

**Universidad Rafael Landívar
Campus Quetzaltenango
Facultad de Ingeniería
Inteligencia Artificial
Ing. Dhaby Xiloj**

Proyecto

Reconocimiento de los estados de un tomate a través de una RNA

**Luis Makepeace 15676-12
Alberto Ola 15657-13**

Quetzaltenango, mayo de 2018

Introducción

La aplicación de las Redes Neuronales Artificiales (RNA) y de la visión artificial tiene cada vez más acogida en la industria de productos alimenticios; estas técnicas priorizan la clasificación, el reconocimiento de patrones y la predicción de las cosechas y de los cambios físicos de sus productos.

El siguiente proyecto está destinado a reconocer el estado de una fruta o verdura a través de una red neuronal artificial(RNA) por medio de la obtención de las imágenes a través una cámara. El fruto o verdura que se seleccionó fue el tomate, debido a que se puede diferenciar los estados de madurez del mismo.

Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Existen varias definiciones de redes neuronales que ayudan a entender qué son, cuáles son sus propósitos y el porqué de ellas. Se puede afirmar que una red neuronal es un sistema que se adapta a las exigencias del entorno, dado que puede combinar técnicas que procesan la información de manera paralela; la red neuronal está en posibilidad de realizar simultáneamente varios procesos y mostrar un adecuado comportamiento. Por consiguiente, la red neuronal conforma todo un modelo computacional que, por sus componentes, potencian la interconexión y facilitan la adaptación; igualmente, su característica adaptativa en general y sus componentes proveen un conjunto de soluciones y validación de secuencias que, desde la perspectiva de reconocimiento de patrones, son una extensión de métodos clásicos estadísticos.

Por otro lado, las RNA se dirigen, aunque de manera artificial, a imitar el comportamiento de los entes biológicos; para ello, se modela matemáticamente dicho comportamiento, caso el cerebro humano. En ese sentido, el proceso de información que incorpora el sistema de red neuronal asume características de funcionamiento comunes a las redes neuronales biológicas y, por consiguiente, se denominan adaptables y, aun, especializadas a circunstancias que las afectan.

En todo el funcionamiento y organización de la red, logran que en el proceso de información se haga uso de principios semejantes a la estructura del cerebro humano, con lo cual la comprensión de las redes neuronales, el potencial de su utilización y su aplicación inducen a que se convierta en algo indispensable para la investigación, la industria y otras múltiples actividades humanas. Existen múltiples modelos de redes neuronales, que han surgido de acuerdo con los avances tecnológicos, permitiendo desarrollar sistemas más complejos, eficientes y efectivos. Entre los modelos más conocidos están el perceptron simple, propuesto por Rosenblatt en 1957, que se define como una unidad básica de inferencia en forma de discriminador lineal y puede ser usado como neurona dentro de un perceptron u otro sistema de red neuronal más grande.

En 1960, Bernard Widrow y Marcial Hoff propusieron el modelo ADALINE, que mejora considerablemente la salida en comparación con el perceptron, perfeccionando el manejo de errores. En 1985, Werbos desarrolló el back-propagation, que es un algoritmo de aprendizaje supervisado y que, mediante el uso de derivadas, reduce de mejor manera los errores en la salida. El surgimiento de modelos de redes neuronales se ha dado, en gran medida, debido a las necesidades y problemas que han traído la evolución en tecnología, los nuevos planteamientos matemáticos y físicos y la insistencia de los seres humanos por entender la naturaleza.

En la Tabla I se presenta un resumen de los modelos más conocidos y sus características en el campo de redes neuronales.

Tabla I. Modelos de Redes Neuronales

Nombre	Aplicaciones	Comentarios	Limitaciones
Teoría de resonancia adaptativa (ART)	Reconocimiento de patrones (radar, sonar, etc.)	Sofisticada, poco utilizada	Sensible a la translación, distorsión y escala
Back Propagation	Síntesis de voz desde texto. Control de robots. Predicción, reconocimiento de patrones	La red más popular. Numerosas aplicaciones con éxito. Facilidad de aprendizaje. Potente	Necesita mucho tiempo para el aprendizaje y muchos ejemplos
Máquinas de Boltzman y Cauchy	Reconocimiento de patrones (imágenes, sonar y radar). Optimización	Redes simples. Capacidad de representación óptima de patrones	La máquina de boltzman necesita un tiempo muy largo de aprendizaje
Counter-propagation	Comprensión de imágenes	Combinación de perceptron y TPM	Numerosas neuronas y conexiones
Hopfield	Reconstrucción de patrones y optimización	Puede implementarse en VLSI, fácil de conceptualizar	Capacidad y estabilidad
Perceptron	Reconocimiento de caracteres impresos	La red más antigua	No puede reconocer caracteres complejos
Self-Organizing-Map (SOM)	Reconocimiento de patrones, codificación de datos, optimización	Realiza mapas de características comunes de los datos aprendidos	Requiere mucho entrenamiento

Fuente: Adaptado de (9).

Backpropagation:

Backpropagation , abreviatura de "propagación hacia atrás de errores", es un algoritmo para el aprendizaje supervisado de redes neuronales artificiales que utilizan gradiente de descendencia . Dada una red neuronal artificial y una función de error , el método calcula el gradiente de la función de error con respecto a los pesos de la red neuronal. Es una generalización de la regla delta para perceptrones a redes neuronales de alimentación directa multicapa.

La parte "hacia atrás" del nombre proviene del hecho de que el cálculo del gradiente avanza hacia atrás a través de la red, el gradiente de la última capa de ponderaciones se calcula primero y el gradiente de la primera capa de ponderaciones se calcula al final. Los cálculos parciales del gradiente de una capa se reutilizan en el cálculo del gradiente de la capa anterior. Este flujo hacia atrás de la información de error permite un cálculo eficiente del gradiente en cada capa frente al enfoque ingenuo de calcular el gradiente de cada capa por separado. La popularidad de Backpropagation ha experimentado un resurgimiento reciente dada la adopción generalizada de redes neuronales profundas para el reconocimiento de imágenes y

reconocimiento de voz. Se considera un algoritmo eficiente y las implementaciones modernas aprovechan las GPU especializadas para mejorar aún más el rendimiento.

Proceso de Producción

1. Plantación de la semilla:

El proceso para lograr un tomate fresco y sabroso comienza con la siembra de una semilla seleccionada no transgénica. Tras varios días de riego y cuidado intensivo la planta de tomate alcanza los 15 centímetros, momento en el cual se resiembra en un lugar acondicionado para su crecimiento.

2. Crecimiento de la planta:

En este paso que dura aproximadamente mes y medio, se aplica una atención exclusiva con abonos naturales seleccionados y agua de manantial situado debajo del invernadero. La planta crece a un ritmo de 20 centímetros semanales y alcanza la fuerza necesaria para conseguir el sabor exacto del tomate fresco.

3. Polinización:

Siguiendo con el proceso natural de cosecha de tomate se introducen abejorros seleccionados de la variedad *bombus terrestris* para polinizar las flores de la planta de tomate. De esta manera se consigue un buen sellado del tomate para aportar el sabor casero de siempre.

4. Nacimiento del fruto:

En esta fase comienzan a aparecer grandes racimos de tomate gourmet fresco en las matas por lo que se aplica el aclareo para dejar solamente los frutos seleccionados que conseguirán la fuerza y el sabor necesario para un tomate casero ideal en una alimentación saludable. Los tomates comenzarán con un color verde pálido e irán intensificando su tono conforme van creciendo con el paso de los días.

5. Maduración del tomate:

Cuando la estrella de la parte inferior del tomate comienza a tomar un color anaranjado sabemos que el tomate fresco con más sabor está en el proceso final de maduración.

Dejamos madurar en la mata hasta conseguir un color rojizo y un sabor intenso perfecto para cualquier receta de tomate.

6. Recolección y selección manual:

Pasados 70 o 90 días desde el plantado comienza la recolección del tomate con más sabor. Este proceso es totalmente manual y se recogen uno a uno los tomates frescos de la mata en el momento idóneo de la maduración. Posteriormente se hace una selección de los mejores tomates de diferentes tamaños y se depositan con mimo y cuidado en las cajas para su envío en menos de 24 horas.

Etapas fenológicas del tomate:

La fenología del tomate comprende las etapas que forman su ciclo de vida. El tomate es un cultivo que presenta tres etapas principales de desarrollo. A dichas etapas se les conoce como fases de desarrollo o fases fenológicas. Los nombres que reciben las tres etapas o fases son: inicial, vegetativa y reproductiva. Para cada etapa los requerimientos nutricionales e hídricos son distintos.

La duración aproximada de cada una de las etapas de desarrollo del jitomate es: fase inicial de 1 a 21 días; fase vegetativa de 22 a 80 días, que incluye el desarrollo vegetativo (22 a 49 días) y el desarrollo floral (50 a 80 días); y la fase reproductiva de 81 a 100 días. Se trata de valores meramente indicativos que se pueden ver modificados por las condiciones climáticas.

Los días mencionados hacen referencia a los días después del trasplante. La maduración de tomate también depende del tipo de variedad que se esté cultivando: precoz (65 a 80 días), intermedia (75 a 90 días) y tardía (85 a 100 días). A continuación se presenta una pequeña descripción de cada una de las fases fenológicas del tomate.

Clasificación del Tomate

En el tomate según su estado de madurez se pueden diferenciar tres estados que se van a evaluar en el entrenamiento de la red neuronal:

Grado de Maduración	Color (%)	
	Verde	Rojo
1	50	50
2	25	75
3	0	100

- **Verde:** Este estado tiene un color amarillento en la mayor parte del tomate donde nos indica el punto de estar llegando al estado maduro, puede tener también un color verde amarillento donde nos indica que el tomate está en proceso de maduración.
- **Maduro:** La mayor parte del color del tomate en este estado es rojo, donde se concluye que está en su mejor punto de madurez. Sin embargo, el estado maduro tiende a tener variaciones en el tono rojo. Pero el tono rojo cubre todo el tomate.
- **Sobremaduro:** Estado donde el tomate empieza a describir manchas en la piel indicando que se está pasando de maduro y empieza a descomponerse llegando a un punto de ya no estar bueno y pudrirse.



Imagen 1. En esta imagen se pueden diferenciar los estados de madurez del tomate: verde (pintón o verde amarillento), maduro y sobremaduro.

Cuánto tiempo se conservan las verduras frescas:

3 - 5 días	5 - 7 días	> 2 semanas
Acelgas	Alcachofas	Apio
Albahaca fresca	Berenjenas	Boniatos
Berza rizada	Brócoli	Calabazas enteras
Cebollas troceadas	Calabacines	Cebollas enteras
Cebollino fresco	Calabazas troceadas	Chirivías
Cilantro	Chalotas /Cebolletas	Jengibre
Escarola	Champiñones	Lombarda
Espárragos	Coles de Bruselas	Nabos
Pak Choi	Coliflor	Patatas
Tomates	Endivias	Remolachas
	Guisantes frescos	Repollo
	Hinojo	Romero
	Lechugas	Tomillo
	Patatas nuevas pequeñas	Zanahorias
	Pimientos grandes	
	Puerros	
	Rábanos	
	Rúcula	

Calidad:

Cuando el tomate se destina a la agroindustria, sus principales parámetros de calidad son peso seco, sólidos solubles, acidez titulable (equivalente de ácido cítrico), pH, viscosidad y color. Puesto que los valores de la pasta de tomate pueden predecirse a partir de las mismas mediciones realizadas en fruta fresca homogeneizada –también llamada pulpa o puré–, los análisis deben realizarse en los frutos al momento de la cosecha (Renquist y Reid, 1998).

Usualmente el tomate se consume con su máxima calidad organoléptica, que se presenta cuando el fruto ha alcanzado por completo el color rojo, pero antes de un ablandamiento excesivo. Por tanto, el color en tomate es la característica externa más importante en la determinación del punto de maduración y de la vida poscosecha y un factor determinante en la decisión de compra por parte de los consumidores. El color rojo es el resultado de la degradación de la clorofila, así como de la síntesis de cromoplastos.

El carotenoide licopeno es el colorante que le da al tomate su color rojo. Altos niveles de beta-carotenoides da un color anaranjado. Es importante que los tomates sean brillantes y con un color uniforme, sin parches o puntos verdes inmaduros.

El color es particularmente importante para tomates destinados a la industria de conservas, y el fruto tiene que ser de un rojo fuerte y uniforme, libre de defectos como grietas o daños por golpes. Se mide el color aplicando varios métodos, incluyendo espectrofotometría y colorimetría. La industria impone valores muy estrictos. La producción para industria tiene que madurar en manera pareja y por lo menos 75% del fruto debe de estar maduro al cosechar.

Las características que se suelen analizar para clasificar los tomates, van desde propiedades meramente físicas como el peso, el color, el tamaño o la humedad, hasta propiedades químicas como la cantidad de proteínas del núcleo o la proporción de enlaces. Con esta cantidad de parámetros, la variedad de clasificaciones que se puede hacer es muy amplia.

En este trabajo las propiedades elegidas para realizar la clasificación, son el color y el tamaño. Gracias a estas características se pueden hacer diversos tipos de clasificaciones, desde separar aquellas semillas que tengan algún tipo de manchas hasta hacer diversos grupos en función de su colorimetría (parámetros L, a, b) pasando por desechar aquellas semillas que estén partidas.

Colorimetría:

La colorimetría se forma, de esta manera, en una ciencia de rasgos sumamente expansivos, es decir, la industria cosmética, por ejemplo, estudia continuamente distintas sombras, polvos y colores para el cabello. Otra actividad en la que se emplea es en el medio gráfico, en especial cuando se suscitan problemas en la reproducción de los colores y en todos los análisis y documentaciones de aquellas superficies que datan desde muchos años atrás.

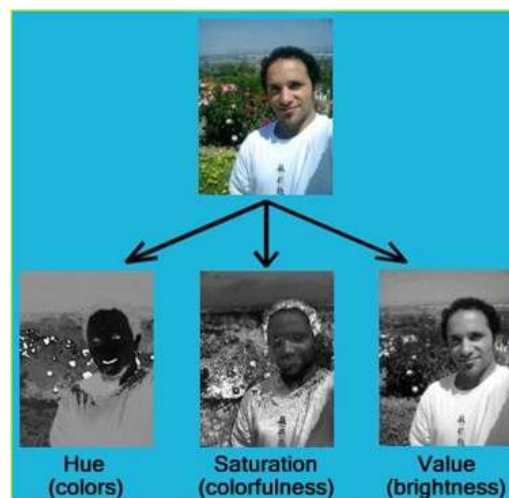
Aspectos del color:

- **Matiz o tonalidad:** es el nombre del color.
- **Brillo:** es la intensidad subjetiva con la que vemos el color, ya que depende del ángulo con que se observa superficie. Ejemplo: la luz blanca no tiene color, pero tiene brillo.
- **Saturación:** es la pureza de un color. Cuanto más blanco contiene, menos saturado está el color.

Herramientas

OpenCV:

Es la principal biblioteca de código abierto para visión artificial, procesamiento de imágenes y aprendizaje automático, y ahora presenta aceleración de GPU para operación en tiempo real. OpenCV se lanza bajo licencia de BSD y, por lo tanto, es gratuito tanto para uso académico como comercial. Tiene interfaces C++, C, Python y Java y es compatible con Windows, Linux, Mac OS, iOS y Android. OpenCV fue diseñado para la eficiencia computacional y con un fuerte enfoque en aplicaciones en tiempo real. Escrito en C / C++ optimizado, la biblioteca puede aprovechar el procesamiento de múltiples núcleos. Adoptado en todo el mundo, OpenCV tiene más de 47 mil personas de comunidad de usuarios y una cantidad estimada de descargas que supera los 6 millones. El uso va desde el arte interactivo hasta la inspección de minas, la costura de mapas en la web o la robótica avanzada.



Aplicaciones OpenCV:

OpenCV se está utilizando para una amplia gama de aplicaciones que incluyen:

- Costura de imagen de Street View
- Inspección y vigilancia automatizada
- Robot y control y navegación sin conductor
- Análisis de imagen médica
- Búsqueda y recuperación de video / imágenes
- Películas: estructura 3D desde el movimiento
- Instalaciones interactivas de arte

Funcionalidad OpenCV:

- E / S de imagen / video, procesamiento, visualización (core, imgproc, highgui)
- Detección de objetos / características (objdetect, features2d, non - free)
- Visión por ordenador monocular o estéreo basada en geometría (calib3d, stitching, videostab)
- Fotografía computacional (foto, video, superres)
- Aprendizaje automático y agrupamiento (ml, flanno)
- Aceleración de CUDA (gpu)

PIL / PILLOW:

Es una librería gratuita que permite la edición de imágenes directamente desde Python. Soporta una variedad de formatos, incluidos los más utilizados como GIF, JPEG y PNG. Una gran parte del código está escrito en C, por cuestiones de rendimiento.

Debido a que la librería soporta únicamente hasta la versión 2.7 de Python y, al parecer, no pretende avanzar con el desarrollo, Alex Clark y en colaboración con otros programadores ha desarrollado Pillow, una bifurcación más “amigable”, según el autor, de PIL que pretende mantener una librería estable y que se adapte a las nuevas tecnologías (Python 3.x). Por esta razón, recomiendo siempre preferir Pillow en lugar de PIL.

De todas maneras, independientemente de la librería que se desee utilizar, su implementación para los usuarios se mantiene casi idéntica.

Neurolab:

Es una biblioteca de red neuronal simple y poderosa para Python. Contiene redes neuronales basadas, algoritmos de trenes y marcos flexibles para crear y explorar otros tipos de redes neuronales.

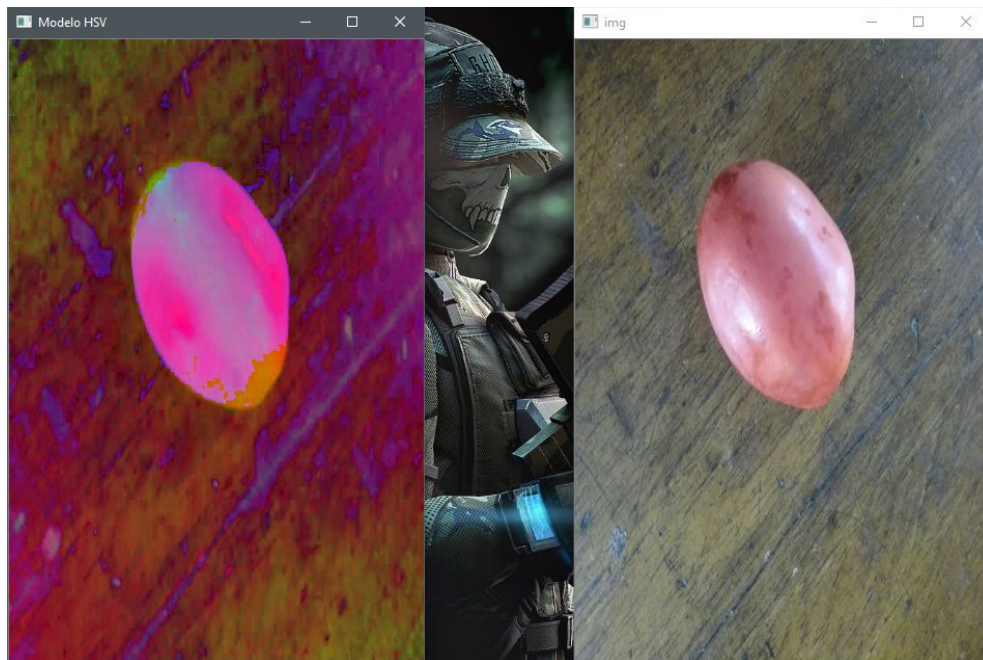
Características:

- Python puro + numpy
- API cómo Neural Network Toolbox (NNT) de MATLAB.
- Interfaz para usar algoritmos de tren desde scipy.optimize.
- Configuraciones de red flexibles y algoritmos de aprendizaje. Puede cambiar: funciones de tren, error, inicialización y activación.
- Número ilimitado de capas neuronales y número de neuronas en capas.
- Variedad de tipos soportados de Red Neuronal Artificial y algoritmos de aprendizaje.

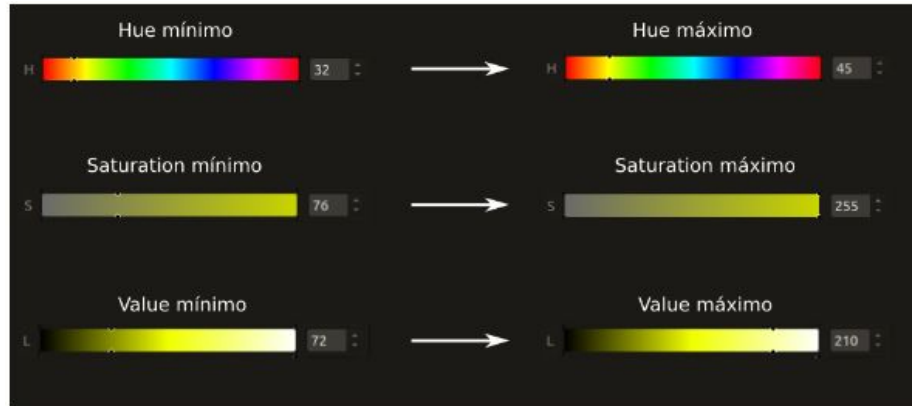
Descripción del Funcionamiento

Para que la RNA pueda identificar los patrones, se conlleva un paso previo, el cual permite garantizar que los datos con los cuales la red neuronal será entrenada entregue resultados adecuados. Este paso consta del procesamiento de las imágenes que van a ser capturadas por una cámara, permitiendo organizarlas, verificarlas y aplicar técnicas que permitan mejorar la imagen original. El proceso llevar una serie de pasos que permiten modificarlas y convertirlas en datos útiles para la aplicación. Los cuales son:

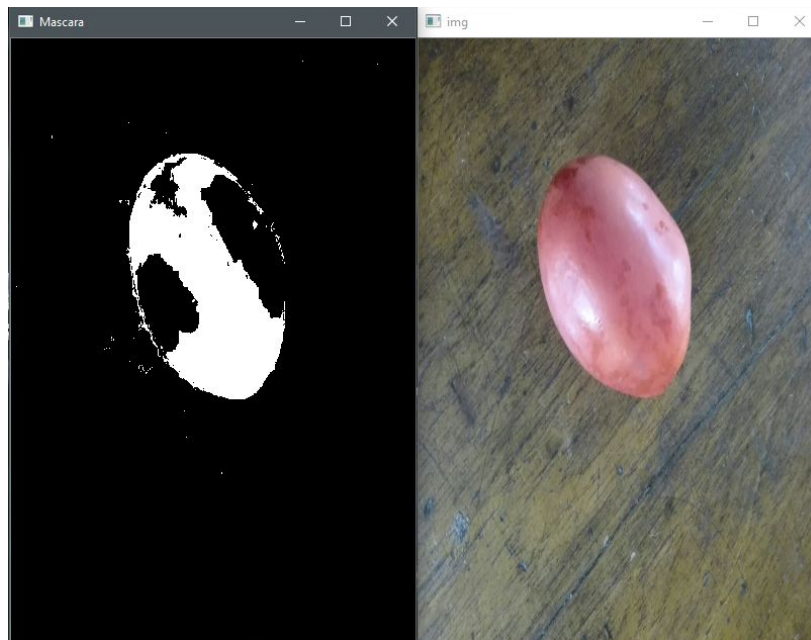
- La imagen digital, comúnmente trae el formato RGB (Rojo, Verde, Azul). Para nuestra utilidad, se hace una copia de la imagen original y se hace uso del modelo HSV (Matiz, Saturación, Valor), que es como insertar un filtro a la imagen.

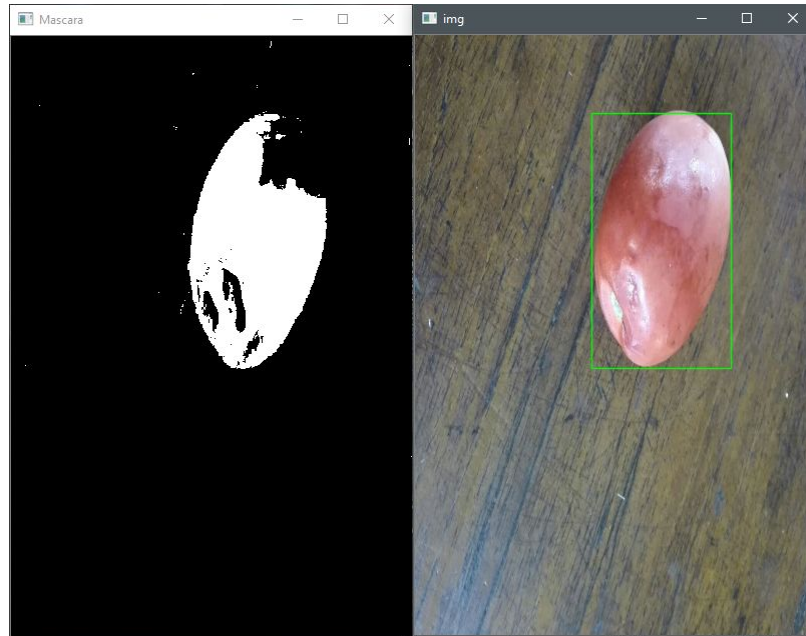


- A su vez se hace una reducción de ruido, la cual consta de eliminar el ruido que puede afectar su calidad a través del Gaussiano.
- Se crean rangos de valores minimos y maximos para la detección de objetos en la imagen, que para nuestro caso es el tomate, seteando las tres características del HSV.



- Luego se tiene una máscara donde solo nos muestra en blanco el color que queremos con el fin de poder recortar solo esa parte de la imagen. Para ello, se dibuja el contorno de la parte blanca, para ello es necesario que esté completa para que pueda dibujarlo. Se dibuja un rectángulo con el fin de recortar solo esa parte para tener algo más claro para la red neuronal.





- Antes de entrar a la RNA se normalizan los datos para que el entrenamiento sea más eficiente y minimizar que los resultados erróneos.

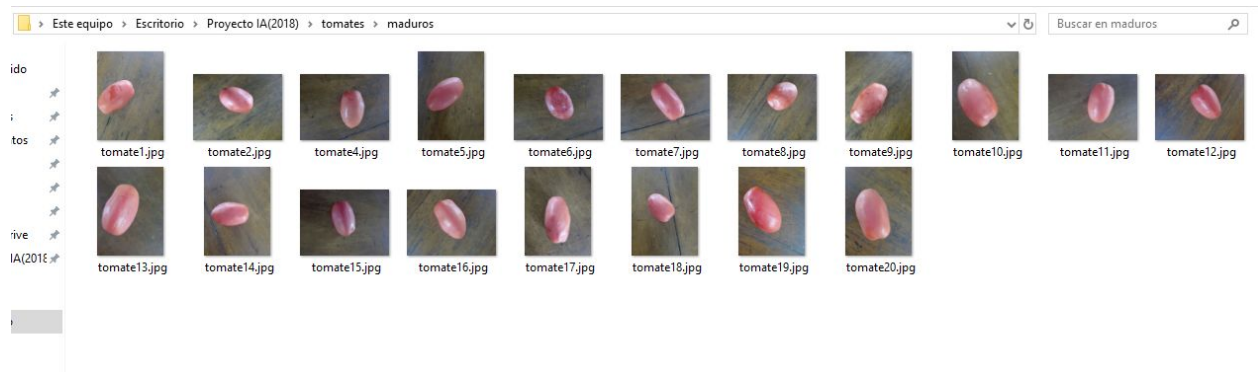
La RNA tendrá de entradas los píxeles de la muestra del tomate, que tendrá un estándar aproximado de 40 x 30 píxeles donde se utilizó dos capas intermedias con el fin de mejorar el entrenamiento, ya que una capa no fue suficiente.

Las salidas, como se había mencionado antes son tres, las cuales interpretarán los estados de tomates, estas son:

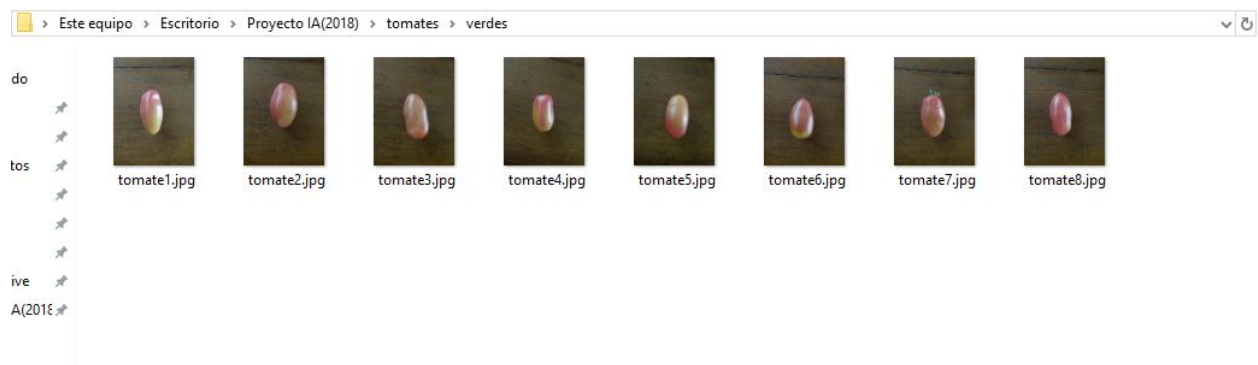
- Verde
- Maduro
- Sobremaduro

Al entrenar estas tres salidas con un conjunto de imágenes de entrada a la red neuronal, se siguió con el proceso de reconocer un tomate analizado por la RNA con el fin de que reconociera el estado del tomate.

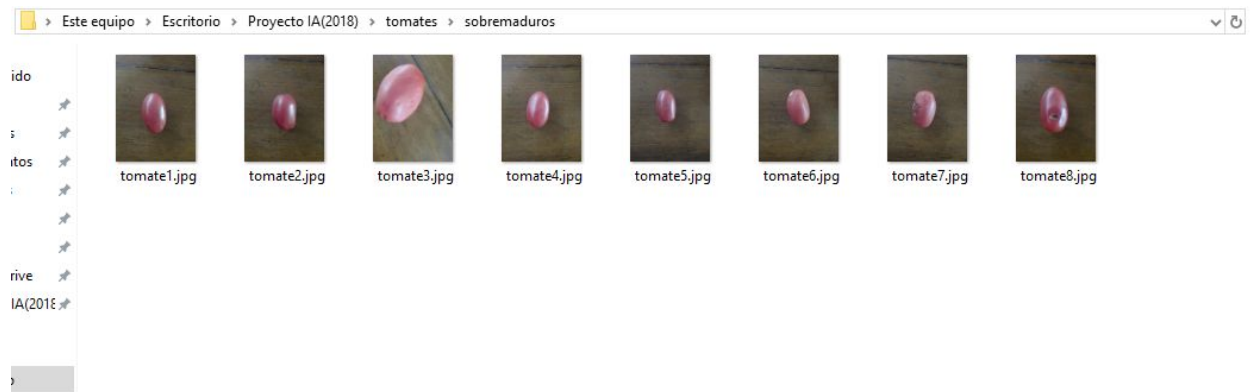
Tomates Maduros:



Tomates Verdes:



Tomates Sobremaduros:



Inconvenientes:

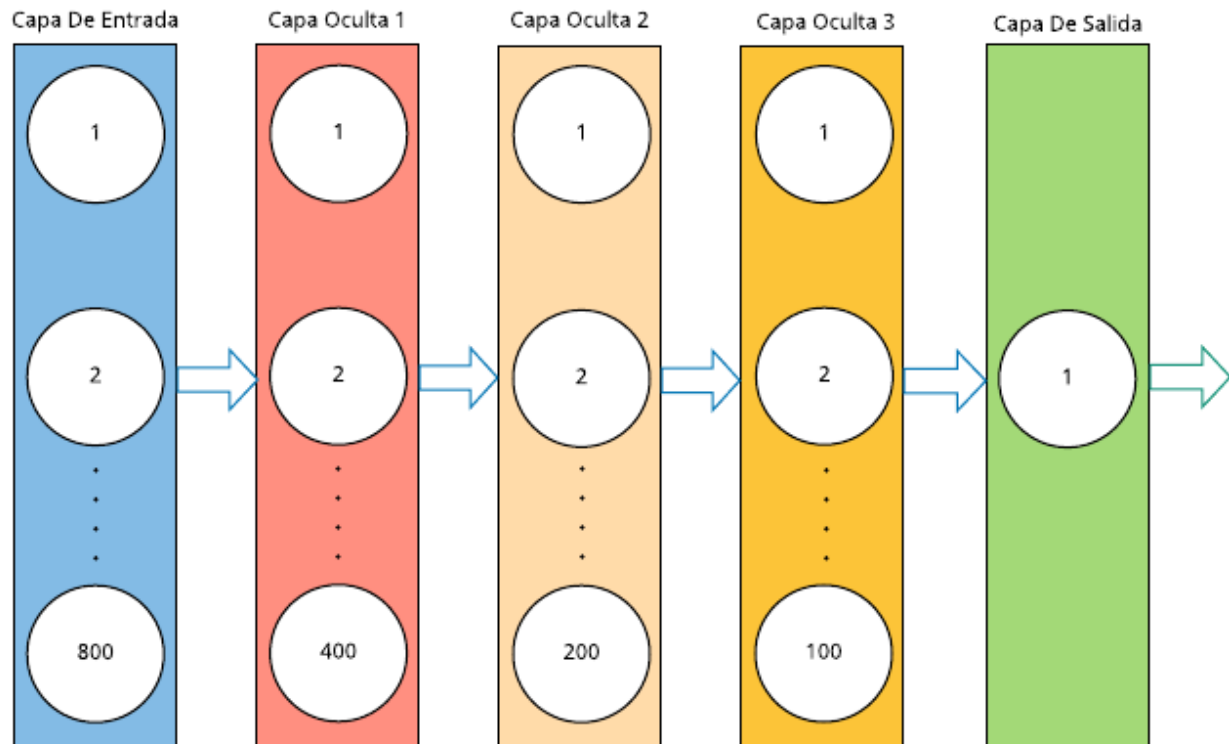
En el procesamiento de la imagen, se tuvo problemas, ya que no se sabía cómo podíamos obtener el tomate de la imagen. Investigando nos dimos cuenta que para tener datos útiles de una imagen se le ejecuta el procesamiento de la imagen a través de técnicas las cuales utilizan modelos. Estos ayudan a ver los componentes de los colores con diferentes valores y hacer una deformación a la imagen.

Otra parte, fue de ir encontrando los rangos de valores mínimos y máximos del color en el formato HSV, para poder tener un rango aceptable donde abarcara los estados del tomate y así ser tratada la imagen y recortada.

Se trató la imagen a un tamaño estándar por motivos de que todas las imágenes entrantes a la red neuronal no tuvieran diferencia y se tuviera un entrenamiento más exacto.

Ya obtenidos los datos de entrada, nos dimos cuenta que la diferencia de los valores entre los píxeles era muy grande. Se llegó a realizar el proceso de normalización, con el fin de que los valores no fueran tan variados. Estos valores estaban entre 0-255 y con la normalización se quedaron entre 0-1.

Diseño de la RNA



Se utilizaron 3 redes neuronales para el funcionamiento de la aplicación, una para cada uno de los estado de maduración del tomate. Por lo que sólo se necesitaba una salida para cada red neuronal.

Al final se hace una comparación entre las 3 salidas obtenidas, a cada una de las redes neuronales se les pasa el mismo archivo de datos csv, porque la imagen ya está procesada y sólo se necesita el resultado.

Probando la aplicación

Para ejecutar el programa se debe hacer uso de la consola de línea de comandas. La estructura del comando a utilizar es esta.

Paso 1:

Introducir el siguiente comando a la consola.

python {nombre del archivo .py} {ruta de la imagen que se quiere examinar, ruta absoluta}

Paso 2:

Al momento de iniciar el programa se mostrará la imagen que se ha seleccionado y se debe presionar cualquier tecla para dar inicio a el análisis de la imagen.

Paso 3:

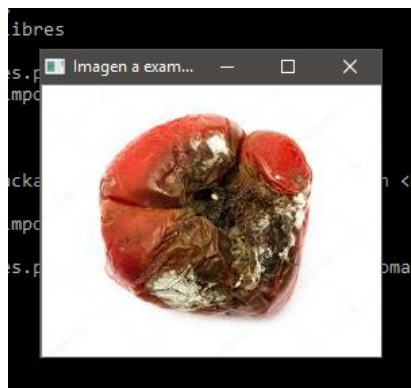
Ahora solo queda esperar a que nos muestre el resultado en la consola, no indicará el valor del resultado de la red neuronal que ha ganado entre las 3 y nos dará la conclusión del estado de maduración.

Ejemplo

Paso 1:

```
C:\Users\USUARIO\Desktop\tomates>python tomates.py C:\Users\USUARIO\Desktop\imgtomates\tomate5.jpg
```

Paso 2:



Paso 3:

```
Salida de la red: 0.991836720343
```

```
El tomate esta podrido
```

Bibliografía

- <https://brilliant.org/wiki/backpropagation/>
- <https://github.com/zueve/neurolab>
- <https://recursospython.com/guias-y-manuales/instalar-pil-pillow-efectos/>
- <https://developer.nvidia.com/opencv>
- <https://robologs.net/2014/07/02/deteccion-de-colores-con-opencv-y-python/>