

Dispositivo que permite la identificación por tipo y tamaño de la naranjilla y del tomate de árbol mediante visión artificial para mejorar la producción en PYMES

Device that allows the identification by type and size of the naranjilla and the tree tomato by artificial vision to improve production in SMEs

- 1 Vanessa Maribel Ati Andaluz  <https://orcid.org/0000-0003-2999-1840>
Ingeniera en Electrónica y Automatización, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
vane22_mj@outlook.com
- 2 Cristian Antonio Erazo Peñafiel  <https://orcid.org/0000-0001-5378-2016>
Ingeniero en Electrónica y Automatización, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
cristronick@gmail.com
- 3 Diana Carolina Ati Andaluz  <https://orcid.org/0000-0003-1452-4801>
Ingeniera en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
carolina16_andaluz@yahoo.es
- 4 Oswaldo Geovanny Martínez  <https://orcid.org/0000-0001-9018-7777>
Máster Universitario En Sistemas Tecnologías y Redes De Comunicaciones, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de informática y Electrónica
omartinez@epoch.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 13/05/2022

Revisado: 28/06/2022

Aceptado: 15/07/2022

Publicado: 05/08/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.1.242>

Cítese:

Ati Andaluz, V. M., Erazo Peñafiel, C. A., Ati Andaluz, D. C., & Geovanny Martínez, O. (2022). Dispositivo que permite la identificación por tipo y tamaño de la naranjilla y del tomate de árbol mediante visión artificial para mejorar la producción en PYMES. AlfaPublicaciones, 4(3.1), 127–147. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.1.242>



ALFA PUBLICACIONES, es una Revista Multidisciplinar, **Trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons AttributionNonCommercialNoDerivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras

claves: Visión artificial, Identificador de frutas, Algoritmo de identificación, Red neuronal convolucional, Interfaz gráfica, Banda transportadora.

Keywords:

Machine vision, Fruit identifier, Identification algorithm, Convolutional neural network, Graphical interface, Conveyor belt.

Resumen

El presente trabajo consistió en el diseño e implementación de un prototipo que permita la identificación por tipo y tamaño de la naranjilla y del tomate de árbol, para poder lograrlo se utilizó un sistema de visión artificial por computador basado en redes neuronales. El prototipo dispone de tres sistemas: el sistema de adquisición de imágenes conformado por una cámara web e iluminación para la captura de datos; el sistema de visión artificial utiliza el método de procesamiento de imágenes para realizar la clasificación por tamaño y redes neuronales para la clasificación por tipo, finalmente el sistema mecánico está conformado por un sistema de almacenamiento y una banda transportadora. Para el entrenamiento de la Red Neuronal Artificial se utilizó el algoritmo convolucional que a través de la adquisición de imágenes entrena el identificador, se estableció tres categorías: tomate de árbol, naranjilla y objeto desconocido, cada una posee una base de datos. Los algoritmos de programación fueron desarrollados en Raspbian, con lenguaje de programación Python utilizando librerías de OpenCV y TensorFlow. La interfaz gráfica fue desarrollada mediante la biblioteca Tkinter, permitiendo al usuario controlar seis botones: iniciar cámara, tomar foto, cargar foto, tipo de fruta, tamaño de fruta, cerrar programa. En base a las pruebas realizadas, se establece que el sistema funciona de manera óptima con un 95% al detectar el tipo de fruta, el 93% para identificar el tamaño, el tiempo de respuesta oscila entre 0.3 y 1.3 segundos. Se concluye que el prototipo logra la identificación de los frutos por su tipo y tamaño con un margen de error mínimo.

Abstract

The present work consisted of the design and implementation of a prototype that allows the identification by type and size of the orange tree and the tree tomato, to achieve this, a computer vision system based on neural networks was used. The prototype has three systems: the image acquisition system consisting of a webcam and lighting for data capture; the artificial vision system uses the image processing method to perform the classification by size and neural networks for the classification by type, finally the mechanical system is made up of a storage system and a conveyor belt. For the training of the Artificial Neural Network, the convolutional algorithm was used that through the acquisition of images trains the

identifier, three categories were established: tree tomato, naranjilla and unknown object, each one has a database. The programming algorithms were developed in Raspbian, with Python programming language using OpenCV and TensorFlow libraries. The graphical interface was developed using the Tkinter library, allowing the user to control six buttons: start camera, take photo, upload photo, fruit type, fruit size, close program. Based on the tests conducted, it is established that the system works optimally with 95% when detecting the type of fruit, 93% to identify the size, the response time ranges between 0.3 and 1.3 seconds. It is concluded that the prototype achieves the identification of the fruits by their type and size with a minimum margin of error.

Introducción

El sistema de visión por computador en la agricultura ha aumentado de forma considerable en los últimos tiempos, principalmente en la monitorización de cultivos, agricultura de precisión, identificación en líneas de procesamiento y su mayor auge en la automatización de procesos. La principal característica de este sistema es proporcionar cantidades de información acerca de la naturaleza y atributos de la escena analizada. La visión artificial representa una de las herramientas transversales más relevantes dentro de la industria 4.0, esta tecnología es rápida, precisa, no es destructiva o invasiva para los alimentos y evita la inspección humana, que en jornadas largas tiende a ser costosa, subjetiva e imprecisa. En Ecuador el uso de la Inteligencia Artificial dentro de la automatización de procesos es muy baja en las microempresas y pymes, un sistema de visión artificial que sea capaz de detectar el tipo y tamaño de fruta garantizará una identificación de mayor calidad, obviando la subjetividad del humano al momento de realizar dicho trabajo.

Objetivos. - Realizar un prototipo que permita la clasificación por tipo y tamaño de frutas mediante visión artificial teniendo como fin mejorar y automatizar los procesos de selección y clasificación de productos dentro de las microempresas agrícolas.

Diseñar un prototipo que ejecute la clasificación de frutas y que permita cumplir con los requerimientos tales como: capturar las imágenes en alta resolución para la correcta identificación de frutas, controlar la posición de la fruta para su identificación, diseñar un sistema de transporte y almacenamiento óptimo para el traslado de la fruta evitando en todo momento la manipulación humana, establecer un límite de tiempo para el paso de cada fruta por la banda transportadora y contabilizar las frutas identificadas por categoría.

Metodología

A continuación, detallaremos los principales métodos y técnicas que fueron utilizados para la implementación del dispositivo propuesto en este trabajo de investigación.

Normas INEN para la identificación de la naranjilla y tomate de árbol

Identificación de la naranjilla. - La norma INEN 2 303:2009 que se muestra en la tabla 1, manifiesta que el tamaño o calibre de la Naranjilla se determina por el diámetro en mm, la longitud en mm y la masa en g.

Tabla 0

Tamaño de la naranjilla de acuerdo con la norma INEN 2 303:2009

Tamaño o Calibre	Masa promedio, g	Diámetro, mm	Longitud, mm
Grande	> 130	> 68	> 55
Mediana	130 a 80	68 - 60	55 - 45
Pequeña	< 80	< 60	< 45

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2010)

Identificación del tomate de árbol. - La norma INEN 1 909:2009 que se muestra en la tabla 2, manifiesta que el tamaño o calibre del Tomate de Árbol se determina por el diámetro en mm, la longitud en mm y la masa en g.

Tabla 2

Tamaño del tomate de árbol de acuerdo con la norma INEN 1 909:2009

Tamaño o Calibre	Masa promedio, g	Diámetro, mm	Longitud, mm
Grande	> 120	> 55	> 70
Mediana	60 – 120	45 - 55	60 - 70
Pequeña	< 60	< 45	< 60

Fuente: INEN (2006)

Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial radica en la capacidad de desarrollar máquinas que poseen la habilidad de realizar funciones que requieren de inteligencia (Alonso, 2009, p.1)

La IA permite que los sistemas tecnológicos perciban su entorno, se relacionen con él, resuelvan problemas y actúen con un fin específico. La máquina recibe datos (ya preparados o recopilados a través de sus propios sensores, por ejemplo, una cámara), los procesa y responde a ellos (Noticias Parlamento Europeo, 2021, p.1)

Sistemas de Visión Artificial

Es un subcampo de la Inteligencia artificial que a partir de diversas tecnologías permite reconocer, procesar y analizar la información mediante imágenes digitales para finalmente tomar decisiones con las características extraídas (Nogué & Antiga, 2012, p.66).

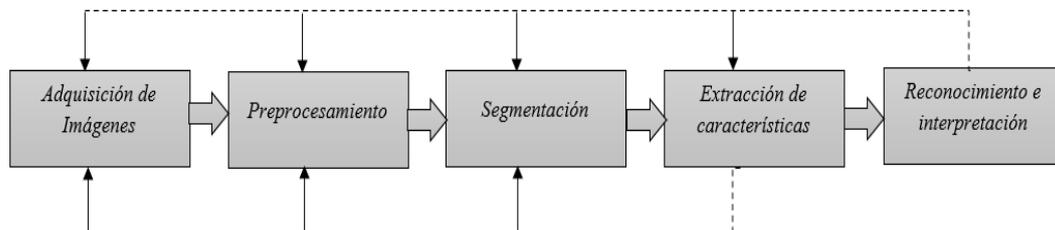
Para desarrollar un sistema de visión artificial que identifique los frutos se requiere definir la arquitectura que posee mediante el hardware/software y las etapas a seguir. El hardware está compuesto de: una cámara, una tarjeta que permita el procesamiento de las imágenes, la banda transportadora y un sistema de almacenamiento y dosificación. En la etapa del software se tiene el algoritmo programado a emplear y la red neuronal para la identificación de objetos (Parra & Cuervo, 2018, p.3).

- *Etapas de un Sistema de Visión Artificial*

Un sistema de Visión artificial tiene cinco etapas: adquisición de imágenes, preprocesamiento, segmentación, extracción y selección de características y reconocimiento e interpretación.

Figura 1

Etapas de un sistema de visión artificial



Adquisición de Imágenes. - Consiste en obtener la imagen o secuencia de imágenes que se desea analizar, depende de dos factores: el primero es determinar el objeto de interés (rostros, pinturas, frutas, etc.) y el segundo el propósito de estudio (Minardi, 2014, pp.3,4).

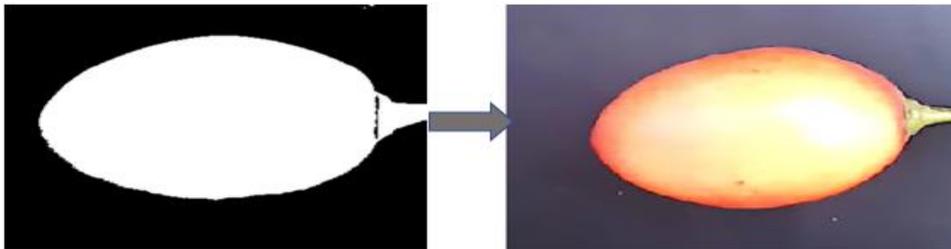
Preprocesamiento. - Repara los defectos producidos o no eliminados por el hardware, los algoritmos permiten modificar la imagen eliminando el ruido, mejorando el contraste y realizando una conversión geométrica de la imagen (González et al., 2016, p.33)

Segmentación. - Se basa en la comparación de varias imágenes tomadas en el tiempo por lo que se puede detectar el objeto en movimiento y sus características. Una vez segmentada la imagen original se procede a un análisis, como se muestra en la figura en

dicho análisis pueden ser interesantes características como el área, perímetro, momentos, curvatura (Peña, 2010, p.10) .

Figura 2

Separación del objeto de estudio, del fondo de la imagen



Extracción y selección de características. - Este proceso extrae la información cualitativa de los objetos de la imagen segmentada, estas características son las entradas de los algoritmos que se encargan de identificar los objetos, estas características morfológicas pueden ser: la textura, color, forma, además se puede obtener información relacionada al color (Herrera & Medina, 2015, p.28).

Reconocimiento e Interpretación.- Se encarga de filtrar todas las imágenes capturadas, se realiza el reconocimiento mediante el análisis de fotogramas, para lograr el reconocimiento se utilizan técnicas de procesamiento de imágenes, visión por computador, reconocimiento de patrones y redes neuronales (Caballero, 2017, p.10).

Redes Neuronales

Las Redes Neuronales (CNN) son esquemas computacionales que tratan de emular el comportamiento del cerebro humano, estas están formadas por múltiples procesadores elementales los cuales poseen una baja capacidad de procesamiento.

El algoritmo de predicción toma la imagen capturada por la cámara, carga los modelos creados por la red neuronal convolucional, realiza una comparación e inmediatamente da como resultado el tipo de fruta que se encuentra en la banda transportadora.

Algoritmos para la identificación de objetos

El reconocimiento de objetos es una técnica de visión artificial para identificar objetos en imágenes o vídeos. El reconocimiento de objetos constituye una salida clave de los algoritmos de aprendizaje automático y profundo (Mathworks, 2021, p.1).

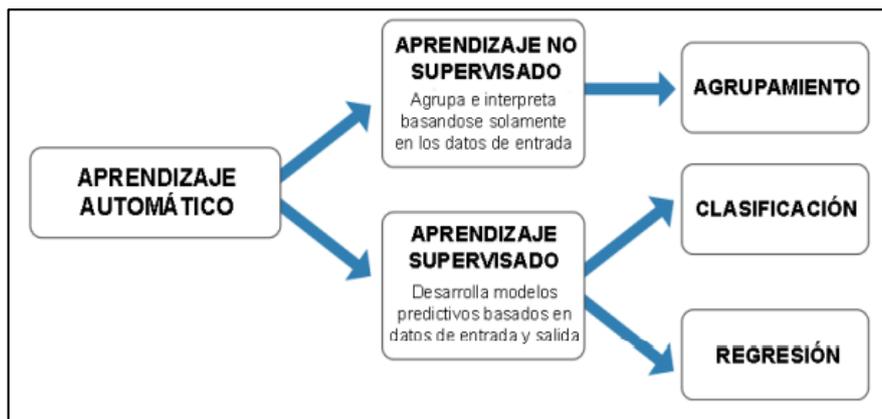
Aprendizaje Automático. - Es especializado en el reconocimiento de patrones complejos en un conjunto de datos, en un programa se puede extraer información relevante de los datos procesados sin ser programados para esto. La información adquirida permite que el

programa aprenda y ejecute su tarea de manera sofisticada. Al desarrollar algoritmos eficientes, estos acercamientos permiten identificar relaciones invisibles para el ojo humano (Gonzales, 2018, p.1).

Existen diferentes maneras en las que se puede modelar un algoritmo para que aprenda de los datos, pero de forma general se han definido las siguientes categorías de aprendizaje.

Figura 3

Categorías de un algoritmo de aprendizaje profundo



Fuente: Altamirano y Pazmiño, (2018, p.16)

Aprendizaje Profundo. - Forma parte del aprendizaje automático es decir requiere de datos entrenados, pero no necesitan estar etiquetados, es similar al sistema neurológico humano (Universidad Internacional de la Rioja [UNIR], 2021, p.1).

Este algoritmo posee estadísticas y modelos predictivos, tiene la tarea de recopilar, analizar e interpretar altas cantidades de datos; el aprendizaje profundo hace que este proceso sea más rápido y sencillo (Burns, 2021, p.1).

Requerimientos generales

- Capturar las imágenes en alta resolución para identificar las frutas correctamente.
- Seleccionar la tarjeta de control que permita procesar los datos de las imágenes capturadas.
- Controlar la posición de la fruta para su identificación.
- Identificar la fruta por su tipo y tamaño.
- Emitir mensaje de alerta cuando se identifique una fruta diferente a las establecidas.
- Diseñar un sistema de transporte y almacenamiento óptimo para el traslado de la fruta.

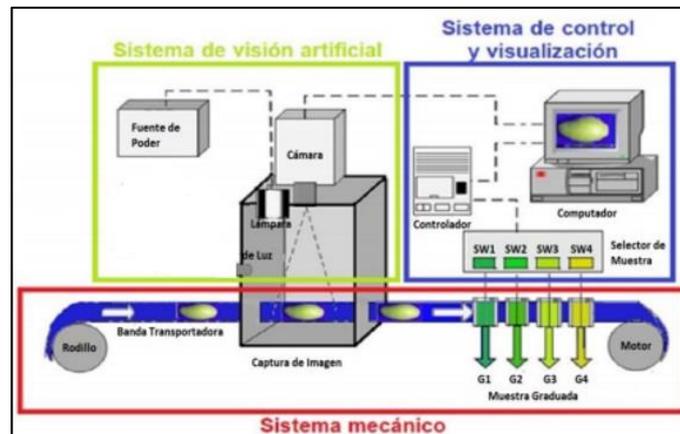
- Establecer un límite de tiempo para el paso de cada fruta por la banda transportadora.
- Contabilizar las frutas identificadas por categoría.

Descripción general del sistema

El sistema de visión artificial se encarga del procesamiento digital de imágenes de las frutas y posteriormente puede hallar sus características como tipo y tamaño, incluye un dispositivo para la captura y visualización, contiene algoritmos y redes neuronales. El sistema mecánico está conformado por los elementos que permiten el transporte e identificación de frutas. Finalmente, el sistema de control dispone de los sensores que conlleva el prototipo, el cual actúa mediante la información que transmite el sistema de visión artificial y que permite el monitoreo entre HMI.

Figura 4

Descripción general del sistema



Fuente: Altamirano & Pazmiño (2018, p.30)

El proceso de clasificación que ha sido considerado se basa en 3 etapas: Dosificación, Detección y Actuación. Las acciones objetivas del sistema están limitadas al accionamiento de 2 actuadores. Estos se interpretan como las variables de control y, en consecuencia, serán los encargados de clasificar las frutas designadas.

Flujograma para la detección del tipo y tamaño de las frutas

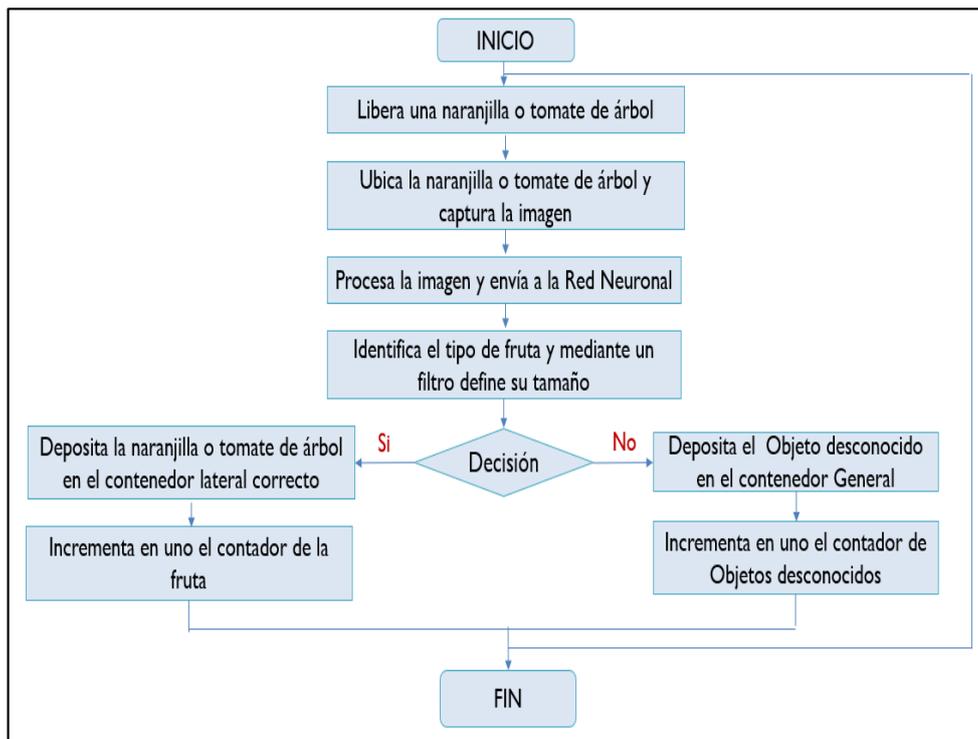
Una vez obtenida la imagen de la fruta el algoritmo de identificación mediante una red neuronal convolucional detecta si la imagen obtenida es una naranjilla, tomate de árbol u objeto desconocido.

Esta imagen si es reconocida como naranjilla o tomate de árbol se aplicará un algoritmo de reconocimiento de contornos para obtener el tamaño de dicha fruta, después el

algoritmo clasificador accionara un servomotor y la banda transportadora para enviar a la fruta a su destino final, caso contrario si esta imagen es reconocida como objeto desconocido solo se accionará la banda trasportadora para enviar a este objeto a su cesta correspondiente.

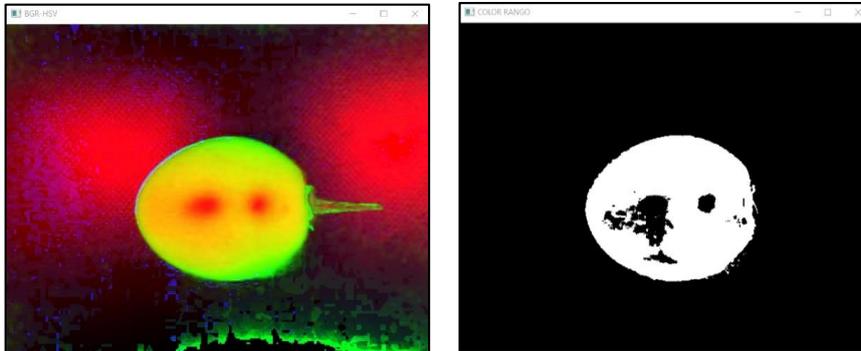
Figura 5

Flujograma para el funcionamiento del dispositivo



Técnicas para el desarrollo del prototipo

Las técnicas aplicadas para el desarrollo del software son: el procesamiento de imágenes y el aprendizaje profundo. Se realiza una inspección rápida tomando en cuenta solo las imágenes capturadas por la cámara Genius FaceCam, es decir no se realiza ninguna inspección de calidad de la fruta, esto ayuda a reducir el tiempo de respuesta y análisis.

Figura 6*Procesamiento de una imagen*

Para realizar la predicción del tipo de fruta se utiliza una red neuronal convolucional (CNN), este algoritmo permite entrenar la CNN con imágenes obtenidas de la base de datos donde múltiples capas de filtros convolucionales realizan un mapeo, después se aplica una reducción por muestreo y por último se obtiene neuronas de perceptrón más sencillas para realizar la clasificación final sobre las características extraídas.

Detectar presencia de frutas

En esta etapa se trata de detectar la fruta sobre la banda transportadora para capturar una imagen y después continuar con las instrucciones del programa, la resolución de las imágenes es de 260x318 píxeles, la fruta se encuentra bajo una caja en donde está ubicada la cámara y sobre una banda transportadora, la caja posee un sensor de distancia el cual una vez que detecta la fruta envía una señal a la Raspberry, este a su vez apaga el motor DC a través del módulo L298 y de esta manera detiene el movimiento de la banda transportadora.

Algoritmo de entrenamiento y predicción

El algoritmo de predicción toma la imagen capturada por la cámara, carga los modelos creados por la red neuronal convolucional, realiza una comparación e inmediatamente da como resultado si el objeto a identificar es naranjilla, tomate de árbol u objeto no identificado, en la figura 7 se aprecia el algoritmo de predicción y su respuesta.

Figura 7

Algoritmo de predicción

```

longitud, altura = 150, 150
modelo = './modelo/modelo.h5'
pesos_modelo = './modelo/pesos.h5'
cnn = load_model(modelo)
cnn.load_weights(pesos_modelo)

def predict(file):
    x = load_img(file, target_size=(longitud, altura))
    x = img_to_array(x)
    x = np.expand_dims(x, axis=0)
    array = cnn.predict(x)
    result = array[0]
    answer = np.argmax(result)
    if answer == 0:
        print("pred: Naranja")
    elif answer == 1:
        print("pred: Tomate de Árbol")
    elif answer == 2:
        print("pred: Fruta no detectada")
    return answer
    
```

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL

```

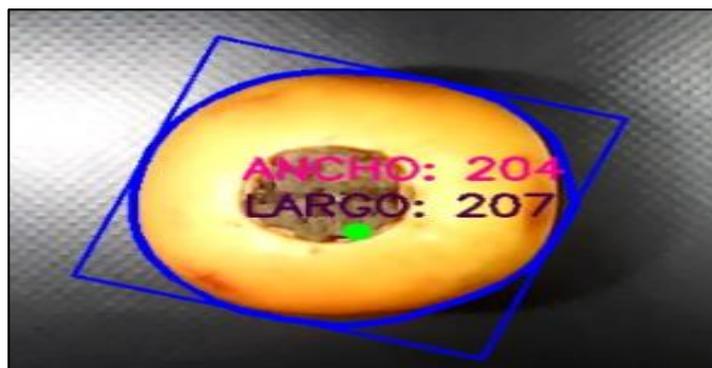
alled properly if you would like to use GPU. Follow the guide at https://www
Skipping registering GPU devices...
2022-05-26 03:47:39.502501: I tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:
wing CPU instructions in performance-critical operations: AVX
To enable them in other operations, rebuild TensorFlow with the appropriate
pred: Tomate de Árbol
    
```

Estimación de las dimensiones de las frutas

Después de realizar la predicción del tipo de fruta, se le debe aplicar el método de FindContours para detectar los contornos de la fruta para ello es necesario transformar las imágenes al espacio de color HSV, se delimita un rango de color para la naranja y para el tomate de árbol. Los contornos de la figura son encerrados en un pequeño cuadrado, este posee el número de pixeles de dicha imagen, donde se le aplica una regla de tres para obtener el área de la fruta en cm^2 , se usó como referencia los pixeles que posee una cuadrado de $225 cm^2$.

Figura 8

Estimación de las dimensiones de la fruta

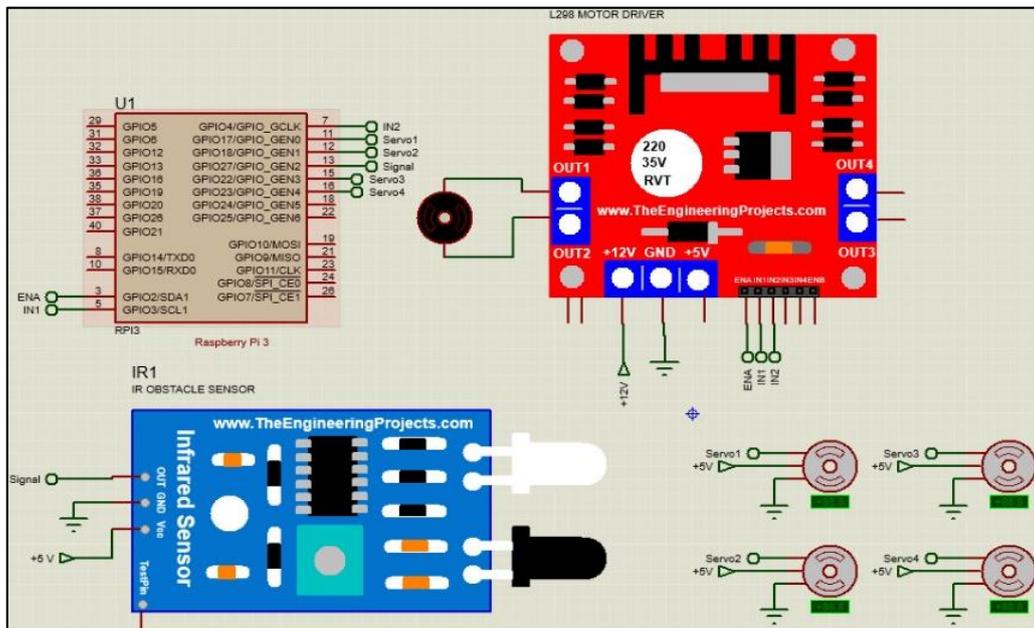


Selección de Hardware

Como elemento central de procesamiento se selecciona una tarjeta Raspberry Pi 3 B. Los periféricos de comunicación de este sistema embebido son las vías para el envío y recepción de datos. La tarjeta Raspberry emite las órdenes a los diferentes actuadores empleados en el proceso para el correcto funcionamiento de la banda transportadora y del sistema de clasificación del prototipo.

Figura 9

Esquema de conexión del hardware del prototipo



Implementación del software

Para diseñar el software encargado de identificar el tipo de fruta y clasificar según su tamaño, se requiere determinar las funciones que va a tener, por ejemplo: Detectar la fruta en la banda transportadora, identificar el tipo de fruta, clasificar la fruta según su tamaño, contabilizar el total de frutas detectadas.

Figura 10

Implementación y funcionamiento del dispositivo



Interfaz del sistema

El diseño de la interfaz gráfica para el prototipo de identificación fue elaborado en Python y la librería Tkinter que es una capa orientada a objetos de forma sencilla y versátil. La interfaz cuenta con widgets desde la ventana, botones, etiquetas de texto. La primera ventana al ejecutar el programa es fácil de manipular, cuenta con un solo botón para el paso a la segunda ventana.

Figura 11

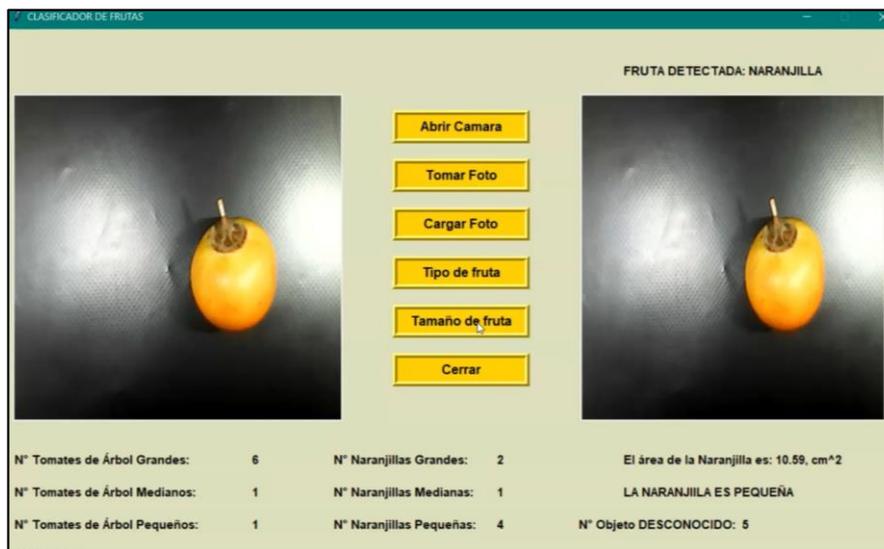
Interfaz Gráfica del menú principal



Al momento de ingresar a la segunda ventana denominada Identificación de Frutas, se puede visualizar en la parte izquierda un cuadrado donde se proyecta la cámara, en la parte intermedia existe seis opciones: abrir cámara, tomar la foto, cargar foto, tipo de fruta, tamaño de la fruta y por último cierra el programa. En la parte derecha se muestra la imagen procesada y en la parte inferior izquierda se muestra el número de tomates de árbol, naranjillas y objetos desconocidos que fueron contabilizados.

Figura 12

Interfaz gráfica de la programación



Resultados

Pruebas de identificación

En esta prueba se realiza dos tipos de identificación: por tipo (naranjilla y tomate de árbol) y tamaño (grande, mediano y pequeño).

Identificación por tipo

La primera prueba que se realiza es la identificación de fruta según su tipo. Las frutas que se identifica son tomates de árbol y naranjillas, para esto se emplea la red neuronal convolucional (CNN) entrenada con una base de datos de 1100 imágenes.

Tabla 3
Resultado de la prueba de identificación por tipo

Fruta	Prueba	Muestras	Aciertos	Fallas	%
Naranja	1	15	14	1	93.33
	2	15	15	0	100.00
Tomate de Árbol	3	15	14	1	93.33
	4	15	15	0	100.00
Objeto desconocido	5	15	14	1	93.33
	6	15	15	0	100
TOTAL		90	87	3	

Se ejecutaron un total de 90 pruebas para determinar el funcionamiento del prototipo. Una vez analizados los datos recolectados, se presenta los siguientes resultados: se ha obtenido el 95.56% de pruebas acertadas y el 4.44% de pruebas fallidas como se muestra en el Gráfico 2-3 Las fallas se presentaron debido a que el tomate de árbol tenía irregularidades en su forma, el objeto no identificado no formaba parte de la adquisición de imágenes de la red neuronal y en la naranja existió un problema con la ejecución del programa.

Identificación por tamaño

La segunda prueba es la identificación según el tamaño de las frutas, para realizar esta identificación se usa redes neuronales, se procesa las imágenes y se mide los contornos de las frutas. Existen tres categorías de identificación: pequeña, mediana y grande.

Tabla 4
Resultado de la prueba de identificación por tamaño del tomate de árbol

Prueba	Tamaño Real Diámetro (Mm)	Tamaño Estimado	Categoría	Acierto
1	62	63	Grande	Si
2	60	59	Grande	Si
3	45	47	Mediana	Si
4	48	51	Mediana	Si
5	40	39	Pequeña	No
6	44	43	Pequeña	Si
7	56	55	Grande	Si
8	39	41	Pequeña	No
9	55	56	Grande	Si
10	53	56	Mediana	Si
11	52	50	Mediana	Si
12	54	55	Mediana	Si

Tabla 4

Resultado de la prueba de identificación por tamaño del tomate de árbol (continuación)

Prueba	Tamaño Real Diámetro (Mm)	Tamaño Estimado	Categoría	Acierto
13	62	63	Grande	Si
14	41	40	Pequeña	Si
15	44	46	Pequeña	No

En base a la tabla anterior se determinó que hubo 3 fallas al determinar el tamaño. Se realiza la misma prueba para la clasificación de las naranjillas por tamaño.

Tabla 5

Resultado de la prueba de identificación por tamaño del tomate de árbol

Prueba	Tamaño Real Diámetro (Mm)	Tamaño Estimado	Categoría	Acierto
1	50	52	Mediana	No
2	55	57	Grande	Si
3	40	39	Pequeña	Si
4	38	38	Pequeña	Si
5	52	51	Grande	No
6	51	53	Grande	Si
7	44	46	Grande	No
8	48	47	Mediana	SI
9	45	44	Mediana	No
10	41	43	Pequeña	Si
11	29	31	Pequeña	Si
12	38	41	Pequeña	Si
13	36	38	Pequeña	SI
14	33	35	Pequeña	Si
15	30	33	Pequeña	SI

Prueba de separación de frutas

El propósito de esta prueba es determinar que las frutas se trasladen de forma exitosa a sus respectivos contenedores, mediante el uso de 2 servomotores que funcionarán junto a la banda, en el caso que exista una fruta desconocida solo se accionara la banda.

Separación de las frutas por tipo

Para la evaluación del funcionamiento de separación de frutos del prototipo, se ejecutaron 25 pruebas, la tabla presenta los resultados obtenidos. La primera columna representa el número de pruebas, la segunda el tipo de fruta: tomate de árbol, naranjilla y objeto desconocido, finalmente en la tercera columna se asigna un Sí o No, dependiendo si la fruta fue dirigida al contenedor correcto o incorrecto.

Tabla 6

Resultados de la prueba de separación por tipo

Numero de prueba	Fruta	Separa
1	Tomate de árbol	Si
2	Tomate de árbol	Si
3	Tomate de árbol	Si
4	Tomate de árbol	Si
5	Tomate de árbol	No
6	Tomate de árbol	Si
7	Tomate de árbol	Si
8	Tomate de árbol	Si
9	Tomate de árbol	Si
10	Naranjilla	Si
11	Naranjilla	Si
12	Naranjilla	Si
13	Naranjilla	Si
14	Naranjilla	Si
15	Naranjilla	Si
16	Naranjilla	Si
17	Naranjilla	No
18	Naranjilla	Si
19	Naranjilla	Si
20	Naranjilla	Si
21	Objeto desconocido	Si
22	Objeto desconocido	Si
23	Objeto desconocido	Si
24	Objeto desconocido	Si
25	Objeto desconocido	Si

Se ejecutaron un total de 25 pruebas para separar las frutas. Una vez que los datos fueron recolectados, se presentan los siguientes resultados: 23 frutas fueron separadas de forma correcta a sus respectivos contenedores, 2 frutas presentaron falla debido a un error de identificación.

Análisis de Costos

Para el análisis económico se dividió en los diferentes sistemas y componentes que conforman el prototipo. Donde se observa que el costo total de la implementación es de 806,59 dólares americanos.

Tabla 7

Costo y descripción de materiales

Sistemas	Componentes	Cantidad	P. U	P.T (\$)
	Banda	1	20,00	20,00
	Chumaceras	4	2,00	8,00
	Motor DC	1	29,90	29,90
Sistema de Transporte	Rodillos	2	8,50	17,00
	Ejes	2	5,80	11,60
	Acople Eje-Rodillo	4	4,00	16,00
Sistema de Almacenamiento	1/2 Lamina de INOX	1	20,00	20,00
	Servomotor	2	5,50	11,00
	Cámara Web	1	21,00	21,00
	SENSOR E18-D80NK	1	9,90	9,90
	LED HI-SPOT GU5.3	2	2,50	5,00
	Pantalla LCD	1	380,50	380,50
Sistema de Adquisición de imágenes	Tarjeta microSD	1	17,90	17,90
	Raspberry Pi3	1	84,99	84,99
	Lamina de madera 8 líneas	1	15,80	15,80
	Servomotor	2	5,50	11,00
Sistema de Clasificación	Aluminio Tipo L	2	15,00	30,00
	Base de motor	2	3,50	7,00
Estructura	Tubo cuadrado de aluminio	4	22,50	90,00
COSTO TOTAL				\$ 806,59

Este sistema permite la identificación por tipo y tamaño del tomate de árbol y naranjilla, al ser comparado con otros sistemas comerciales que permiten el control de una sola variable de identificación. Además, que su costo se ve reducido en un 60%. En vista de esta relación y comparando costos mostrados en la tabla se concluye que el sistema contiene un muy bajo costo de implementación.

Conclusiones

- Se diseñó e implementó un sistema de visión artificial para la identificación de frutas, a través de la adquisición de imágenes con una cámara web y el uso de una Red Neuronal con un total del 95% de aciertos en la identificación por tipo y 93% por tamaño.
- El estado alto de madurez del Tomate de Árbol por su pigmentación generaba errores de identificación del tipo de fruta, dando como resultado una Naranjilla y

existió errores con el tamaño de la fruta debido a la iluminación generada por el entorno.

- Se implementó un sistema de identificación para las frutas que está conformado por un sistema de transporte, sistema de visión artificial y sistema mecánico, que son accionados por un Raspberry Pi 3b a través de la comunicación PtP.
- Se realizó un algoritmo de procesamiento de imágenes con OpenCV y Python para estimar las dimensiones de las frutas e identificarlas según su tamaño: grande, mediano o pequeño.

Referencias Bibliográficas

Alonso, Laura. (2009). *Inteligencia Artificial 2009*.
<https://www.cs.famaf.unc.edu.ar/~laura/ia/ia.html>.

Altamirano, Victor & Pazmiño, Esteban. (2018). *Diseño e implementación de un módulo didáctico de inspección y clasificación de frutas usando visión artificial por medio de imágenes fuera del espectro visible para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe extensión Latacunga*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Ejército]
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14945/1/T-ESPEL-MEC-0146.pdf>.

Burns, E.D. (2021) *Aprendizaje profundo (deep learning)*.
<https://www.computerweekly.com/es/definicion/Aprendizaje-profundo-deep-learning>.

Caballero, Edison. (2017). *Aplicación práctica de la visión artificial para el reconocimiento de rostros en una imagen, utilizando redes neuronales y algoritmos de reconocimiento de objetos de la biblioteca opencv*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6104/CaballeroBarrigaEdisonRene2017.pdf>

Gonzales, Carlos. (2018). *En qué consiste el Aprendizaje Automático (Machine Learning) y qué está aportando a la Neurociencia Cognitiva*.
<http://www.cienciacognitiva.org/?p=1697>.

González, Ana., Martínez, F.J., Pernía, A.V., Elias, F.A., Castejón, M., Ordieres, J., & Vergara, E. (2016). *técnicas y algoritmos básicos de visión artificial*. Universidad de la Rioja. Logroño - España. Editorial Anaya Multimedia. p. 33.
<https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/online/VisionArtificial.pdf>.

Herrera, Jean., & Medina, Silfri. (2015). *Diseño de un sistema automático de selección*

de frutos de café mediante técnicas de visión artificial [en línea]. [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma del Caribe]. http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/1656/TMCT_0022C.pdf

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2010). *Instituto Ecuatoriano de Normalización 2303: Frutas Frescas, Naranja, Requisitos*. <https://181.112.149.204/buzon/normas/2303.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2006). *Instituto Ecuatoriano de Normalización 1909: Frutas Frescas, Tomate de Árbol, Requisitos*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1909-1.pdf>

Mathworks. (2021). *Image Processing and Computer Vision*. <https://es.mathworks.com/solutions/image-video-processing/object-recognition.html>.

Minardi, F. (2014). *Visión Artificial*. http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/computer_vision.pdf.

Nogué, Al., & Antiga, J. (2012). *Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales*. http://www.infoplc.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_visionartificial.pdf.

Noticias Parlamento Europeo. (2021). *¿Qué es la inteligencia artificial y cómo se usa?* <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20200827STO85804/que-es-la-inteligencia-artificial-y-como-se-usa>

Parra, S., & Cuervo, W. (2018). *Sistema de visión artificial integrado a plataforma aérea para la detección de personas en tiempo real*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17513>.

Peña Baeza, A. (2010). *Módulo de visión artificial del robot humanoide HOAP3. Aplicación al seguimiento de objetivos móviles*. <http://orff.uc3m.es/handle/10016/10754>.

Universidad Internacional de la Rioja [UNIR]. (2021). *Deep learning: en qué consiste, ejemplos y aplicaciones*. <https://www.unir.net/ingenieria/revista/deep-learning/>.

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

