

Redes neuronales aplicadas a la detección de la Sigatoka Negra

I. S. García Alcalá*, N. García Díaz, J. García Virgen, E. Alvarado Zepeda, A. Ortiz Iñiguez
División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Colima, Av. Tecnológico No. 1, Col.
Liberación, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima.

*g1846014@itcolima.edu.mx, ngarcia@itcolima.edu.mx, jgarcia@itcolima.edu.mx, ealvarado@itcolima.edu.mx,
aortiz@itcolima.edu.mx

Área de participación: *Sistemas Computacionales*

Resumen

Los cultivos de bananos son susceptibles a la aparición de plagas y enfermedades, actualmente la enfermedad conocida como Sigatoka Negra es el principal problema fitosanitario que afecta la producción de este frutal, generando pérdidas que abarcan desde el 50 hasta el 100% del producto. Este trabajo propone la realización de un sistema de procesamiento digital de imágenes utilizando redes neuronales, para la identificación de la Sigatoka Negra en el cultivo de plátano que será utilizado por los productores para controlar su proliferación. En la implementación de este trabajo se utilizó una cámara digital con una resolución de 16 megapíxeles y zoom óptico de 83x, para posteriormente ser procesadas mediante el uso de redes neuronales. Los resultados obtenidos comprueban que las redes neuronales contribuyen a disminuir el riesgo de proliferación de agentes patógenos, logrando con ello aumentar la producción y la calidad del plátano.

Palabras clave: *Redes Neuronales, Sigatoka Negra, Procesamiento de Imágenes*

Abstract

Banana crops are susceptible to the appearance of pests and diseases, currently the disease is known as Black Sigatoka is the main phytosanitary problem that affects the production of this fruit, generating losses ranging from 50 to 100% of the product. This work proposes the realization of a digital image processing system using neural networks, for the identification of the Black Sigatoka in the banana crop that will be used by the producers to control its proliferation. In the implementation of this work, a digital camera with a resolution of 16 megapixels and 83x optical zoom is shown, to be processed using neural networks. The results detailed here prove that the neural networks reduce the risk of proliferation of pathogens, thereby increasing the production and quality of bananas.

Key words: *Neural Networks, Black Sigatoka, Image Processing*

Introducción

El cultivo de plátano es una actividad agrícola con gran importancia a nivel mundial, debido a que es una buena fuente de ingresos y da un gran aporte comercial, ya que es considerado el cuarto producto alimenticio a nivel mundial, después del arroz, trigo y maíz [Cuevas, 2015].

Durante el 2018, con datos obtenidos de [Workman, 2019], México se posicionó en el doceavo lugar a nivel de exportaciones mundiales de plátano, siendo Colima el tercer productor a nivel nacional, con una producción de más de 350 mil toneladas durante el mismo año, según informó el presidente de la Unión Regional de Productores de Plátano, Francisco Hueso Alcaraz [Bravo, 2019].

Sigatoka Negra

La Sigatoka Negra, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, es la enfermedad foliar dentro del cultivo de plátano más importante, que representa el principal limitante durante la producción de plátano a nivel mundial, la enfermedad afecta el área foliar fotosintética de la planta, por ende, los racimos y frutos tienen un menor peso en

comparación con plantas sanas. Adicionalmente, infecciones severas de la Sigatoka Negra causan la madurez prematura del fruto [Álvarez, y col., 2013].

El desarrollo de la Sigatoka Negra se ve directamente influenciado por las condiciones climáticas, entre otras variables. Los factores de suelo y de manejo del cultivo que favorecen su incidencia y severidad son drenaje deficiente, suelos arcillosos no aptos para plátano, elevada población de plantas, deshoje deficiente, alta infestación de malas hierbas y nutrición inadecuada de las plantas. Estas condiciones en combinación con lluvias frecuentes y temperaturas alrededor de los 28°C, son responsables de la aparición y propagación de la enfermedad [INIFAP., 2017].

Trabajos relacionados

Actualmente, el uso de Inteligencia Artificial para la detección de plagas y enfermedades, así como clasificación en general, ha incrementado de manera significativa, impulsando el surgimiento de diversos trabajos de investigación afines a la problemática, tales como el realizado por [Cárdenas, y col., 2017] en el cual se desarrolló un modelo de control difuso que determina la proliferación de la Sigatoka Negra, utilizando lógica difusa. Por otra parte, en el trabajo de investigación elaborado por [Lu, y col., 2017] propusieron un método basado en técnicas con redes neuronales convolucionales, la CNN fue entrenada para identificar 10 plagas comunes del arroz, la precisión del modelo basado en una CNN fue del 95.48%. A su vez, [García, y col., 2017], realizaron un sistema de procesamiento de imágenes para la identificación de plagas en el cultivo de plátano como es la Sigatoka Negra, mediante el empleo de drones aéreos. En el trabajo desarrollado por [Escobár, y col., 2017], se presentó una CNN AlexNet de 23 capas donde se clasifican las hojas dañadas y las hojas sanas en plantas ornamentales. El trabajo de [Vukadinovic, y col., 2016], presentó un modelo para la detección automatizada de pepinos infectados de *Mycosphaerella melonis*, utilizando un método de dos pasos que consiste en el uso de aprendizaje automático.

Los trabajos presentados anteriormente cuentan con resultados satisfactorios, sin embargo, ninguno de ellos presenta una solución para la problemática en cuestión. En este trabajo se llevó a cabo un sistema para la detección de la Sigatoka Negra en las hojas del plátano mediante el procesamiento de imágenes, utilizando redes neuronales. El proyecto se desarrolló en un predio de cultivo de plátano, ubicado en Manzanillo, México.

Metodología

De acuerdo con [Haykin,2009] Una red neuronal (NN, por sus siglas en inglés: Neural Network) es un procesador distribuido masivamente paralelo compuesto de unidades de procesamiento simples que tiene una propensión natural para almacenar el conocimiento experiencial y ponerlo a disposición para su uso, por lo cual, dados los requerimientos del proyecto, se decidió utilizar esta técnica para el desarrollo de este trabajo de investigación. El presente trabajo fue desarrollado haciendo uso de la herramienta MATLAB, debido al amplio tipo de redes neuronales que incluye, así como la facilidad de empleo y desarrollo que ofrece mediante su Toolbox. En la implementación de la NN se optó por el uso de una red tipo Feed-Forward (newff).

Feed-Forward Neural Network (newff)

El concepto Feed-Forward, también llamado “unidireccional”, hace referencia a redes del tipo perceptrón multicapa, en las que las salidas de las neuronas van a las siguientes capas, pero no a las anteriores, de modo que no hay bucles de retroalimentación [González, 2016]. En la figura 1, se muestra la arquitectura de una newff.

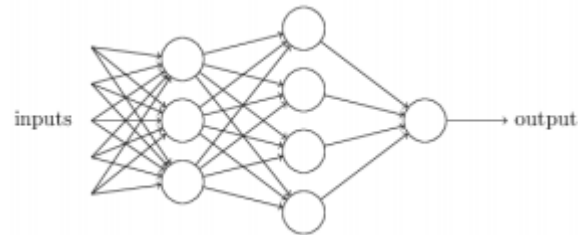


Figura 1. Feed-Forward Neural Network [Nielsen, 2017]

Para la implementación de este proyecto, la clasificación y predicción de la hoja se planificó en dos categorías: Sana e infectada. Para su realización se tomaron 150 fotografías de diferentes hojas de bananos, con una cámara digital Nikon Coolpix P900, que por sus características: CMOS, zoom óptico de 83x, 16 Megapíxeles y lente focal de f/2.8-6.5, se valoró como el instrumento idóneo para la toma de imágenes, por su alta calidad en resolución, facilitando su procesamiento y desglose de detalles para lograr mayor precisión en el análisis y clasificación por parte de la NN.

De las 150 fotografías, se seleccionaron las 100 con mayor calidad de imagen, logrando 50 imágenes de hojas infectadas y 50 sanas, para posteriormente ingresarlas como datos de entrada durante la creación de la red. La distribución de las imágenes quedó de la siguiente manera: treinta fotografías fueron utilizadas para el entrenamiento de la red y veinte para prueba, esto por categoría. En la figura 2, podemos ver un ejemplo de los datos tomados, con una hoja sana y una hoja infectada, respectivamente.



Figura 2. Hoja sana y hoja infectada por Sigatoka Negra

Los datos de entrada fueron almacenados en dos vectores: el vector de datos de entrenamiento, y el vector de datos de prueba. Una vez concluida la carga de datos y almacenamiento, se procedió al entrenamiento de la Feed-Forward Neural Network para clasificar ambas categorías.

En la figura 3 podemos ver un fragmento de pseudocódigo para leer los 30 datos de entrada usados para el entrenamiento, a través de la función *leer*, almacenando cada imagen en la variable **lectura_datos** y posteriormente ejecutando la función *media*, la cual devuelve un vector de fila que contiene la media de todos los valores de la imagen. Finalmente, en la variable **vectorcapas** se almacenan las capas roja y verde de **lectura_datos**, esto último servirá para obtener los promedios y con base a ellos determinar el estado de la hoja, ya sea sana o infectada.

Al terminar el ciclo es creada la NN que es utilizada en este trabajo mediante la instrucción *newff* (figura 3), la cual basa su arquitectura en los siguientes parámetros: el primero de ellos es la variable **valoresimagen**; la cual representa la matriz en la que fueron almacenados los vectores de entrada (**vectorcapas**). Posteriormente se

encuentra el parámetro **vectores**, representando la matriz de vectores objetivo (salida). El ultimo parámetro representa el tamaño de capas ocultas de la NN. Cabe mencionar que la variable **Red_neuronal** recibe todos los parámetros de la reciente NN creada.

```
Inicio
    mientras (datos>0 y datos<31)
        cadena_datos=convertir_cadena(datos);
        lectura_datos = leer ([imagen]);
        valoresimagen = media (media (vectorlectura));
        vectorcapas (filas,datos) = [valoresimagen(filas,columnas,capacolor_rojo);
        valoresimagen(filas,columnas,capacolor_verde)];
    fin_mientras
Red_neuronal=newff(valoresimagen, vectores, datos)
Fin
```

Figura 3. Pseudocódigo para almacenamiento de datos y creación de NN

Resultados y discusión

El presente trabajo de investigación tuvo como resultado el diseño y desarrollo de una interfaz gráfica de usuario desarrollada en Matlab, en la cual se cargan las fotografías de las hojas del banano.

En la figura 4, se ilustra el resultado del diagnóstico de una hoja infectada, mientras que en la figura 5 se aprecia el resultado de una hoja sana.



Figura 4. Interfaz: diagnóstico de hoja infectada








Figura 5. Interfaz: diagnóstico de hoja sana


Como parte de las pruebas del funcionamiento de la interfaz y de la NN, se creó un vector de prueba con diez imágenes de plantas infectadas con Sigakota Negra, y diez imágenes de plantas sanas. Estas imágenes fueron obtenidas de diversas fuentes de internet, esto para comprobar que la red es capaz de procesar imágenes con diferentes resoluciones, ángulos de captura e iluminación.

Los resultados obtenidos mediante las pruebas fueron favorables. En la Tabla 1 se describe el resultado esperado y el determinado por la red, así como la dirección electrónica de donde fueron obtenidas las imágenes.

Tabla 1. Resultado de las pruebas de funcionamiento de la NN

Imagen de prueba	Estado de salud	Diagnostico newff	Fuente
<p>Imagen 1</p> 	Enferma	Enferma	http://mexico.infoagro.com/wp-content/uploads/2019/05/Sigatonka-negra-696x348.jpg
<p>Imagen 2</p> 	Enferma	Enferma	https://www.koppert.es/content/_processed_/6/b/csm_Mycosphaerella_fijienesis_1_8281595bbb.jpg
<p>Imagen 3</p> 	Enferma	Enferma	https://www.ecuavisa.com/sites/default/files/imagenes/2012/08/29/20120829_sigatoka_negra290812.jpg
<p>Imagen 4</p> 	Enferma	Enferma	http://www.cultivabanano.com/wp-content/uploads/2017/04/sigat1-831x480.jpg
<p>Imagen 5</p> 	Enferma	Enferma	https://www.mindenpictures.com/search/preview/yellow-sigatoka-mycosphaerella-musicola-lesions-on-a-banana-leaf-malaysia/0_80105742.html
<p>Imagen 6</p> 	Sana	Sana	https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSZry5iaWOtIRpIG8NoZE2hfbjuBIOVv-3qfQP1rYJzy9UFfp
<p>Imagen 7</p> 	Sana	Sana	https://fincavarsovia.files.wordpress.com/2010/12/hojas-de-platano2.jpg
<p>Imagen 8</p> 	Sana	Sana	http://eskulan.com/wp-content/uploads/2011/09/DSC2094.jpg

<p>Imagen 9</p> 	Sana	Sana	https://www.gaulan.es/322343-large_default/papel-pintado-rasch-african-queen-2-473407.jpg
<p>Imagen 10</p> 	Sana	Sana	https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSJfN2VuMZxOCigpK5XKSgWeMz7kAeY_KbhnWVei6EGJ4Yado8J
<p>Imagen 11</p> 	Enferma	Enferma	https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRWfV0pMW9pkEZ717E4abyLdDJyH22CSPFeHeXNHwXHaUX-d5Uu
<p>Imagen 12</p> 	Sana	Sana	http://800noticias.com/cms/wp-content/uploads/2018/12/hojas.png
<p>Imagen 13</p> 	Enferma	Enferma	http://www.bananaexport.com/images/noviembre_2010/noticia_4_gra.jpg
<p>Imagen 14</p> 	Sana	Sana	https://cdn.pixabay.com/photo/2014/09/24/18/37/banana-leaves-459393_960_720.jpg
<p>Imagen 15</p> 	Enferma	Enferma	https://i0.wp.com/fruitworldmedia.com/wp-content/uploads/2016/08/Black-Sigatoka.png?resize=1000%2C600&ssl=1
<p>Imagen 16</p> 	Sana	Sana	http://eskulan.com/wp-content/uploads/2011/09/DSC2094.jpg

<p>Imagen 17</p> 	Enferma	Enferma	https://www.growables.org/informacion/TropicalFruit/images/BananaScotNelson56.jpg
<p>Imagen 18</p> 	Sana	Sana	http://2.bp.blogspot.com/_GfTsa68hyZ0/TCNNDqb2RvI/AAAAAAAAACJYjSb9235f1MQ/s1600/OJA+DE+PLATANO.jpg
<p>Imagen 19</p> 	Enferma	Enferma	https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTwct7zFUTUQYtEngtzl219ua0HwX5bk5nkz9jPyA9z2SMEig45
<p>Imagen 20</p> 	Sana	Sana	https://static.hogarmania.com/archivos/201702/deco-269-plantas-hojas-grandes-musa-ensete-6-1280x720x80xX.jpg?1

Se ha determinado que la NN newff presenta una alta eficiencia y precisión en la clasificación de imágenes, pues se ha demostrado su correcto funcionamiento en las pruebas realizadas. Además, el entrenamiento de dicha red, a diferencia de las generadas con otros algoritmos, no requiere de mayor complejidad. Las imágenes de entrenamiento obtenidas mediante la cámara seleccionada propician el correcto entrenamiento de la red, arrojando resultados satisfactorios.

Cabe destacar que, de las 20 imágenes de prueba utilizadas, la predicción del resultado de estas fue del 100% efectivo en su precisión.

Trabajo a futuro

En posteriores investigaciones se pretende aumentar el alcance de la funcionalidad del producto de software mediante la implementación de herramientas de estadística que representen un apoyo en la toma de decisiones del agricultor.

Además, se recomienda desarrollar un nuevo trabajo de investigación con una NN diferente a la utilizada en este trabajo para generar un comparativo entre ambos trabajos y ver cual tiene mayor precisión.

Conclusiones

En este trabajo de investigación se creó una NN tipo newff, la cual permite determinar el estado de salud de las hojas del banano, determinando si se encuentra sana o infectada por Sigatoka Negra, a través de la carga de fotografías mediante una interfaz gráfica elaborada en Matlab.

El uso de las NNs contribuye a la detección con excelente precisión en la predicción de agentes patógenos en los cultivos de plátano, logrando con ello una mejor producción y calidad del producto.

Agradecimientos

Los autores de este artículo desean agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), así como al Tecnológico Nacional de México/ I.T. Colima por el apoyo brindado durante esta investigación.

Referencias

1. J. Cuevas (2015). Sistema de adquisición y análisis de información para el diagnóstico de la Sigatoka Negra (tesis de posgrado). Universidad de Colima, Colima.
2. D. Workman (2019). Bananas Exports by Country. World stop exports. Disponible en: <http://www.worldstopexports.com/bananas-exports-country/>
3. F. Bravo (2019). Alcanzaron plataneros locales las 350 mil toneladas de producción en 2018. El comentario. Disponible en: <https://elcomentario.uco.mx/alcanzaron-plataneros-locales-las-350-mil-toneladas-de-produccion-en-2018/>
4. E. Álvarez, A. Pantoja, L. Gañán, G. Ceballos (2013). La Sigatoka Negra en plátano y banano. Centro Internacional de Agricultura Tropical. FAO.
5. INIFAP (2017). Agenda técnica agrícola de Colima. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwiPk8-27evjAhUFRa0KH94CxlQFjABegQIARAC&url=http%3A%2F%2Fwww.inifap.gob.mx%2FDocuments%2FInicio%2FAgendas_Tec%2F2017%2FAgenda%2520T%25C3%25A9cnica%2520Colima%2520OK.pdf&usq=AOvVaw1f7H6x9kbTa266EOXIBQ7C
6. E. Cárdenas, N. García, J. García, E. Flores (2017). Modelo difuso para la proliferación de plaga "Sigatoka Negra" en el cultivo de plátano. *Congreso Nacional Multidisciplinario de Educación, Ciencia y Tecnología*. Volumen I. Recuperado desde: http://www.ecorfan.org/republicoperu/rj_ingenieria_elec_i.php
7. Y. Lu, S. Yi, N. Zeng, Y. Liu, Y. Zhang (2017) Identification of rice diseases using deep convolutional neural networks. *Neurocomputing*. Volumen CCLXVII. Recuperado desde: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231217311384>
8. J. García, N. Farías, J. Benavides, E. Escobar (2017). Procesamiento de imágenes aplicadas a la identificación de agentes patógenos en el cultivo de plátano. *Congreso Nacional Multidisciplinario de Educación, Ciencia y Tecnología*. Volumen Lv. Recuperado desde: http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologias_de_la_Informacion/vol4num13/Revista_de_Tecnologias_de_la_Informacion_V4_N13_3.pdf
9. E. Escobar, N. García, J. Verduzco, J. García (2017). Predicción de agentes patógenos en plantas ornamentales utilizando redes neuronales. *Congreso Nacional Multidisciplinario de Educación, Ciencia y Tecnología*. Volumen IV. Recuperado desde: http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologias_de_la_Informacion/vol4num13/Revista_de_Tecnologias_de_la_Informacion_V4_N13_4.pdf
10. D. Vukadinovic, G. Polder, G. Jan (2016). Automated Detection of Mycosphaerella Melonis Infected Cucumber Fruits. *IFAC-PapersOnLine*. Volumen XLIX. Recuperado desde: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631631583X>
11. S. Haykin (2009). *Neural Networks and Learning Machines*. 3era ed. Pearson.
12. J. Gonzalez (2016). *Redes Neuronales*. 1era ed. Disponible en: https://issuu.com/jonathanalexandergonzalez/docs/revista_8cf0feb5076e93
13. Nielsen, M. (2017). Using neural nets to recognize handwritten digits. Recuperado desde: <http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap1.html>