

DOI:10.18684/BSAA(14)45-52

# MONITOREO PRELIMINAR DE INCIDENCIA DE FISIOPATÍAS EN CULTIVOS DE FRESA USANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

## PRELIMINARY MONITORING OF PHYSIOPATHIES INCIDENCE USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

## MONITORAMENTO PRELIMINAR DE INCIDÊNCIA DE FISIOPATIAS EM CULTIVOS DE MORANGO BASEADO NO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

JUAN DAVID SANDINO-MORA<sup>1</sup>, DARÍO AMAYA-HURTADO<sup>2</sup>, OLGA LUCÍA RAMOS-SANDOVAL<sup>3</sup>

### RESUMEN

*La identificación de diferentes anomalías en cultivos agrícolas usando procesamiento de imágenes, ha demostrado cada vez más su efectividad. Contrario con los métodos de ejecución tradicionales, los cuales arrancan los folíolos y frutos de la planta, para realizar el estudio. En este trabajo se presentan los resultados del desarrollo e validación de un algoritmo, que permita realizar monitoreo de incidencia en cultivos de fresa (*Fragaria x ananassa*), capaz de dar una primera aproximación para distinguir senescencia y daños mecánicos en sus folíolos, implementando una metodología indirecta (no destructiva). Las técnicas de procesamiento de imágenes implementadas incluyen Suavizado, Erosión, Dilatación, Detección de Contornos, Correspondencia de Patrones, Umbralización, entre otros. Los resultados obtenidos se visualizaron en una aplicación desarrollada en C# usando la librería Emgu CV, mostrando al usuario un diagnóstico de la planta de estudio. Se concluye que es posible ofrecer un servicio de monitoreo preliminar*

**Recibido para evaluación:** 16 de junio de 2015. **Aprobado para publicación:** 9 de Noviembre del 2015.

- 1 Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería en Mecatrónica, Grupo de Investigación GAV. Ingeniero en Mecatrónica. Bogotá, Colombia.
- 2 Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería en Mecatrónica, Grupo de Investigación GAV. Doctor en Ingeniería Mecánica. Bogotá, Colombia.
- 3 Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería; Programa de Ingeniería en Mecatrónica, Grupo de Investigación GAV. Magister en Teleinformática. Bogotá, Colombia.

**Correspondencia:** u1801731@unimilitar.edu.co.

de incidencia usando este algoritmo, ahorrando tiempo para productores e investigadores que requieran una primera aproximación del estado del cultivo, con la posibilidad de ejecutarse tanto en computadores e robots aéreos (drones) para hacer más eficiente esta tarea.

## ABSTRACT

*Processes executed for Identifying anomalies in agricultural crops using image processing have been effective, however these methods involve tear off plant's leaflets and fruits under study. For this paper it is shown the results of the development and validation of an algorithm that allows the execution of incidence monitoring in strawberry crops (*Fragaria x ananassa*), able to make a first approximation to distinguish senescence and mechanical damage in their leaflets, implementing an indirect (non-destructive) methodology. Image processing techniques used for this research include smoothing, erosion, dilation, edge detection, pattern matching, thresholding, among others. The results were visualized in an application developed in C # using the Emgu CV library. It is concluded that is possible to offer a preliminary monitoring of incidence using this algorithm, saving time for producers and researchers who require a first approximation of the state of the crop, with the ability to run on desktops, notebooks and aerial robots (drones) that allow to automate this task.*

## RESUMO

*A identificação das diferentes anomalias em cultivos agrícolas utilizando processamento de imagens há demonstrado cada vez mais sua efetividade. Contrário com os métodos tradicionais, que tiram as folhas e frutos da árvore para realizar o estudo. Neste trabalho se apresentam os resultados do desenvolvimento e validação do algoritmo, que permite realizar monitoramentos da incidência em cultivos de morango (*Fragaria x ananassa*), capaz de realizar uma primeira aproximação para identificar senescência e danos mecânicos em suas folhas, desenvolvendo uma metodologia não destrutiva. As técnicas de processamento de imagens envolvidas, incluem suavização, erosão, dilatação, detecção de bordas, correspondência de padrões, umbral (Thresholding), entre outros. Os resultados obtidos se visualizaram em uma aplicação em C# utilizando a biblioteca Emgu CV, mostraram ao usuário um diagnóstico da planta em estudo. Se conclui que é possível oferecer um serviço de monitoramento preliminar de incidência, utilizando este algoritmo, poupando tempo para produtores e pesquisadores que precisem uma primeira aproximação do estado de um cultivo, com a possibilidade de utilizar computadores e Drones para fazer mais eficiente esta tarefa.*

## INTRODUCCIÓN

Las acciones de monitoreo y control en horticultura, sobretudo en cultivos de fresa (*Fragaria x ananassa*), son rigurosamente preventivas, de ahí que los productos ofrecidos al mercado, se encuentren en las mejores condi-

## PALABRAS CLAVE:

Correspondencia de patrones, Detección de contornos, *Fragaria x ananassa*, Senescencia.

## KEYWORDS:

Contour detection, *Fragaria x ananassa*, Match-shapes, Senescence.

## PALAVRAS-CHAVE:

Correspondência de padrões, Detecção de bordas, *Fragaria x ananassa*, Senescência.

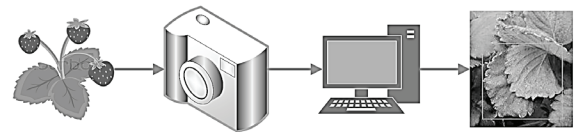
ciones nutricionales y sanitarias [1, 2, 3, 4]. Cuando se evidencian anomalías en el cultivo, es recomendable actuar rápido para preservar las camas del cultivo durante su ciclo de vida, consiguiente es indispensable conocer el estado del cultivo y generar un diagnóstico adecuado antes de tomar decisiones que impliquen erradicar foliolos, frutos y/o camas enteras [5, 6].

Los catálogos gráficos y textos disponibles relacionados con la identificación de anomalías en cultivos de fresa, corresponden en general a variedades que se cultivan únicamente en Estados Unidos [2]. Para Colombia no existe a la fecha catálogos oficiales, que permitan identificar cada una de las anomalías, a las que pueden estar expuestas las variedades de fresa que se cultivan en el país [7]. A pesar de que existan fuentes de información muy ilustrativas [4], los síntomas que pueden presentarse en las camas, suelen ser difícilmente distinguibles para las personas que carezcan de contacto directo con éstas. Por otra parte, efectuar un análisis por laboratorio para efectuar un monitoreo de severidad conlleva invertir tiempo y costos considerables.

Diferentes investigaciones enfocadas en la identificación y recopilación de información en los cultivos de fresa, a través de su fisiología mediante la adquisición de imágenes en sus foliolos, han sido efectivos, siempre y cuando se implementen métodos directos, cuya metodología implica arrancar los frutos de la planta en estudio [8, 9, 10, 11, 12].

Independientemente de los algoritmos de visión de máquina ejecutados en estas investigaciones, se observa entonces, que estas técnicas no resultan muy convenientes debido a que se consideran destructivas. Basado en esto, se propone en esta investigación validar un algoritmo, que permita identificar las fisiopatías más comunes que suelen presentarse en los foliolos de las plantas de fresa del cultivar Albion, usando procesamiento digital de imágenes. La metodología implementada evitará utilizar métodos directos o destructivos para la adquisición de datos. La identificación de las anomalías deberá hacerse usando un sistema de visión artificial, implementado en una interfaz gráfica de usuario (GUI), de forma rápida e intuitiva para el usuario final, que permita ofrecer una primera aproximación de monitoreo de incidencia de senescencia y daños mecánicos en las plantas de estudio.

Figura 1. Representación gráfica del esquema de trabajo.



## MÉTODO

Para el desarrollo de esta investigación, se realizó una toma de imágenes al cultivo de fresa de manera indirecta, las cuales fueron posteriormente procesadas diseñando una aplicación desarrollada en C# usando la librería Emgu CV, utilizando métodos de detección de contornos, correspondencia de patrones, umbralización, suavizado, erosión, dilatación, entre otros. Los resultados permiten mostrar al usuario el diagnóstico de un posible patógeno al cual puede estar afectando la planta de estudio. En la figura 1 se puede apreciar el esquema de los principales componentes del trabajo.

Las camas de fresa (cultivar Albion) elegidas en este estudio quedaron localizadas en el Campus Nueva Granada, de la Universidad Militar Nueva Granada (Cajicá, Cundinamarca, Colombia), bajo una temperatura promedio de 14°C, a una altitud de 2.560 msnm y humedad relativa promedio del 85,06%. El área del cultivo fue de 403,2 m<sup>2</sup>, constituido por 9 camas elevadas de 13,5 m de largo por 0,7 m de ancho, con una distancia de siembra entre las camas de 0,4 m.

La adquisición de imágenes se obtuvo ejecutando capturas fotográficas directamente sobre el cultivo, evitando tener contacto directo con las plantas de fresa. El dispositivo utilizado contiene especificaciones de resolución de 16 MP, ajustes de brillo y contraste automáticos, velocidad de captura de 250 Hz y formato digital de salida *JPG*. Cada una de las capturas realizadas fue ejecutada sin requerir el uso de zoom digital. Las imágenes fueron tomadas entre las 10:00 a.m y 12:00 a.m, bajo condiciones meteorológicas de cielo nublado. La toma de muestras se realizó de forma secuencial, siguiendo un modelo en zig-zag que permitiera cubrir el área de cultivo estudiado, capturando tanto foliolos sanos como aquellos con anomalías visibles. Las imágenes obtenidas fueron clasificadas en una base de datos.

Se desarrolló un algoritmo que permita identificar dichas singularidades, el cual fue posteriormente ejecutado a través de una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) en un computador de escritorio bajo las siguientes especificaciones: procesador AMD Athlon II X245 (2 x

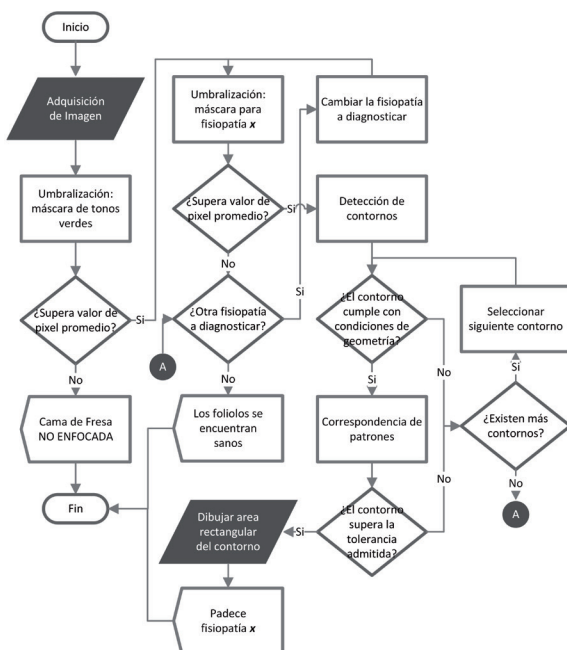
2,9 GHz), memoria RAM de 4GB DDR2, tarjeta gráfica ATI Radeon HD 4350 y sistema operativo Windows 8.1 Update (64 bit). Con el fin de automatizar el reconocimiento de anomalías en plantas de fresa, el algoritmo propuesto tuvo la capacidad de seleccionar automáticamente la metodología apropiada para cada uno de los posibles diagnósticos que puedan presentarse en el monitoreo de incidencia.

## RESULTADOS

### Algoritmo de identificación propuesto

En la figura 2, se presenta el algoritmo propuesto para la identificación de fisiopatías en el cultivo de estudio. El algoritmo, tiene la capacidad de diferenciar, si la imagen adquirida se encuentra enfocada directamente a los folíolos de una planta de fresa. De darse esta situación, el algoritmo tendrá la capacidad de reconocer la evidencia de senescencia y/o de daños mecánicos en los folíolos. De lo contrario el algoritmo aborta la metodología de diagnóstico manifestando al usuario que la imagen adquirida no se encuentra enfocando las camas de fresa. Una vez se identifique el tipo de estudio para llevar a cabo, fueron efectuados diferentes técnicas de segmentación de imagen para identificar posibles anomalías en las plantas de estudio.

Figura 2. Diagrama de flujo general para detectar anomalías en folíolos para plantas de fresa.



Al cargar la imagen en la aplicación, se realizó una conversión de los datos contenidos en ella, desde el formato *Red, Green, Blue* (RGB) característico de las cámaras digitales, al formato *Hue, Saturation, Value* (HSV) [13], el cual mejora analíticamente la distinción de los colores contenidos en una imagen. Luego se obtuvo una máscara digital principal con el fin de determinar si la imagen original fue enfocada en los frutos de la planta. Para obtener la máscara, se realiza una umbralización usando el método *InRange(...)*, retornando una imagen binaria tomando como base la ecuación 1, donde *src(I)* es la imagen de origen, *dst(I)* es la imagen resultante, *lowerb(I)<sub>0</sub>* y *upperb(I)<sub>0</sub>* a los rangos HSV inferior y superior respectivamente.

$$dst(I) = \begin{cases} 255 & \rightarrow lowerb(I)_0 \leq src(I)_0 \leq upperb(I)_0 \\ 0 & \rightarrow \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (Ec.1)$$

Con la imagen binaria se obtuvo la media de los valores de todos los píxeles que conforman la máscara principal a través de la ecuación 2, donde *src(I)<sub>0</sub>* es la imagen de origen y al número de píxeles contenidas en *src(I)<sub>0</sub>*. Con dichos valores se determinaron los niveles de intensidad de tonalidades verdes para distinguir los folíolos, por lo tanto, la imagen original fue considerada candidata a ser analizada siempre y cuando la media fuera superior a 6,0, que equivale al 2,35% de intensidad.

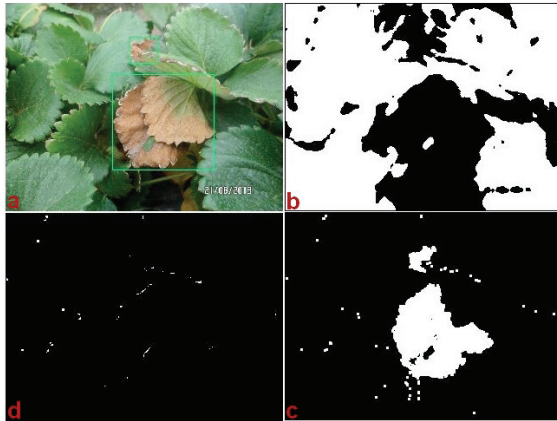
$$Avg = \frac{\sum_{i=0}^n src(I)_0}{n} \quad (Ec.2)$$

A las imágenes que superaron esta condición, les fueron aplicadas un filtro de suavizado definido por la ecuación 3, con el propósito de atenuar el ruido presente en la adquisición de la imagen, característico en las cámaras digitales.

$$K = \frac{1}{2 * ks} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ \vdots & & & \ddots & & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (Ec.3)$$

Donde *ks* es un valor impar, equivalente al tamaño de la apertura. Teniendo en cuenta que este filtro de suavizado reduce el área de los contornos obtenidos, en consecuencia se dilatan los mismos aplicando la operación de la ecuación 4. Un ejemplo de la operación anterior se visualiza en la figura 3(b).

**Figura 3.** Ilustración de las operaciones principales del algoritmo propuesto.



$$dst(x, y) = \max_{(x', y'): element (x', y') \neq 0} src(x + x', y + y') \quad (Ec. 4)$$

Para realizar el diagnóstico del objeto de interés, se aplica a la imagen original, una operación de umbralización en formato HSV (ecuación 1), cuyos parámetros están predefinidos para cada una de las anomalías incluidas en este estudio. Con la imagen binaria resultante, se verifica la existencia de algún contorno calculando la media de dicha imagen (ecuación 2). Si no se detecta ninguna región en la imagen binaria, se descarta la presencia de la anomalía en la imagen analizada. En la figura 3(c), se ilustra un ejemplo de la imagen retornada para evaluar senescencia.

A la imagen resultante se le aplica la operación lógica *AND* (ecuación 5), que determina si las regiones resaltadas de la anomalía, se encuentran incrustadas de las zonas de la máscara principal, descartando así resultados erróneos por contornos que pertenezcan a otros objetos.

$$dst(x, y) = \begin{cases} 255 \rightarrow src1(x, y) = src2(x, y) \wedge src1(x, y), src2(x, y) \neq 0 \\ 0 \rightarrow \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (Ec. 5)$$

Donde  $dst(x, y)$  es la imagen resultante,  $src1(x, y)$  y  $src2(x, y)$  equivalen a las imágenes de origen para efectuar la operación lógica *AND*. Los resultados de esta operación se observan en la figura 3(d). Enseguida se discriminan los contornos exteriores de la imagen resultante, de acuerdo con el algoritmo expuesto en [14].

Con los contornos obtenidos se ejecutaron métodos que permitan discriminar cada región por su tamaño y forma. Para ello cada uno de los contornos fue analizado por el algoritmo de Ramer–Douglas–Peucker [15, 16, 17], generando nuevas regiones cuya forma se aproxima a la de un polígono ordinario. El objetivo de esta operación consistió en comparar los contornos generados con un patrón pre-definido por un vector de puntos en el plano, usando la ecuación 6.

$$I(A, B) = \sum_{i=1..7} \left| \frac{1}{m_i^A} - \frac{1}{m_i^B} \right| \quad (Ec. 6)$$

Donde

$$m_i^A = sign(h_i^A) \cdot log h_i^A \quad (Ec. 7)$$

$$m_i^B = sign(h_i^B) \cdot log h_i^B \quad (Ec. 8)$$

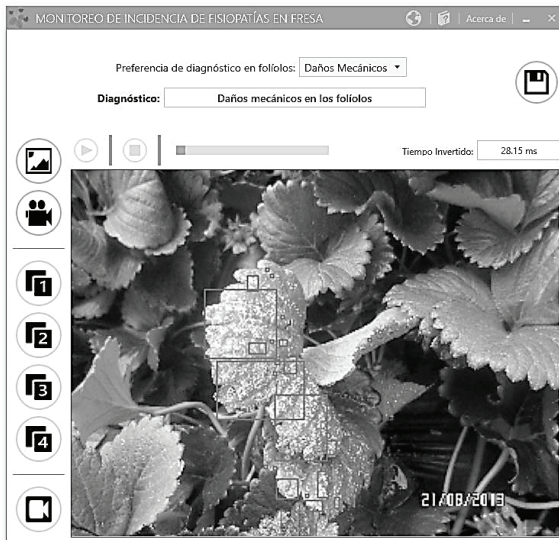
Los valores A y B corresponden a los objetos a comparar,  $h_i^A$  y  $h_i^B$  a los *momentos de Hu* de los objetos A y B respectivamente. Los siete momentos utilizados para la correspondencia de patrones están definidos por [18]. El método devuelve un valor flotante indicando la relación entre el contorno de entrada y el patrón predefinido en un rango de 0,0 (ambas regiones coinciden) a 1,0 (no coinciden en lo absoluto). Finalmente se establece una tolerancia para el valor devuelto por el método para definir si el contorno será dibujado. El resultado final del diagnóstico se aprecia en la imagen superior izquierda de la figura 3(a), en el cual, una vez se terminen de dibujar los contornos clasificados se publica el diagnóstico en la GUI.

### Diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)

El diseño de la GUI (figura 4) permite interactuar de manera dinámica la ejecución del algoritmo planteado para su uso en el usuario final. Esta permite cargar imágenes y videos desde una ubicación en el equipo, cargar plantillas de demostración para interpretar de manera rápida el funcionamiento de la aplicación, una barra de herramientas visualizando controles de reproducción de videos y el tiempo invertido en el procesamiento del algoritmo, junto con caja de texto mostrando el diagnóstico del objeto de estudio. Los resultados se guardan generando una imagen visualizada en la GUI cuyo nombre corresponde al diagnóstico asignado por el algoritmo.

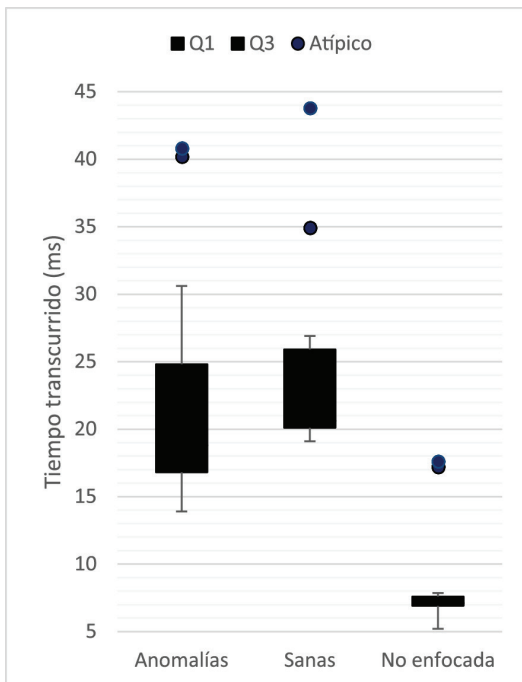


**Figura 4.** Ejecución del algoritmo en la GUI, para un diagnóstico de daños mecánicos en foliolos.



Se realizaron pruebas de rendimiento de la aplicación utilizando el tiempo invertido en cada una de las pruebas (figura 5). Dichas pruebas se clasificaron de acuerdo a los posibles diagnósticos que el algoritmo arroja al usuario (plantas enfermas, plantas sanas e imágenes no enfocadas en las camas del cultivo).

**Figura 5.** Tiempo invertido por el algoritmo para entregar cada uno de los posibles diagnósticos.



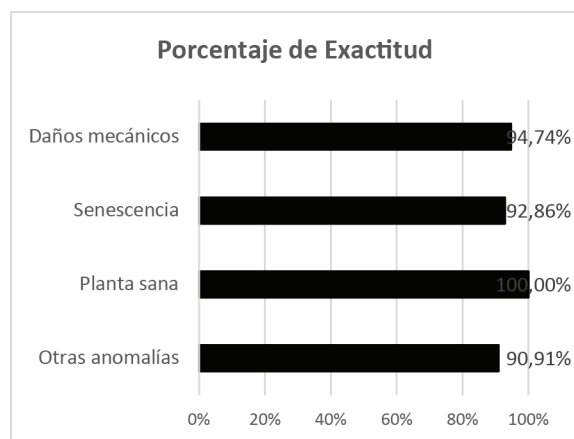
La asimetría observada en la categoría de plantas con anomalías (senescencia y daños mecánicos) corresponde al número variable de contornos que es capaz de detectar el algoritmo en cada captura fotográfica; en términos generales, el número de regiones es escaso para un foliolo que padezca los primeros síntomas de una fisiopatía, y viceversa. No obstante los valores del cuartil 1 ( $\approx 17$  ms) y cuartil 3 ( $\approx 24$  ms) evidencian que el rendimiento del algoritmo se adecua para reproducir videos a 60 Hz (33,33 ms o 30 FPS) sin ninguna dificultad, y con suficiente estabilidad al obtener aproximadamente 2 ms de diferencia entre la mediana y el cuartil 1. Una situación similar ocurre al analizar plantas con foliolos sanos, salvo que se observa un leve incremento en la magnitud de todos los cuartiles, a causa de que este diagnóstico es arrojado por descarte. En el caso contrario se situó la categoría de “imágenes no enfocadas en las camas del cultivo”, cuya mediana fue de  $\approx 7$  ms y el rango intercuartílico no superó 1 ms, puesto que, de acuerdo con el algoritmo de la figura 2, se aborta la ejecución de métodos de segmentación de imagen si no se cumplen las condiciones de pre-procesado de imagen mencionadas con anterioridad. Finalmente los valores atípicos en las 3 categorías conciernen a registros altos de tiempos al ejecutar las primeras muestras (imágenes), debido a que los módulos del programa requieren de cargarse en la memoria del PC. El rendimiento en general es sobresaliente para imágenes con resoluciones bajas ( $320 \times 240$ ) y ( $640 \times 480$ ). Sin embargo en la reproducción de videos es evidente una caída notable de hasta 15 FPS para videos de  $640 \times 480$ .

Para obtener la eficiencia de cada algoritmo para arrojar un diagnóstico acertado, se muestrearon un total de 15 imágenes obtenidas para cada fisiopatía de acuerdo con la ecuación 9, donde corresponde al número de diagnósticos acertados y al número de diagnósticos errados. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 6.

$$\text{Exactitud} = \frac{DA - DE}{DA} * 100 \quad (\text{Ec.9})$$

El algoritmo fue específicamente planteado para analizar imágenes enfocadas a las plantas del cultivo de fresa, por lo que pueden generarse diagnósticos inadecuados a imágenes que no correspondan en lo absoluto con esta investigación. Por lo tanto se recomienda tener una herramienta de adquisición de imágenes de alta calidad, que permita distinguir con mayor claridad o nitidez los objetos entre sí.

**Figura 6.** Eficiencia del algoritmo propuesto para cada uno de los posibles diagnósticos.



El algoritmo propuesto y ejecutado en la GUI presentada en esta investigación visualiza diferentes ventajas a comparación de otros estudios: de acuerdo con [19], los métodos recientes para la identificación de enfermedades en frutas, los cuales incluyen la espectroscopia en UV, espectroscopia en IR, imágenes por fluorescencia, cromatografía, imágenes hiperespectrales, entre otros, carecen de técnicas para suprimir la información del fondo en las imágenes obtenidas (disminuye la exactitud de los algoritmos usados), y requieren de un alto costo para su compra y mantenimiento; la adquisición de imágenes no requiere de instalaciones y equipos aislados del cultivo [20, 21]; adicionalmente este estudio no implementa técnicas de química analítica costosas y lentas en validación de metodología [22], aunque se reitera que la aplicación permite una aproximación general y estas técnicas de validación no deben depreciarse en lo absoluto; aplicar dichas técnicas para monitoreos de incidencia en camas enteras de cultivos extensos representa un alto consumo de tiempo y recursos, caso contrario que otorga el algoritmo presentado en esta investigación.

Los estudios mencionados anteriormente coinciden con el estudio actual, en que la optimización que requiere cada metodología para identificar anomalías en distintos cultivos agrícolas, no se obtiene usando algún método en particular y ésta debe adquirirse usando técnicas adicionales, como la ejecución de aplicaciones especializadas en el procesamiento de imágenes, aplicación de redes neuronales, algoritmos genéticos y/o técnicas de optimización [23, 24].

Finalmente se propone para futuras investigaciones la exportación de este tipo de aplicaciones a la nube y a

diferentes plataformas móviles para mejorar la portabilidad de esta herramienta de diagnóstico para efectuar monitoreos de incidencia, dadas las tendencias actuales del mercado de software.

## CONCLUSIONES

Fue posible proponer, ejecutar y validar un algoritmo para efectuar diagnósticos de senescencia y daños mecánicos, en los frutos de las plantas de fresa del cultivar Albion, usando procesamiento digital de imágenes. La ejecución de la aplicación respondió a niveles de rendimiento sobresalientes, aplicando una metodología no destructiva en la adquisición de datos.

El algoritmo propuesto y ejecutado en la aplicación de usuario final (GUI), se considera una buena herramienta para biólogos, tecnólogos en horticultura y productores, que requieran una primera aproximación de monitoreo de incidencia de anomalías en las plantas de fresa, a bajo costo de ejecución y sin costos de mantenimiento.

El trabajo realizado permite efectuar futuras investigaciones para diagnosticar patógenos bajo una metodología similar, teniendo en cuenta que las herramientas de adquisición pueden ser completamente compatible con drones, cámaras web, diferentes cámaras digitales, tanto en cultivos de cielo abierto como aquellos cultivados bajo invernadero.

## AGRADECIMIENTOS

A la vicerrectoría de investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada por financiar este proyecto de iniciación científica (PIC 1705) y al Biólogo Carlos Mario Grijalba Rátiva cM.Sc., por sus conocimientos y experiencia proporcionados en Horticultura, los cuales facilitaron el desarrollo de esta investigación y por los permisos concedidos para intervenir directamente en el cultivo de fresa del Campus Nueva Granada.

## REFERENCIAS

- [1] GUADARRAMA-DÍAZ, S.O. Guía Técnica para el Cultivo de Fresa [online]. 2006. Disponible: [http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion\\_publicaciones/horticola/fresa/groups/public/documents/edomex\\_archivo/icamex\\_arch\\_cultfresa.pdf](http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/horticola/fresa/groups/public/documents/edomex_archivo/icamex_arch_cultfresa.pdf) [citado 5 de Julio de 2014].

- [2] MAAS, J.L. Compendium of strawberry diseases. 2 ed. St. Paul, MN (Estados Unidos): American Phytopathological Society, 1998, p. 50-62
- [3] FLÓREZ-FAURA, R. y MORA-CABEZA, R.A. Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) producción y manejo poscosecha. Bogotá (Colombia): Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2010, 30 p.
- [4] LALLANA, V.H. y LALLANA, M. Manual de Prácticas de Fisiología Vegetal. Córdoba (Argentina): Eduner, 2014, 226 p.
- [5] LESUR, L. Manual de Fruticultura: una guía paso a paso. 1 ed. Bogotá (Colombia): Editorial Trillas, 2003, 80 p.
- [6] LESUR, L. Manual de Horticultura: una guía paso a paso. 1 ed. Bogotá (Colombia): Editorial Trillas, 2003, 80 p.
- [7] LEXUS EDITORES. Biblioteca de la Agricultura. 1 ed. Barcelona (España): Idea Books, 2007, p. 612-614
- [8] DU, C.J. and SUN, D.W. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. Trends in Food Science & Technology, 15(5), 2004, p. 230 - 249.
- [9] LU, C., REN, H., ZHANG, Y. and SHEN, Y. Leaf Area Measurement Based on Image Processing. Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2, 2010, p. 580-582.
- [10] BOCK, C.H. and NUTTER-JR, F.W. Detection and measurement of plant disease symptoms using visible-wavelength photography and image analysis. CAB Reviews. Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 6(27), 2011, p. 1-15.
- [11] JINGWEN, W. and HONG, L. Measurement and analysis of plant leaf area based on image processing. Information Technology in Medicine and Education (ITME), 2, 2012, p. 1070-1074.
- [12] SCHIKORA, M. and SCHIKORA, A. Image-based Analysis to Study Plant Infection with Human Pathogens. Computational and Structural Biotechnology Journal, 12(20-21), 2014, p. 1-6.
- [13] OPENCV. Miscellaneous Image Transformations [online]. 2015. Disponible: [http://docs.opencv.org/2.4.10/modules/imgproc/doc/miscellaneous\\_transformations.html?highlight=hsv](http://docs.opencv.org/2.4.10/modules/imgproc/doc/miscellaneous_transformations.html?highlight=hsv) [citado 14 de Abril de 2015].
- [14] OPENCV. Structural Analysis and Shape Descriptors [online]. 2015. Disponible: [http://docs.opencv.org/modules/imgproc/doc/structural\\_analysis\\_and\\_shape\\_descriptors.html](http://docs.opencv.org/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html) [citado 14 de Abril de 2015].
- [15] RAMER, U. An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves. Computer Graphics and Image Processing, 1(3), 1972, p. 244 - 256.
- [16] DOUGLAS, D.H. and PEUCKER, T.K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 10(2), 1973, p. 112-122.
- [17] HERSHBERGER, J. and SNOEYINK, J. Speeding Up the Douglas-Peucker Line-Simplification Algorithm. Proc. 5th Intl. Symp. on Spatial Data Handling. Vancouver, BC (Canada): 1992, p. 134-143.
- [18] HU, M. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants. IRE Transactions on Information Theory, 8(2), 1962, p. 179-187.
- [19] SANKARAN, S., MISHRA, A., EHSANI, R. and DAVIS, C. A review of advanced techniques for detecting plant diseases. Computers and Electronics in Agriculture, 72(1), 2010, p. 1-13.
- [20] ELMASRY, G., WANG, N., ELSAYED, A. and NGADI, M. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. Journal of Food Engineering, 81(1), 2007, p. 98-107.
- [21] CLÉMENT, A., VERFAILLE, T., LORMEL, C. and JALOUX, B. A new colour vision system to quantify automatically foliar discolouration caused by insect pests feeding on leaf cells. Biosystems Engineering, 133(0), 2015, p. 128-140.
- [22] VANDENDRIESSCHE, T., KEULEMANS, J., GEE-RAERD, A., NICOLAI, B.M. and HERTOOG, M.L. Evaluation of fast volatile analysis for detection of Botrytis cinerea infections in strawberry. Food Microbiology, 32(2), 2012, p. 406-414.
- [23] HUANG, K.Y. Application of artificial neural network for detecting Phalaenopsis seedling diseases using color and texture features. Computers and Electronics in Agriculture, 57(1), 2007, p. 3-11.
- [24] CAMARGO, A. and SMITH, J.S. An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms. Biosystems Engineering, 102(1), 2009, p. 9-21.