datos para Sistema de identificación	34
Identificación externa del estado de las naranjas valencia	35
Condiciones propicias para la detección de calidad de las naranjas	39
Machine Learning en clasificación de frutas	40
Aprendizaje federado	44
Fusión de diferentes sistemas modales	44
Procesamiento de imágenes	45
Sistemas de bajo costo para pequeños productores	46
Robótica colaborativa en procesos postcosecha	46
Optimización energética y almacenamiento de datos	47
RASPBerry Pi5	47
Sesgos en base de datos agrícolas locales	48
Metodología	48
Selección de técnicas de visión artificial	49
Recopilación de datos y definición de aspectos físico del estado de las naranjas	52
Definición de requerimientos técnicos necesarios para la identificación de objetos con visión artificial	55
Integración de programas de identificación a Raspberry pi5	62
Verificación del sistema YOLO de contraste de colores y programa OpenCV de contornos este en correcto funcionamiento	66
Conexión e integración de hardware y software	68
Construcción / evaluación del prototipo físico	72
Resultados Obtenidos	79

10	
Sistema integrado a la banda:	81
Funcionamiento del sistema integrado a la banda:	82
Detección de Naranja Sana:	83
Detección de Naranja con hongo <i>Penicillium</i> :	88
Detección de Naranja con hongo <i>Colletotrichum</i> :	94
Detección de objeto que no es Naranja:	99
Obtención de Umbrales de detección	103
Comparación de mejora en efectividad: Programa básico vs Sistema integrado	107
Comparación de mejora en efectividad: Detección Manual vs Detección Automatizada	118
Discusión de Resultados	120
Detección de naranjas sanas	120
Detección de naranjas con hongos	121
Detección de objetos que no son naranja:	123
Integración y costos	124
Eficiencia y velocidad de procesamiento	125
Limitaciones y áreas de mejora:	129
Conclusiones	130
Recomendaciones	131
Anexos:	142

Lista de figuras

Figura 1. Morfología de naranja valencia en buen estado	32
Figura 2. Hongos que se presentan en las naranjas valencia post cosecha	34
Figura 3. Funcionamiento de IMPULSE en la detección del estado de tomates	37
Figura 4. Gráfica de rendimiento relación imágenes/latencia de diferentes versiones	39
Figura 5. Funcionamiento de YOLOv5 en la detección del estado de tomates	40

Figura 6. Base de datos de reconocimiento de naranjas sanas.....	49
Figura 7. Base de datos de reconocimiento de naranjas infectadas con <i>Penicillium</i>	50
Figura 8. Base de datos de reconocimiento de naranjas infectadas con <i>Colletotrichum</i>	51
Figura 9. Requisitos necesarios para correr Yolo v5	52
Figura 10. Librerías necesarias para correr Yolo v5 programa Google colab	53
Figura 11. Programa de detección por contorno circular en Visual Studio OpenCV p1	54
Figura 12. Programa de detección por contorno circular en Visual Studio OpenCV p2	55
Figura 13. Programa de detección por contorno circular en Visual Studio OpenCV p3	55
Figura 14. Programa de detección por contorno circular en Visual Studio OpenCV p4	56
Figura 15. Registro de naranjas por su estado y forma con YOLO	57
Figura 16. Programa de detección por contraste de colores YOLO v5	58
Figura 17. Programa de detección por contraste de colores YOLO v5 funcionando	58
Figura 18. Programa integrado en Raspberry pi5 llamando a las librerías y los programas.	59
Figura 19. Programa integrado en Raspy raspberry pi5 cargado los programas al microprocesador	60
Figura 20. Raspberry pi5 cargado los programas al microprocesador	61
Figura 21. Detección de imagen cargada al programa Naranja mala	63
Figura 22. Detección de imagen cargada al programa Naranja buena	63
Figura 23. Detección de imagen cargada al programa Objeto no naranja	64
Figura 24. Circuito de control finalizado en PCB	68
Figura 25. Bosquejo inicial de banda transportadora	70
Figura 26. Cortes de partes de banda transportadora	71
Figura 27. Caja recolectora de naranjas de banda transportadora	71
Figura 28. Fase inicial de banda transportadora	72
Figura 29. Mecanismo tornamesa con cámara banda transportadora	73
Figura 30. Mecanismo tornamesa con cámara banda transportadora (vista desde el sistema de detección)	74
Figura 31. Banda transportadora Funcional	75
Figura 32. Banda transportadora Funcional primera prueba	76
Figura 33. Resultado: construcción de sistemas electrónicos	78
Figura 34. Resultado: construcción de sistema integrado en Banda transportadora	79
Figura 35. Imagen de tipos de objetos variables a ser evaluadas por el prototipo	80
Figura 36. Imagen del objeto “Naranja Sana”	80
Figura 37. Imagen del objeto “Naranja Sana” en banda transportadora	81
Figura 38. Banda transportadora: objeto en entorno de evaluacion: (naranja buena)	82

Figura 39. Banda transportadora: objeto visto desde la perspectiva del programa de detección: (naranja buena)	83
Figura 40. Banda transportadora: Activación de paleta separadora y de segunda banda transportadora: (naranja buena)	83
Figura 41. Banda transportadora: Accionamiento de servo inclinador tornamesa (naranja sana)	84
Figura 42. Banda transportadora: Naranja buena separada	85
Figura 43. Imagen del objeto “Naranja con hongo Penicillium”	85
Figura 44. Imagen del objeto “Naranja con hongo Penicillium” en banda transportadora	86
Figura 45. Banda transportadora: objeto en entorno de evaluación: (naranja con hongo Penicillium)	87
Figura 46. Banda transportadora: objeto visto desde la perspectiva del programa de detección:(naranja con hongo Penicillium)	87
Figura 47. Banda transportadora: Activación de paleta separadora y de segunda banda transportadora: (naranja con hongo Penicillium)	88
Figura 48. Banda transportadora: Accionamiento de servo inclinador tornamesa (naranja con hongo Penicillium)	89
Figura 49. Banda transportadora: Naranja con hongo Penicillium separada	90
Figura 50. Imagen del objeto “Naranja con hongo Colletotrichum”	91
Figura 51. Imagen del objeto “Naranja con hongo Colletotrichum” en banda transportadora	92
Figura 52. Banda transportadora: objeto en entorno de evaluación: (naranja con hongo Colletrichum)	92
Figura 53. Banda transportadora: objeto visto desde la perspectiva del programa de detección:(naranja con hongo Colletrichum)	93
Figura 54. Banda transportadora: Activación de paleta separadora y de segunda banda transportadora: (naranja con hongo Colletrichum)	94
Figura 55. Banda transportadora: Accionamiento de servo inclinador tornamesa (naranja con hongo Colletrichum)	94
Figura 56. Banda transportadora: Naranja con hongo Colletrichum separada	95
Figura 57. Imagen del objeto que no es naranja	96
Figura 58. Imagen del objeto “Objeto que no es naranja” en banda transportadora	96
Figura 59. Banda transportadora: objeto en entorno de evaluación: (Objeto que no es naranja)	97
Figura 60. Banda transportadora: objeto visto desde la perspectiva del programa de detección: (Objeto que no es naranja)	98
Figura 61. No hay movimiento de paleta separadora, yendo a zona: (No Naranja)	98
Figura 62. Objeto No Naranja separado	99
Figura 63. Definición de umbrales de similitud	100
Figura 64. Umbrales de similitud de variables a evaluar	100

Figura 65. Rangos de detección de variables a evaluar	103
Figura 66. Detección de Naranjas solo con YOLO	104
Figura 67. Detección de Naranjas con Sistema integrado finalizado	105
Figura 68. Rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) naranjas sanas	105
Figura 69. Grafica de rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) naranjas sanas	107
Figura 70. Rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) naranjas con hongo Colletotrichum	107
Figura 71. Grafica de rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) naranjas con hongo Colletotrichum	109
Figura 72. Rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) naranjas con hongo Penicillium	109
Figura 73. Grafica de rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) naranjas con hongo Penicillium	111
Figura 74. Rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) Objeto que no es naranja	111
Figura 75. Grafica de rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) Objeto que no es naranja	113
Figura 76. Grafica de rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) Resultados finales	113
Figura 77. Grafica de rangos de efectividad (Detección Manual vs Detección Automatizada)	115
Figura 78. Detección de superficies a través de contraste de colores de UCATECI	118
Figura 79. Detección de superficies a través de contraste de colores de UPV	119
Figura 80. Detección de daño por congelamiento vs detección de sistema integrado	124

Lista de tablas

Tabla 1. Lista de dispositivos y sistemas necesarios para la realización del software	64
Tabla 2. Umbrales de similitud de variables a evaluar	100
Tabla 3. Rangos de efectividad (SIS.YOLO/SIS.INTEGRADO FINALIZADO) naranjas sanas	105
Tabla 4. Rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) naranjas con hongo Colletotrichum	107
Tabla 5. Rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) naranjas con hongo Penicillium	109
Tabla 6. Rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) Objeto que no es naranja	111
Tabla 7. Rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) Resultados finales	113
Tabla 8. Rangos de efectividad (YOLO/SIS.FINALIZADO) Detección Manual vs Detección Automatizada	115
Tabla 9. Detección de superficies a través de contraste de colores para fresas con yolo v7	119
Tabla 10. Comparación de sistemas de detección	122
Tabla 11. Análisis T	124

Lista de Diagramas

Diagrama 1. Diagrama de procesos del proyecto “Fabricación de prototipo de sistema de control de calidad para la detección de contaminantes superficiales en cosechas de naranjas <i>Citrus sinensis</i> Obs utilizando visión artificial”	44
Diagrama 2. Diseño circuito de control en el software Proteus	65
Diagrama 3. Diseño de la localización de componentes circuito de control en PCB en el software Proteus	66
Diagrama 4. Arquitectura del sistema integrado con banda transportadora	75

Lista de anexos

Anexo 1. Tabla de resultados pruebas Naranjas sanas	164
Anexo 2. Tabla de resultados pruebas Naranjas malas con hongo: <i>Penicillium italicum</i>	166
Anexo 3. Tabla de resultados pruebas Naranjas malas con hongo: <i>Colletotrichum</i>	168
Anexo 4. Tabla de resultados pruebas Objeto que no es Naranja	170

Lista de abreviaturas

- **YOLOv5 (You Only Look Once v5):** Algoritmo de aprendizaje profundo para la identificación en tiempo real de objetos, fundamentado en redes neuronales convolucionales. Empleada para detectar naranjas y agentes contaminantes.
- **OpenCV (Vision Computer Open Source):** Código abierto de librería para el procesamiento de imágenes y la inteligencia artificial. Aplicado para la identificación de contornos y el estudio del color.
- **HSV (Hue, Saturation, Value):** Es un modelo de color que distingue entre tono, saturación y resplandor. Es fundamental para dividir naranjas de fondos y identificar alteraciones en la superficie.
- **CNN (Red Neurológica Convolucional):** Red neuronal de convolución. Fundamento de YOLOv5 para obtener rasgos visuales jerárquicos.
- **PCB (Placa de Circuito Impreso):** Es una placa de circuito diseñada para incorporar elementos electrónicos del sistema.
- **RPi5 (Pi 5 Raspberry):** Microprocesador económico utilizado como eje central del sistema integrado. Aplica algoritmos de inteligencia artificial.
- **AFC (Agricultura Campesina Familiar):** Sector agrícola de Ecuador que se beneficia del prototipo, centrado en productores de pequeña escala.
- **LED (Diodo de Emisión de Luz):** Sistema regulado de iluminación para optimizar la toma de imágenes.
- **HDR (Wide Range of Dynamics):** Método para capturar detalles en áreas de luz intensa y baja.

- **Map (Precision Promedio Medio):** Métrica utilizada para medir la exactitud de los modelos de detección. YOLOv5 alcanza el ~52.8% en la base de datos COCO.

Lista de conceptos

- **Visión artificial:** Tecnología para el análisis automático de imágenes a través de algoritmos. Aplicado para la revisión de calidad en naranjas.
- **Aprendizaje profundo (Deep Learning):** Subcampo de Inteligencia Artificial que emplea redes neuronales de múltiples capas. Contratado en YOLOv5 para detectar patrones complicados.
- **Reconocimiento de contornos:** Método para identificar bordes de objetos en fotografías. Emplea algoritmos como Canny para identificar formas de forma círculo.
- **Penicillium:** Hongo que provoca la "podredumbre verde con blanco" en los cítricos. Identificado a través de alteraciones de color y textura.
- **Colletotrichum:** Hongo causante de antracnosis. Reconocido por marcas marrones en la superficie de las naranjas.
- **Segmentación de color:** Procedimiento para separar objetos en fotografías basado en rangos HSV. Aplicación para distinguir las naranjas del fondo.
- **Banda transportadora:** Aparato mecánico para desplazar naranjas por áreas de inspección y clasificación.
- **Hiperspectral:** Método de imagen que recoge información en diversas longitudes de onda. Se menciona como una opción avanzada para la detección de imperfecciones.

- **Edge Impulse:** Plataforma para capacitar modelos de Inteligencia Artificial en aparatos de consumo reducido. En comparación con YOLOv5 en términos de eficiencia.
- **Servo Motor:** Control de rotación a través de señales digitales. Aplicado para eliminar naranjas con fallas en la banda.
- **Umbral de similitud:** Valor que oscila entre 0 y 1 señala la fiabilidad del sistema en una detección. ≥ 0.95 para naranjas saludables.
- **Proteus:** Programa para la creación y simulación de circuitos electrónicos. Implementado en la integración de dispositivos hardware.
- **Arduino Nano:** Microcontrolador destinado a manejar motores y sensores en la banda de transporte para administrar motores y sensores en la banda de transporte.

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo crear un prototipo de sistema de control de calidad basado en visión artificial para identificar contaminantes superficiales en las naranjas *Citrus sinensis* Obs. Se puso en práctica un método experimental que fusionó algoritmos de aprendizaje profundo (YOLOv5) y métodos de procesamiento de imágenes (OpenCV) en una plataforma asequible (Raspberry Pi 5). Se implementó el sistema en una banda transportadora automatizada para replicar condiciones de producción reales.

Los hallazgos evidenciaron un incremento considerable en la exactitud de detección en comparación con la utilización independiente de YOLO. El sistema integrado logró una precisión del 90-98% en la identificación de naranjas sanas, 85-91.42% en las infectadas con *Colletotrichum*, 88-97.15% en las infectadas con *Penicillium*, y 92-99% en la identificación de elementos no naranja. Adicionalmente, el prototipo consiguió manejar hasta 8 naranjas cada minuto, superando la eficacia a largo plazo de la inspección manual.

El aporte de este proyecto reside en la fusión de métodos sofisticados de visión artificial con equipo económico, lo que conlleva a un sistema de control de calidad eficiente y accesible para pequeños productores. El prototipo elaborado, que cuesta menos de \$400, constituye una solución revolucionaria que balancea exactitud, rapidez y accesibilidad, favoreciendo de esta manera la mejora de los procedimientos de control de calidad en la producción de naranjas, particularmente en el marco de la Agricultura Familiar Campesina en Ecuador.

Palabras clave: **Visión artificial, HSV, machine learning, control de calidad, contaminantes superficiales, umbral de similitud.**

Abstract

The present research work aims to create a prototype of a quality control system based on artificial vision to identify surface contaminants in Citrus sinensis Obs. oranges. An experimental method was implemented that merged deep learning algorithms (YOLOv5) and image processing methods (OpenCV) on an affordable platform (Raspberry Pi 5). The system was implemented on an automated conveyor belt to replicate real production conditions.

The findings showed a considerable increase in detection accuracy compared to the independent use of YOLO. The integrated system achieved an accuracy of 90-98% in the identification of healthy oranges, 85-91.42% in those infected with Colletotrichum, 88-97.15% in those infected with Penicillium, and 92-99% in the identification of non-orange elements. Additionally, the prototype managed to handle up to 8 oranges every minute, surpassing the long-term effectiveness of manual inspection.

The contribution of this project lies in the fusion of sophisticated artificial vision methods with inexpensive equipment, which leads to an efficient and accessible quality control system for small producers. The prototype developed, which costs less than \$400, constitutes a revolutionary solution that balances accuracy, speed and accessibility, thus favoring the improvement of quality control procedures in orange production, particularly in the context of Family Farming in Ecuador.

Keywords: **Computer vision, oranges, machine learning, quality control, surface contaminants, similarity threshold**