

---

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VICTORIA

## REPORTE DEL PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Desarrollo de un sistema de inteligencia artificial para la  
clasificación de cítricos por color, defectos y tamaño en  
ambiente industrial

QUE PRESENTA

**Ángel Dagoberto Cantú Castro**

EN CUMPLIMIENTO DEL SEMINARIO 1, FORMALIZACIÓN E  
INICIO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN COMO PARTE  
DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA

ASESOR(ES)

**Dr. Yahir Hernández Mier**

**Dr. Marco Aurelio Nuño Maganda**

Ciudad Victoria, Tamps, 12 de Agosto del 2025

---

---

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Introducción

La clasificación automática de frutas es un proceso esencial en la industria citrícola. Si este proceso se realiza en forma manual, es tardado y requiere de una gran cantidad de personas y el resultado es altamente dependiente de la experiencia del operador. Existen clasificadores industriales puramente mecánicos que solo clasifican por tamaño. También existen sistemas industriales basados en visión por computadora, que cuentan con un buen desempeño en velocidad y precisión.

Esto da entrada a nuevos y mejores métodos de clasificación que permitirán mayor versatilidad y manipulación a conveniencia del cliente, como lo es la implementación de redes neuronales que hoy en día se encuentran en su apogeo, además de que estas cumplen con los requisitos para su implementación en esta área.

Las redes convolucionales permiten extraer características externas de los cítricos, así como el color que representa la madurez, marcas en la superficie que pueden representar daño o defectos y la clasificación por tamaño. Todo esto, sumado a la velocidad de operación de una máquina, representará una mejora significativa. El sistema será adecuado para un entorno industrial; interactúa con sensores y actuadores mecánicos del equipo ya obsoleto, reemplazando el sistema de clasificación anterior.

---

---

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 General

Implementar un sistema de clasificación de limones por colores, defecto y tamaño en un entorno industrial con una precisión mayor al 95%, haciendo uso de redes convolucionales para la extracción de dichas características, logrando una mejora en la velocidad y precisión con una reducción de costo de operación.

### 1.2.2 Específicos

1. Capturar un conjunto de datos de 20000 imágenes de limones mostrando sus diferentes etapas o aspectos físicos.
2. Realizar diferentes entrenamientos de redes convolucionales obteniendo el de mejor comportamiento.
3. Implementar el modelo en el sistema de visión artificial.
4. Realizar pruebas físicas en entorno industrial.

## 1.3. Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de modernizar los sistemas de clasificación de cítricos en la industria, particularmente en empresas que aún dependen de maquinaria obsoleta o procesos manuales con altos márgenes de error humano. Aunque existen numerosos estudios sobre el uso de redes neuronales para la clasificación de frutas, actualmente no se han reportado implementaciones que integren simultáneamente la clasificación por color, defectos y tamaño en un mismo sistema, lo que posiciona este trabajo como una contribución original dentro del campo. Desde el enfoque teórico, el proyecto se basa en el uso de modelos de machine learning y redes neuronales convolucionales (CNN), sustentados por literatura científica reciente y ampliamente aplicados en tareas de visión por computadora. En el aspecto práctico, se hará uso de herramientas como Python, TensorFlow, Scikit-learn y OpenCV para desarrollar un sistema capaz de analizar las características visuales del limón a partir de un conjunto de 20,000 imágenes, previamente capturadas mediante un sistema de visión artificial ya instalado y etiquetadas con un software propio. Metodológicamente, el conjunto de datos será dividido en proporciones del 70% para entrenamiento, 20% para

---

validación y 10% para prueba, lo cual permitirá evaluar rigurosamente el desempeño del modelo. Asimismo, se realizarán pruebas preliminares fuera del entorno industrial para asegurar la confiabilidad del sistema antes de su implementación definitiva. La empresa local “Cítricos Las Hadas”, dedicada al empaque y exportación de limón, será la beneficiaria directa de este proyecto, al sustituir procesos manuales ineficientes por una solución tecnológica accesible y precisa. A largo plazo, este desarrollo podría ser escalado para beneficiar a otras empresas del sector, generando un impacto positivo más amplio en la industria citrícola.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1 Hipótesis 1**

La hipótesis sostiene que, al utilizar una red neuronal convolucional entrenada con imágenes previamente etiquetadas de limones en distintas condiciones visuales, es posible lograr una clasificación efectiva de los frutos por color, presencia de defectos y tamaño, con una precisión superior al 95% en un entorno industrial. Esta suposición parte del hecho de que las redes neuronales profundas, al ser alimentadas con un volumen adecuado de datos representativos, pueden aprender a identificar patrones visuales relevantes y tomar decisiones de clasificación con alta fiabilidad.

## **1.5 Alcance de la investigación**

La investigación se inicia como exploratoria, al adentrarse en la posibilidad de integrar la clasificación simultánea por color, tamaño y defectos en cítricos mediante inteligencia artificial. Se desarrollará como descriptiva, al detallar el comportamiento del sistema en distintas condiciones industriales y evaluar sus componentes. Finalmente, Terminara como explicativa, al identificar las causas del desempeño del modelo y su relación con las variables del entorno industrial.

## **1.6 Viabilidad**

---

Para llevar a cabo el desarrollo del sistema de inteligencia artificial propuesto, se cuenta con diversos recursos proporcionados por la institución y el equipo de investigación, lo que garantiza la factibilidad técnica y operativa del proyecto. A continuación, se presenta un desglose de los recursos disponibles (Tabla 1) y de los que aún no se encuentran disponibles (Tabla 2).

**Tabla 1. Recursos necesarios y disponibles en la institución**

Recurso	Disponible	Observaciones
Computadoras con GPU para entrenamiento de modelos	Sí	Equipos con capacidad suficiente para realizar entrenamiento con CNN
Sistema de visión artificial (cámara y estructura de captura)	Sí	Instalado y funcional para captura de imágenes de limones
Software y librerías (Python, TensorFlow, OpenCV, Scikit-learn)	Sí	Todo el entorno de desarrollo ya está configurado
Asesores especializados en inteligencia artificial y visión por computadora	Sí	Profesores y especialistas disponibles en la institución
Espacio para pruebas (laboratorio y empresa)	Sí	Se cuenta con ambos espacios disponibles para validación del sistema

**Tabla 2. Recursos necesarios y no disponibles en la institución**

Recurso	Disponible	Observaciones
Dataset de imágenes de limones en cosecha	No	La producción industrial está retrasada; se espera reactivación en 2 semanas

---

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Información general

La citricultura es una actividad agrícola de gran relevancia económica en México, en regiones como Tamaulipas, donde se produce una porción considerable del limón (Citrus limón) destinado al mercado nacional e internacional. La competitividad de este sector por la calidad del producto, la cual depende de parámetros como el color, el tamaño y la presencia de defectos en la superficie de los frutos.

En la actualidad, gran parte del proceso de clasificación de cítricos se realiza de forma manual, lo cual implica limitaciones en términos de velocidad, uniformidad, precisión y trazabilidad. En respuesta a estas problemáticas, el desarrollo de sistemas inteligentes basados en visión por computadora e inteligencia artificial se ha convertido en una solución viable para automatizar y optimizar este tipo de procesos en entornos industriales.

### 2.2. Información específica

El proyecto plantea el uso de imágenes RGB capturadas en tiempo real y procesadas mediante algoritmos de visión artificial para segmentar y analizar características clave del fruto. Una etapa crítica en este flujo de trabajo es la segmentación de imágenes, que permite aislar los frutos del fondo y otras estructuras no deseadas, garantizando así una evaluación precisa.

Las técnicas de segmentación implementadas en este tipo de aplicaciones incluyen:

Umbralización: transforma una imagen a blanco y negro según un umbral de intensidad. Puede ser simple (un solo valor) o adaptativa, ajustando localmente el umbral para manejar variaciones de iluminación.

Transformaciones morfológicas: como la erosión, dilatación, apertura y cierre, útiles para eliminar ruido, cerrar contornos o mejorar las regiones segmentadas.

Detección de bordes: algoritmos como Canny o Sobel se utilizan para resaltar los límites del fruto, facilitando su separación del fondo.

Segmentación basada en color: al trabajar con imágenes RGB o en espacios de color como HSV, se pueden seleccionar rangos de tonalidad para detectar grados de madurez o defectos relacionados con coloración anormal.

---

---

Una vez logrado se aplica un modelo de red neuronal convolucional (CNN) para clasificar las imágenes segmentadas. Las arquitecturas utilizadas incluyen VGG16, MobileNetV2, EfficientNet y ResNet. Estas redes son conocidas por su capacidad para detectar patrones complejos, incluso en conjuntos de datos con variabilidad significativa.

La implementación se realiza en una máquina empacadora Sunkist ya existente, integrando los algoritmos en una computadora embebida que recibe imágenes en tiempo real, procesa las predicciones y activa mecanismos físicos de selección. Además, el sistema está diseñado para ser configurable por el operador humano, quien puede ajustar parámetros del clasificador sin detener el flujo industrial.

### **2.3. Estado del arte**

Investigaciones recientes han demostrado la eficacia del aprendizaje profundo en la clasificación de frutas. Por ejemplo, Xia et al. (2022) propusieron un modelo CNN para detectar imperfecciones en cítricos obteniendo un 94.6 % de precisión, mientras que Wang et al. (2021) utilizaron EfficientNet-B0 para clasificar el grado de madurez con una exactitud superior al 92 %.

Otros estudios, como el de Sharma et al. (2020), aplicaron MobileNetV2 para identificar enfermedades en frutas tropicales con baja carga computacional, lo que valida su uso en sistemas embebidos. Por otro lado, Al Ohali et al. (2019) exploraron el uso de técnicas de segmentación clásica para separar el fondo de los frutos y mejorar la precisión del análisis morfológico.

La mayoría de estos trabajos se realizaron en entornos experimentales controlados o con datasets públicos. A diferencia de ellos, este proyecto se enfoca en un entorno industrial real, integrando los modelos entrenados en un sistema físico de clasificación en línea, dentro de una empacadora. Este enfoque busca validar la viabilidad de la IA no solo como herramienta de análisis, sino como solución directamente aplicable al sector agrícola productivo.

---

---

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Materiales, equipo y herramientas

Para el desarrollo del sistema de clasificación de limones en un entorno industrial, se dispone de un sistema de visión artificial previamente construido, el cual se reutilizará y optimizará para este proyecto. Este sistema incluye una cámara USB ya instalada, iluminación LED integrada y sensores mecánicos conectados a la estructura de clasificación que fue desarrollada en un trabajo anterior. Debido a que el entorno de trabajo es completamente industrial, no se requiere realizar una simulación adicional.

La captura de imágenes se realizará directamente con esta cámara USB, garantizando condiciones reales de operación. La iluminación LED permitirá condiciones homogéneas durante la adquisición. Los sensores instalados serán los encargados de sincronizar la detección de frutos con el disparo de la cámara.

Para el procesamiento de datos y el entrenamiento de modelos, se emplean dos tipos de plataformas: una computadora portátil sin GPU con procesador Intel i7-1165G7 para procesamiento de imágenes y tareas generales, y la plataforma Google Colab (versión gratuita) para aprovechar su capacidad de entrenamiento en GPU. Las herramientas de desarrollo están basadas en el lenguaje Python, haciendo uso de bibliotecas como NumPy, TensorFlow, Keras, OpenCV y os, seleccionadas por su alto rendimiento en visión por computadora y redes neuronales.

#### 3.2. Metodología

La metodología propuesta se divide en tres etapas, directamente alineadas con los objetivos específicos del proyecto: adquisición y preparación del dataset, entrenamiento y validación del modelo, e implementación en entorno industrial.

##### **Etapas 1: Adquisición y preparación del conjunto de datos**

Se capturarán un total de 20,000 imágenes de limones en condiciones industriales reales. Estas imágenes serán etiquetadas manualmente para garantizar la correcta clasificación en tres dimensiones: estado (sano o desecho), tamaño (7 categorías) y madurez (maduro o no maduro). Solo las imágenes clasificadas como desecho se someterán a técnicas de aumento de datos, aplicando rotaciones, escalas, ajustes de contraste y traslaciones. El

---



---

objetivo es maximizar la variabilidad de esta clase, que será la única utilizada en el entrenamiento supervisado.

En cuanto al preprocesamiento, se trabajará con el espacio de color LAB, utilizando su canal b para reducir ruido y destacar las regiones del limón. Se aplicará umbralización adaptativa y enmascaramiento para centrar la atención en la fruta, mejorando así la calidad de entrada para el modelo.

### **Etapas 2: Entrenamiento y validación del modelo**

Se diseñará una arquitectura personalizada de red neuronal convolucional, optimizada para ofrecer un equilibrio entre precisión y velocidad de inferencia. El conjunto de datos será dividido en 80% para entrenamiento, 10% para validación y 10% para prueba. Se realizarán múltiples pruebas con diferentes valores de tasa de aprendizaje, estableciendo un límite de 200 épocas y utilizando callbacks como EarlyStopping y ModelCheckpoint para prevenir el sobreajuste y conservar los mejores pesos.

El rendimiento del modelo será evaluado mediante métricas como precisión, recall, F1-score y accuracy, además de gráficas de progreso en el entrenamiento. Estas herramientas permitirán monitorear el desempeño del modelo y realizar ajustes oportunos.

### **Etapas 3: Implementación y validación en entorno industrial**

El modelo seleccionado será implementado en una Raspberry Pi 4B, donde se medirá su velocidad de inferencia y se evaluará su integración con el sistema físico. Se realizarán pruebas industriales en tiempo real, analizando la capacidad del modelo para clasificar correctamente los limones en condiciones operativas. Se llevará a cabo un análisis estadístico del error en las diferentes clasificaciones y se verificará que la precisión supere el 95% como criterio mínimo de éxito.

---

#### 4. CRONOGRAMA

[illegible]

---

## Bibliografía

- [1] L. Kujur, V. Gupta, and A. Singhal, "A hybrid multi-optimizer approach using CNN and GB for accurate prediction of citrus fruit diseases," *Discover Applied Sciences*, vol. 7, no. 151, 2025. doi: 10.1007/s42452-025-06593-2.
- [2] P. Dhiman, A. Kaur, Y. Hamid, E. Alabdulkreem, H. Elmannai, and N. Ababneh, "Smart Disease Detection System for Citrus Fruits Using Deep Learning with Edge Computing," *Sustainability*, vol. 15, no. 4576, 2023. doi: 10.3390/su15054576.
- [3] W. Gómez-Flores, J. J. Garza-Saldaña, and S. E. Varela-Fuentes, "CitrusUAT: A dataset of orange *Citrus sinensis* leaves for abnormality detection using image analysis techniques," *Data in Brief*, vol. 52, 109908, 2024. doi: 10.1016/j.dib.2023.109908.
- [4] C. Yang, Z. Teng, C. Dong, Y. Lin, R. Chen, and J. Wang, "In-Field Citrus Disease Classification via Convolutional Neural Network from Smartphone Images," *Agriculture*, vol. 12, no. 1487, 2022. doi: 10.3390/agriculture12091487.
- [5] M. El Akrouchi, M. Mhada, M. Bayad, M. J. Hawkesford, and B. Gérard, "AI-based framework for early detection and segmentation of green citrus fruits in orchards," *Smart Agricultural Technology*, vol. 10, 100834, 2025. doi: 10.1016/j.atech.2025.100834.
- [6] A. Elaraby, W. Hamdy, and S. Alanazi, "Classification of Citrus Diseases Using Optimization Deep Learning Approach," *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2022, 9153207, 2022. doi: 10.1155/2022/9153207.
- [7] J. V. Aguilar-Alvarado and M. A. Campoverde-Molina, "Clasificación de frutas basadas en redes neuronales convolucionales," *Pol. Con.*, vol. 5, no. 01, pp. 3–22, Jan. 2020. doi: 10.23857/pc.v5i01.1210.
- [8] Y. Chen, X. An, S. Gao, S. Li, and H. Kang, "A Deep Learning-Based Vision System Combining Detection and Tracking for Fast On-Line Citrus Sorting," *Frontiers in Plant Science*, vol. 12, 622062, 2021. doi: 10.3389/fpls.2021.622062.
- [9] Z. Zheng, J. Xiong, H. Lin, Y. Han, B. Sun, Z. Xie, Z. Yang, and C. Wang, "A Method of Green Citrus Detection in Natural Environments Using a Deep Convolutional Neural
-

---

Network,” *Frontiers in Plant Science*, vol. 12, 705737, 2021. doi: 10.3389/fpls.2021.705737.

[10] P. K. Yadav, T. Burks, Q. Frederick, J. Qin, M. Kim, and M. A. Ritenour, “Citrus disease detection using convolution neural network generated features and Softmax classifier on hyperspectral image data,” *Frontiers in Plant Science*, vol. 13, 1043712, 2022. doi: 10.3389/fpls.2022.1043712.

---

---

## 6. COMITÉ DE SEGUIMIENTO

\_\_\_\_\_  
Alumno. - Ángel Dagoberto Cantú Castro

\_\_\_\_\_  
Director: Dr. Yahir Hernández Mier

\_\_\_\_\_  
Co-Director: Marco Aurelio Nuño  
Maganda