

Deteccción de enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* en jitomate cultivado en invernadero

Marco Waldo Ángeles-Tena^A, Daniel Robles-Camarillo^A, Eric Simancas-Acevedo^B

^AMaestría en Tecnologías de Información y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Pachuca (UPP), Carr- Pachuca Cd. Sahagún, Km 20, ExHacienda de Santa Bárbara, Zempoala, Hidalgo, México.

^BCoordinación de Ingeniería en Telemática, Universidad Politécnica de Pachuca (UPP), Carr- Pachuca Cd. Sahagún, Km 20, ExHacienda de Santa Bárbara, Zempoala, Hidalgo, México.

waldoangeles@upp.edu.mx.

RESUMEN

Uno de los principales problemas de los productores de jitomate (Solanum lycopersicum) en invernaderos es la detección de enfermedades a edad temprana en la planta, lo cual provoca pérdida de producción. La investigación se enfoca en el desarrollo de un sistema de detección en esa etapa de una enfermedad producida por el hongo (Fusarium oxysporum) en la planta del jitomate en invernaderos de Pachuca. El método consiste en tomar un termograma del tallo para determinar si la planta está sana. Para ello se conformó una base de datos de imágenes termográficas de los tallos, con resultados de identificación de plantas enfermas del 92.45% y de sanas del 94.41%.

PALABRAS CLAVE

Jitomate, invernadero, *Fusarium oxysporum*, termograma, tallo.

ABSTRACT

The detection of diseases at an early stage in the tomato (Solanum lycopersicum) into greenhouses is one of the main problems faced by tomato growers, causing a loss of production. This research focuses on the development of detection system at that stage, of an illness caused by the fungus (Fusarium oxysporum) in the tomato plant in Pachuca's greenhouses. The method consist in taking a thermal image of the stem to determine if the plant is healthy. A data base with the thermal images of the stems was conformed, with results of identification of diseased plants of 92.45% and of healthy plants of 94.41%.

KEYWORDS

Tomato, greenhouse, *Fusarium oxysporum*, thermal images, stem.

INTRODUCCIÓN

Nuestro país es uno de los diez productores más grandes de jitomate en el mundo. El cultivo de jitomate de invernadero en Hidalgo y especialmente en los municipios de Pachuca, Mineral de la Reforma y Zempoala presenta un incremento de producción de 20% con respecto a la década anterior, alcanzando un rendimiento de 220 ton/ha/año,¹ haciendo cada vez más rentable la producción del jitomate en condiciones de invernadero pero a la vez, más susceptible de ser atacado por plagas o enfermedades, por lo que se requiere de la detección temprana de enfermedades en la planta cultivada en invernaderos, debido a que la mayoría de las veces son identificadas cuando el producto se encuentra en edad madura, provocando la pérdida parcial o total de la producción.²

La investigación realizada se enfoca en el desarrollo de un sistema de detección temprana de la enfermedad más prevalente del jitomate en los invernaderos de los municipios estudiados; esta enfermedad es producida por el hongo (*Fusarium oxysporum*).

Este hongo sobrevive en los restos del cultivo de una temporada a otra y posee estructuras de resistencia (somáticas y reproductivas) que le permiten perdurar en el suelo por 6 años. Es favorecido por temperaturas cálidas (20°C) asociada a alta humedad relativa. El hongo penetra en la planta a nivel del suelo ya sea por el tallo o raíces superficiales, luego por los haces vasculares es trasladado a toda la planta.²

El desarrollo presentado requiere imágenes térmicas, la tecnología usada es una técnica no invasiva, sin contacto y no destructiva para la planta, es utilizada para determinar las condiciones térmicas y las características de cualquier objeto de interés, misma que ha sido utilizada por varios investigadores para detectar enfermedades en la industria de la horticultura y la agricultura.^{3,4}

En esta investigación se realiza la detección temprana del hongo, procesando la imagen termográfica para encontrar en primera instancia en el tallo como región de interés (ROI) en la imagen y a partir de esto, poder extraer las características que determinen si la planta del jitomate está infectada, debido a que en el tallo es donde la enfermedad ataca y a partir de las imágenes térmicas del tallo se realiza el análisis de los niveles de temperatura (color) que presenta.

Como resultado del análisis es posible determinar que los niveles de temperatura difieren cuando una planta se encuentra enferma o sana. Si la planta se encuentra enferma se pueden detectar en el tallo alta temperatura (tonos rojos), lo que indica la falta de humedad en la planta ya que al estar enferma no retiene líquidos y por lo tanto la temperatura en el tallo es mayor, en cambio las plantas que se encuentran sanas presentan niveles de temperatura homogéneos, sólo en sus extremos es donde presentan mayores temperaturas que se pueden observar de color rojo, denotando la presencia de humedad en el tallo, lo que indica que la temperatura en el interior del tallo no es elevada.

La detección de temperatura se realiza por medio del sistema que analiza y reconoce las imágenes termográficas para poder identificar cuando una planta se encuentra afectada por el hongo, entonces se propone realizar el procesamiento de la imagen, en donde se tendrán que agrupar los niveles de temperatura (color) de las imágenes termográficas para clasificarlas y así poder determinar su condición.

DESARROLLO

Durante esta investigación se utilizó el siguiente equipo, software y lugar para obtener las imágenes del cultivo del jitomate, los cuales fueron:

- Una cámara termográfica para la obtención de las imágenes, como se muestra en la siguiente figura 1.



Fig. 1. Keysight Serie U5850 Cámara termográfica IR.

- Un invernadero de jitomates para la investigación del hongo *Fusarium oxysporum*.
- El Software para el análisis y desarrollo del sistema fue Matlab R2014a.

RECOMENDACIÓN

- La distancia para la toma de las fotografías con la cámara térmica al tallo de la planta del jitomate debe ser entre 0.10 m y 0.20 m para que los tonos de temperatura sean los adecuados, también hay que tomar en cuenta que la temperatura del invernadero este entre los 15°C y 30°C, con el fin de que no influya la temperatura externa.

En la investigación se conformó una base de datos de imágenes termográficas de tallos de plantas del jitomate producidas en el invernadero ubicado en la localidad de La Higa, teniendo las siguientes características.

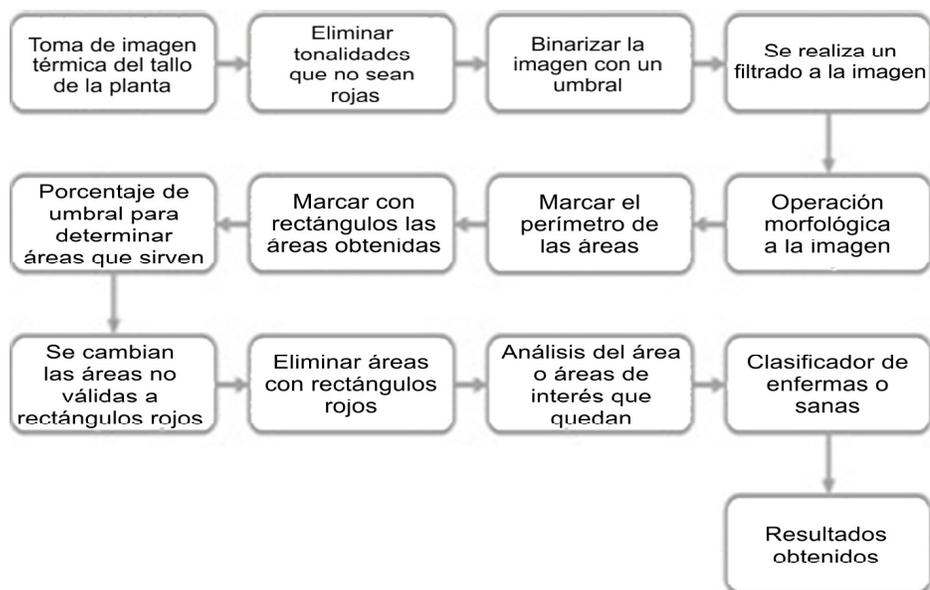


Fig. 2. Diagrama de bloques del proceso realizado.

De 196 imágenes termográficas de tallos; 143 corresponden a tallos de plantas sanas y 53 de plantas enfermas (esto de acuerdo al experto del invernadero donde se realiza la toma de las plantas); las cuales fueron tomadas en tiempos diferentes durante 4 meses, con el objetivo de dar seguimiento a su crecimiento y los cambios que pudieran presentarse durante su evolución.

La metodología que se desarrollada para la investigación, se puede ver en el diagrama de bloques de la figura 2, el cual se describe posteriormente.

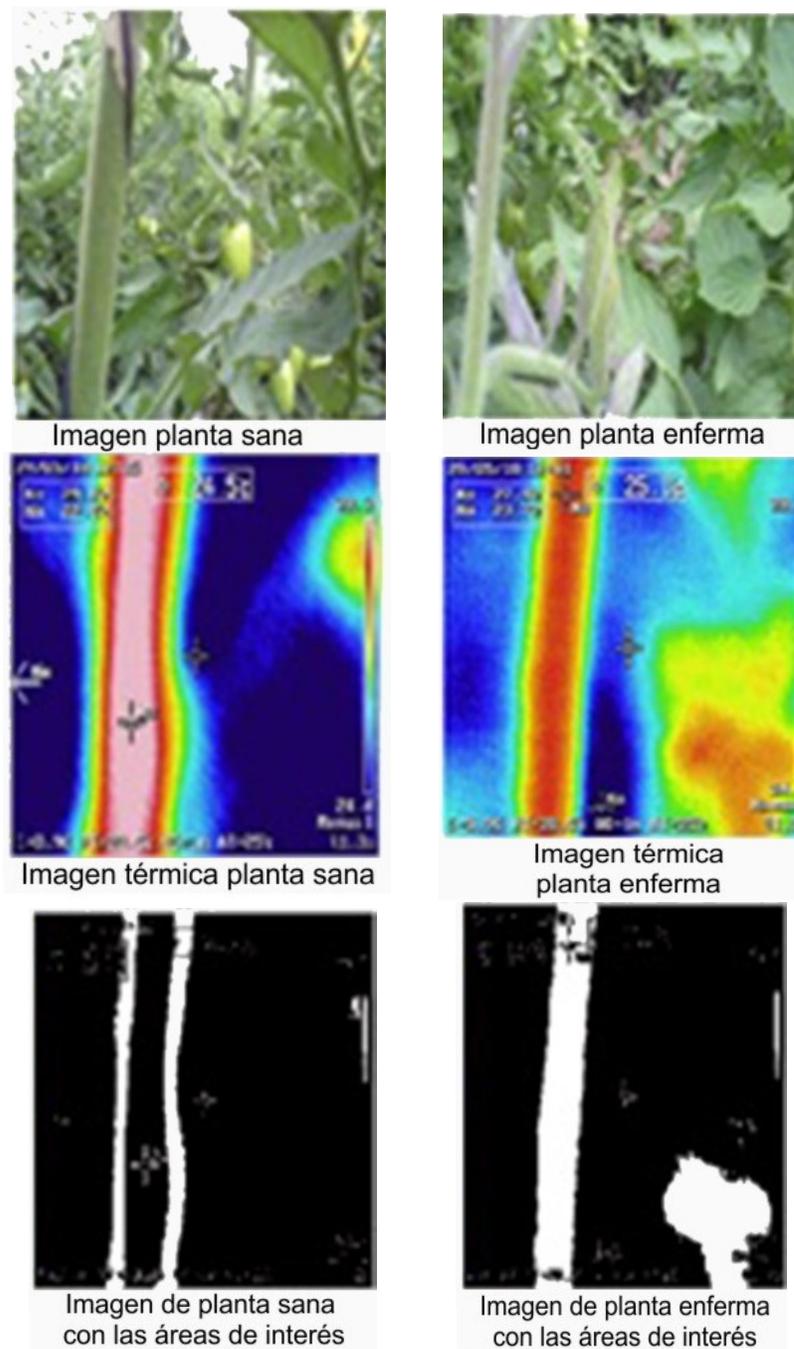


Fig. 3. Imágenes del procesamiento aplicado a imágenes de una planta sana y una enferma y la determinación de la ROI.

Se realizaron tomas en diversas etapas del crecimiento de las plantas, para caracterizar el comportamiento térmico de la misma, posteriormente se procesó la imagen para filtrar los colores que no son rojos y así, obtener las ROI de la imagen, las cuales son las partes rojas correspondiente al nivel más alto de temperatura y la imagen se convierte a escala de grises, como se muestra en la figura 3.

Después de tener sólo valores rojos positivos en la imagen se analizó que los valores de 50 a 255 contenían la ROI y se asignó el primer umbral, con el cual se mejoraron los resultados del análisis de las imágenes y se procedió a convertir la imagen en binaria para poderla procesar en el sistema, como se muestra en la figura 4.

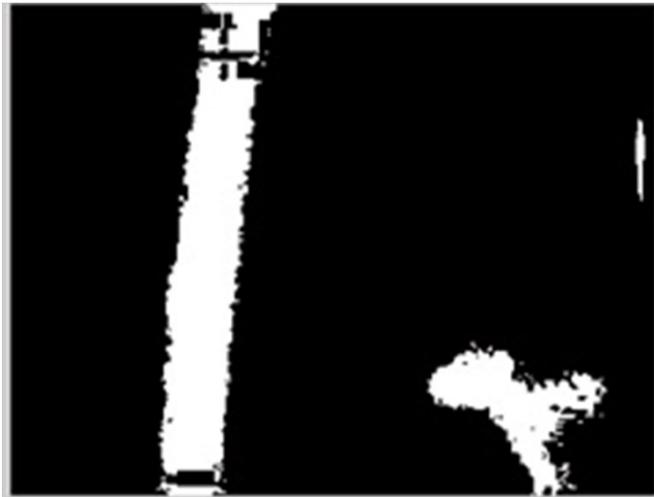


Fig. 4. Imagen binarizada de planta.

Al aplicar el primer umbral, la imagen obtenida presentaba varios huecos en las ROI, por lo que se procedió a utilizar un filtrado medio que es una operación no lineal para el procesamiento de la imágenes para reducir el ruido de “sal y pimienta” y preservar los bordes posteriormente se realizan las operaciones morfológicas de dilatación y cierre las cuales “limpiaron” la imagen, para definir las diferentes áreas de interés que presentan en la imagen binaria figura 5.



Fig. 5. Imagen de planta después de las operaciones morfológicas.

Realizado este procesamiento, para algunas imágenes se encontró la existencia de otras áreas de la imagen de la planta que no necesariamente eran del tallo, si no que pertenecen a alguna hoja o fruto con temperaturas altas (deshidratadas) por lo que es necesario utilizar un segundo umbral el cual consistió en que si la ROI era menor a 4000 se procedía a eliminarlas.

A continuación se delimitaron las áreas para poder realizar el procedimiento de eliminación de las áreas que no pertenecen al tallo esto mediante el marcando del perímetro de cada ROI y el marcando con rectángulos verdes las ROI, los cuales se les aplica el segundo umbral por medio de un porcentaje del área, el cual determina que áreas se cambiarán a recuadros rojos, para ser eliminados y así obtener solo la imagen binaria con el área exclusivamente del tallo, como se muestra en la siguiente figura 6.

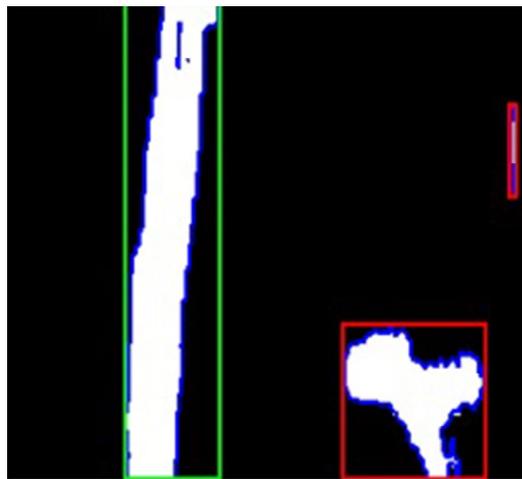


Fig. 6. Detección de las áreas que no representan la ROI (recuadros en rojos).

Se pueden observar en esta figura las áreas largas marcadas en recuadros verdes que corresponden a nuestra ROI, mientras que las regiones enmarcadas de color rojo deben ser eliminadas para no producir errores en la toma de decisiones del clasificador.

Después el anterior proceso se obtiene la ROI que se analizara por medio de un clasificador, para que de forma automática se determine si el tallo de la imagen está enfermo o sana (figura 7).



Fig. 7. Imagen de la ROI (tallo) de una planta enferma.

La clasificación se realizó por medio de un modelo lineal ya que la separación obtenida de las ROI después del procesamiento de la imagen binarizada, en casi el 92.47% con los umbrales utilizados y da como resultado una o dos áreas de las cuales nos indicaban si estaban enfermas o sanas respectivamente, como se muestra en la gráfica de la figura 8.

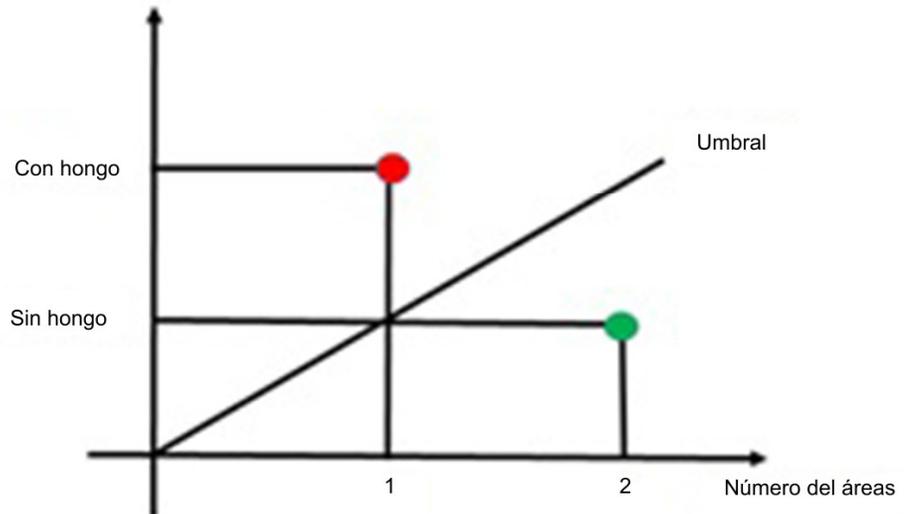


Fig. 8. Representación del clasificador lineal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación, son que de las ROI de los tallos del jitomate ya binarizados, se puede detectar si la planta está enferma o sana, como ya se mencionó en el desarrollo, teniendo un mínimo porcentaje en donde a veces no se detecta si el tallo de la planta está enferma. A continuación, se muestra la gráfica del análisis de 20 plantas de acuerdo al número de ROI en la imagen, la muestra da un 100% de efectividad en el análisis de detección temprana de la enfermedad, en donde se detectaron las 3 plantas enfermas que estaban en la muestra de 20 plantas a analizar figura 9.



Fig. 9. Con las ROI.

En la figura 10 se muestra la matriz de confusión del sistema cuando se aplica a 196 imágenes procesadas por el método descrito, en la cual se puede observar el porcentaje de imágenes clasificadas correctamente como verdaderos positivos, verdaderos negativos, falsos positivos y falsos negativos.

		Predicción		
		Positivos	Negativos	
Observaciones	Sanas	135 (VP)	8 (FN)	143
	Enfermas	4 (FP)	49 (VN)	53
		139	57	

Fig. 10. Matriz de confusión del sistema aplicado a 196 imágenes.

VP = cantidad de positivos que fueron clasificados correctamente como positivos

VN = cantidad de negativos que fueron clasificados correctamente como negativos

FN = cantidad de positivos que fueron clasificados incorrectamente como negativos

FP = cantidad de negativos que fueron clasificados incorrectamente como positivos

La tabla I muestra el porcentaje de efectividad del método para 196 imágenes procesadas. Esta efectividad es similar a la obtenida por métodos similares para otras enfermedades en el jitomate.⁵

Tabla I. Porcentaje de efectividad del sistema.

	Total de muestras 196	Identificadas con sistema	% de Ident. Sistema
Sanas	143	135	94.41%
Enfermas	53	49	92.45%

Para la detección y clasificación de las plantas del jitomate sanas y enfermas se utiliza un modelo lineal debido a las características de la forma de las imágenes térmicas obtenidas y por los umbrales calculados para las áreas de las imágenes finales binarizadas. En la figura 11-a, se muestra la imagen de una planta sana y en la figura 11-b la planta enferma, las cuales son las que se tratan en el sistema para que de forma automática las reconozca y clasifique.



a) Planta sana

b) Planta enferma

Fig. 11. Imagen de una planta finales.

La etapa en la que se encuentra actualmente la investigación, es que el sistema detecte aproximadamente un 95% de forma automática aplicada a cualquier imagen termográfica del tallo de la planta de jitomate.

CONCLUSIÓN

El análisis que se realizó a las imágenes térmicas tomadas en los tallos de las plantas, ya sean enfermas como sanas, lo cual es fundamental ya que con los umbrales obtenidos, después de varias pruebas realizadas en el proceso de binarización y detección de las ROI para la eliminación de las áreas no deseadas. Los resultados de detección temprana de la enfermedad causada por el hongo *Fusarium oxysporum* en el cultivo del jitomate en invernadero muestran una efectividad del sistema del 94.41% para la plantas sanas, detectando 135 de 143 y el porcentaje de efectividad para la enfermas es del 92.45% detectando 49 de 53 muestras de tallos enfermos. La efectividad es satisfactoria y está en el mismo orden que la detección de otros tipos de enfermedades del jitomate determinada con métodos similares a los realizados en esta investigación.

Este artículo fue presentado en el Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías 2018, organizado por la Universidad Politécnica de Pachuca.

REFERENCIAS

1. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2016a). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola [En línea], disponible en: <http://www.siap.gob.mx/produce-39-toneladas-jitomate/>
2. SAGARPA. (2015). Manual de plagas y enfermedades en jitomate. CESAVEG, 1, 28, Principales enfermedades en jitomate: Damping off (*Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora* sp, *Fusarium* sp):

3. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2014). Atlas agroalimentario México. Principales productores de jitomate a nivel nacional [En línea], disponible en: <http://www.siap.gob.mx/atlas2014/index.html>.
4. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2016). Estadísticas mundiales sobre la producción y comercialización de jitomate. [En línea], disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>.
5. Automatic Detection of Diseased Tomato Plants Using Thermal and Stereo Visible Light Images, Shan-e-Ahmed Raza, Gillian Prince, John P. Clarkson, Nasir M. Rajpoot, Published: April 10, 2015: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123262>.



ANÚNCIESE EN:
Ingenierías

INFORMES:

Tel: (52) (81) 83294020 Ext.5854
Fax_ (52)(81)83320904
E-mail: revistaingenierias@gmail.mx
Internet: www.ingenierias.uanl.mx