

Cuantificación de la calidad de la papaya usando análisis de imágenes

Héctor Manjarrez Dehesa, Martín Sánchez, Juan Pablo Rubio, Marco Bochicchio
Colegio Marymount Estrella del Norte #6 Col. Rancho Tetela, Fax:311-42-77,

Resumen

La calidad de la papaya puede ser medida por un proceso de análisis de imágenes. Como ejemplo para probar esto, determinamos el desarrollo de las manchas causadas por la *antracnosis* en la cáscara de la papaya. La antracnosis es una enfermedad causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*. Se utilizó un equipo de análisis de imágenes (explicado más adelante) para obtener el área de infección en la cáscara de la papaya y se hicieron dos experimentos con papayas sometidas a dos diferentes temperaturas. Concluimos que este proceso sí se puede utilizar para cuantificar la calidad de la papaya ya que logramos determinar el desarrollo de las manchas de la antracnosis en ambos experimentos.

Introducción

La papaya es una fruta que en su proceso de maduración se ve afectada por diversas infecciones y deterioros propios de ella (1). Uno de ellos es la enfermedad llamada antracnosis, causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (2).

México es el tercer exportador a nivel mundial y el segundo a nivel Latinoamérica después de Brasil, exportando 498,000 toneladas métricas de papaya anuales (4). El Código de Normas para Papayas ALINORM 93/35 de la FAO dicta los estándares de calidad para la exportación de esta fruta. Estos estándares determinan que los frutos afectados por putrefacción o deterioro y que por lo tanto su consumo represente una amenaza a la salud de las personas deben ser excluidos. Deben estar libres de imperfecciones pronunciadas, de daños causados por bajas temperaturas, de humedad anormal externa, excluyendo la condensación ocurrida al retirarla del almacenamiento en el frío, leves defectos en la cáscara (por ejemplo rasguños, raspaduras, marcas de sol y quemaduras de látex).

A partir de la medición del crecimiento de las manchas en la cáscara de la papaya, causadas por antracnosis, se puede determinar la calidad superficial de la papaya cuantitativamente. Esto permite una mejor planeación para el almacenamiento, transporte y exportación de ésta fruta.

Gracias al análisis de imágenes, se pueden obtener cartografías de objetos tridimensionales. Un ejemplo muy común son los mapas cartográficos, que reconstruyen el globo terráqueo sin modificar el área. Este proceso se puede también aplicar a las papayas.

Para poder controlar el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* de una manera más fácil, determinamos en qué temperatura el desarrollo de la enfermedad es mínimo. Así, en combinación con los fungicidas que se le aplican a la papaya de forma industrializada para retardar el proceso de infección, se puede controlar mejor el desarrollo de la enfermedad.

Antecedentes

La papaya es el fruto del papayo, árbol que se da alrededor del mundo en las zonas de clima tropical. La papaya tiene una carne tierna en su interior que a la vez contiene las semillas del fruto que están dentro de una carne más jugosa que la que rodea al centro. La papaya *solo*, la variedad más consumida a nivel mundial, pertenece a la especie papaya lechosa (*Carica papaya*) (1).

La antracnosis es considerada como la principal enfermedad en la cosecha de papaya. La infección de la antracnosis penetra por la cáscara y se mantiene en la superficie de esta. El hongo *Colletotrichum gloeosporioides* es favorecido por condiciones de alta humedad ambiental, alta precipitación y temperatura comprendida entre 22 y 32°C. Este hongo es el más común dentro de las plantaciones de papaya y mango (3), por lo que muchas de las investigaciones hechas con mangos nos pueden servir de referencia.

Gracias a la colaboración del Dr. Corkidi, investigador del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico con base en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, localizado en el Campus de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, quienes nos asistió en el análisis de imágenes, pudimos medir el área de las manchas en la cáscara de la papaya, causadas por la antracnosis y las causadas por otros orígenes. Con esto podremos medir el crecimiento de todas las manchas en la papaya graficando el área de las manchas contra tiempo aparte de ver los efectos en el desarrollo de éstas manchas cuando las papayas son sometidas a temperaturas de 4° C y 25° C.

Objetivos

General-

Probar que es posible usar en método para el análisis de imágenes que pueda cuantificar la calidad de las papayas, usando como ejemplo la medición de los síntomas de la enfermedad llamada antracnosis.

Específicos-

1 Obtener el área de las manchas de antracnosis mediante el uso de un equipo de análisis de imágenes.

2 Obtener una relación de cambio entre el crecimiento de las manchas y el cambio de temperatura.

3 Probar que el desarrollo de la antracnosis en las papayas, en término de las manchas provocadas por la enfermedad se ve afectada por el cambio de la temperatura de tal manera que su crecimiento se ve inhibido.

4 Comparar en el área afectada en el mismo lapso de tiempo, pero con la papaya a 4° C y a 25° C.

5 Analizar el desarrollo de las manchas de antracnosis en papayas cultivadas a 4°C y 25°C durante catorce días porque ese es el tiempo de maduración de estas frutas.

Lugar

Laboratorio del Dr. Gabriel Corkidi, localizado en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico que se encuentra en el Instituto de Biotecnología en la UNAM localizado en el Campus de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Materiales

Papayas, cajas de unicel, termómetros de mercurio.



Figura 1.1 Foto de una papaya en su segundo día de análisis perteneciente al experimento de papayas en refrigeración

Equipo

Para analizar las manchas en las papayas se pondrán éstas en un eje de un motor DC que esta conectado a un módulo de control para toma de fotos. Este módulo es controlado con un sistema LEP AC5000 PS-System 73005020 que esta conectado a una computadora Pentium 4. Las imágenes son obtenidas a través de una cámara RGB color CCD de alta definición 8295-2000/000. El software utilizado en la computadora para analizar las imágenes es el Image Pro Plus (5). Para la refrigeración de las papayas se usó un refrigerador.

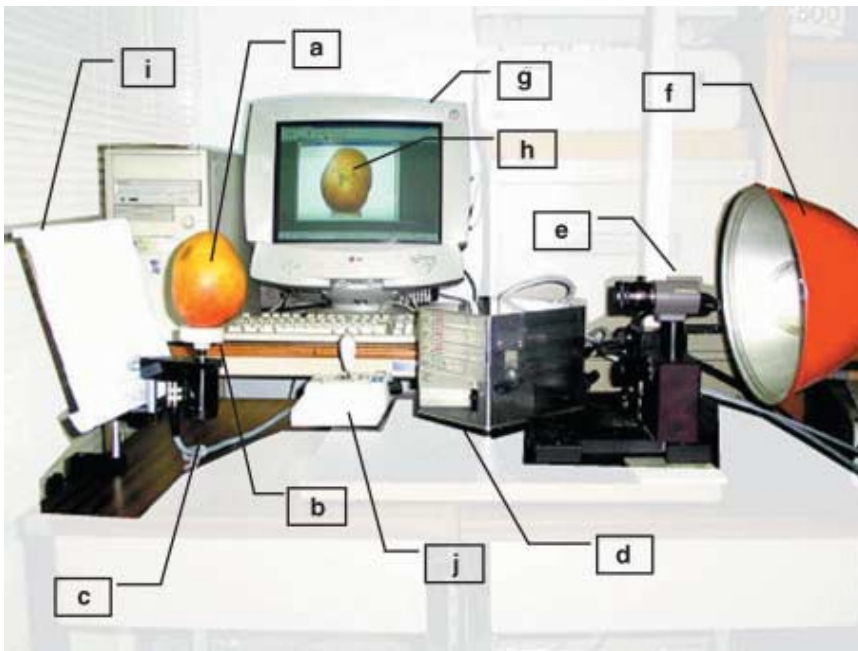


Figura 1.2 Equipo usado para el análisis de la superficie de las papayas

- a- Fruto a analizar
- b- Soporte adonde colocar el fruto
- c- Motor que hace girar a la papaya en sus 360^a
- d- Controlador de la cámara
- e- Cámara especial para tomar las imágenes de la papayas
- f- Iluminación adecuada para que la papaya se vea bien pero sin reflejos
- g- Equipo de cómputo para analizar las imágenes adquiridas
- h- Imágenes de la papaya obtenidas en el análisis
- i- Fondo que resalta la papaya para su reconocimiento por la cámara
- j- Control manual del giro del soporte

Metodología

1- Al momento de comprar las papayas en los distintos supermercados que hay (Wall-Mart, Comercial, Gigante y Superama) se pensó en el análisis de imágenes. Como éste no analiza los espacios en blanco, las papayas con manchas blancas o secreciones que causen reflejo fueron descartadas. También aquellas en estado avanzado de maduración fueron descartadas. Seleccionamos papayas chicas, que no pasaran de los 40 cm. de longitud y que no pesarán más de 3 Kg. (Figura 1.1), para facilitar el proceso a la hora de ponerlas en el soporte.

2- El hongo *Colletotrichum gloeosporioides* esta presente en el proyecto debido a que buscamos papayas en las que encontramos la enfermedad de antracnosis buscando el tipo de manchas características de esta infección. Éstas son manchas redondas, que causan laceraciones en la cáscara y hundan ésta misma. No son de colores y generalmente oscurecen la tonalidad del color de la cáscara. De esta manera estaremos seguros que la antracnosis esta presente en las papayas.

3- Para la temperatura de 4° C se pondrá la papaya en un refrigerador o hielera pequeña y se ajustará la temperatura hasta que los termómetros marquen 4° C. Para la temperatura de 25° C se pondrán las papayas en una caja con franelas para que no se lastimen, y se colocarán en un cuarto donde la temperatura sea estable, es decir, que no varíe más de 5°C.

5- Se hicieron 6 experimentos para cada variación de temperatura lo que da un total de 12 experimentos. Se hicieron 4 experimentos por semana, dos con papayas a 25°C y 2 a 4°C. Es decir, se dedicaron 3 semanas a tomar y analizar las imágenes de las papayas.

6- Cada día se midieron las áreas de las manchas en la superficie de la papaya de los experimentos y se analizaron y procesaron los datos en la computadora (Figura 1.3). Esto lo hicimos nosotros con ayuda de la Dr.Leticia. Las papayas fueron llevadas al laboratorio por nosotros.

7- Al final, con los datos obtenidos se hizo una comparación del avance de las manchas sobre la superficie de las papayas de cada uno de los experimentos: Por ejemplo, el porcentaje del área afectada con el área total. Se hicieron gráficas de cada experimento de área infectada (cm^2) contra tiempo (días) y otro del crecimiento de área infectada contra tiempo en días. También se incluyó una gráfica en la que se comparó la temperatura con el tiempo y el porcentaje de infección.

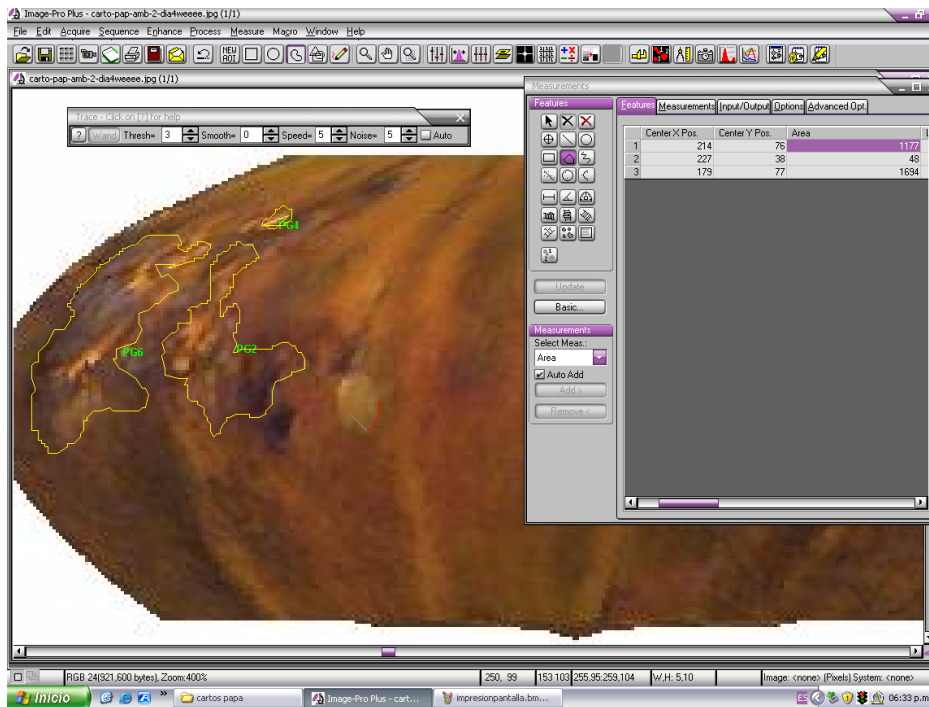


Figura 1.3 Superficie de una papaya ya procesada. Las manchas de antracnosis están siendo medidas de forma manual y los datos guardados en una ventana aparte.

Diseño experimental

Variable(s) dependiente e independiente

Independientes- Tiempo en el cual se va a analizar el crecimiento de las manchas y temperatura a la que estará la papaya. El tiempo se medirá en días, que serán 14 en total para todos los experimentos. Se va a realizar el experimento con diferentes temperaturas: a 4° C y 25° C.

Dependientes- Área de las manchas causadas por la antracnosis y estará en términos del tiempo. El área de las manchas se medirá en cm^2 .

Número de experimentos:

Se llevaron a cabo 2 experimentos cada uno con 6 papayas. En un experimento las papayas se pusieron a 4°C y en el otro a 25°C. Se hicieron 2 papayas por experimento cada semana. Debido a la gran cantidad de datos generados no se hicieron más experimentos por no haber suficiente tiempo para procesar los datos.

Análisis/procesamiento (estadístico) de los datos

Se hizo un análisis de las imágenes mediante un equipo que constó de una cámara digital, un soporte donde estará la papaya y una computadora. La papaya se puso sobre el soporte para que se le pudieran tomar las fotos mientras giraba. Atrás había un fondo blanco para poder resaltar correctamente la imagen de la papaya ya que la computadora descarta automáticamente cualquier imagen blanca. Hubo especial cuidado en que la papaya girara sobre su eje de giro para evitar distorsiones en las imágenes, así como también que no hubiera reflejos blancos sobre la papaya que causaran espacios en blanco en la reconstrucción de la superficie de la papaya. Se tomaron 360 fotos de la papaya mediante el giro del soporte y las imágenes obtenidas se pasaron a la computadora donde un programa convirtió esos datos en un plano de la superficie de la fruta.

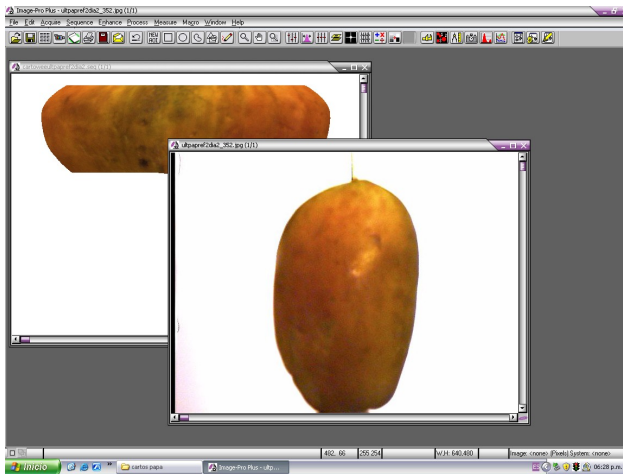


Figura 1.4: Software utilizado para el análisis de imágenes.

En este proceso la computadora toma una sección de la papaya dada por nosotros en coordenadas y con las 360 imágenes reconstruye la superficie de la papaya como una cartografía. Ésta debe pasarse por unos filtros para eliminar anomalías de los algoritmos y luego centrar todas las franjas (figura 1.4) para por fin obtener la cartografía lista para analizar (figuras 1.5 y 1.6). Ya en la cartografía procesada, seleccionamos manualmente el contorno de las manchas de antracnosis. El programa mide automáticamente las áreas seleccionadas. Las unidades que utiliza el programa son píxeles. Nosotros tenemos que convertirlas a cm^2 utilizando un calibrador del mismo software (figura 1.7).



Figura 1.5: Cartografía de una papaya antes de pasarla por los filtros de corrección de errores.



Figura 1.6: Cartografía de la papaya anterior pasada por los filtros de corrección y centrada.

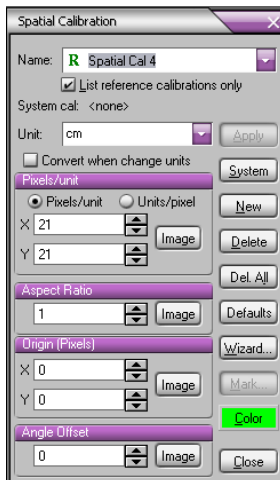


Figura 1.7: Calibrador de unidades. Utilizándolo, convertimos de píxeles a cm^2

Con estos datos, se hicieron gráficas de área vs. tiempo para ver la evolución del de las manchas de antracosis en diferentes temperaturas. También se graficaron las variables, tanto independientes como dependientes, en para así tener una idea precisa de las afectaciones al desarrollo de las manchas causadas por la antracosis y las causadas por la oxidación y maduración de la fruta.

Resultados





Día 1	Día 2
	
Día 3	Día 4
	

Tabla 2: En esta tabla se puede observar una papaya mantenida en refrigeración y analizada durante cuatro días.

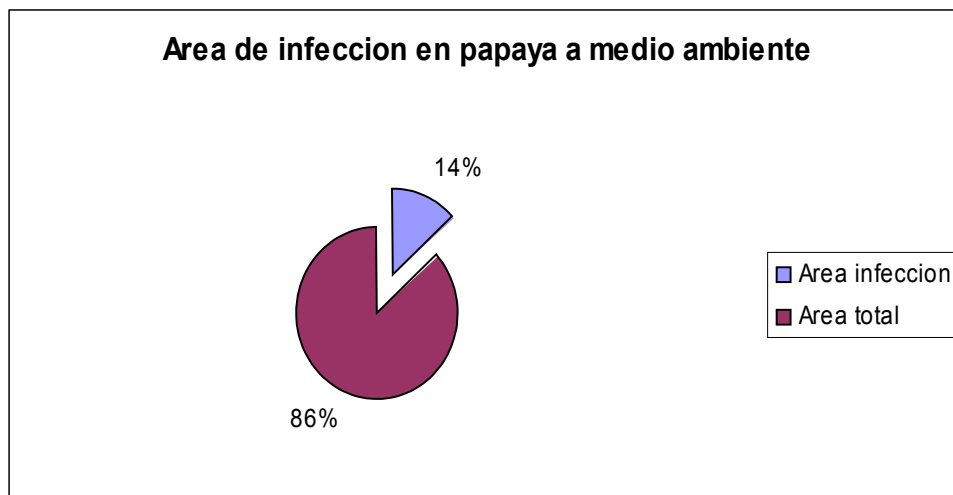


Figura 1.8 Porcentaje promedio de área con manchas de antracnosis y área sana

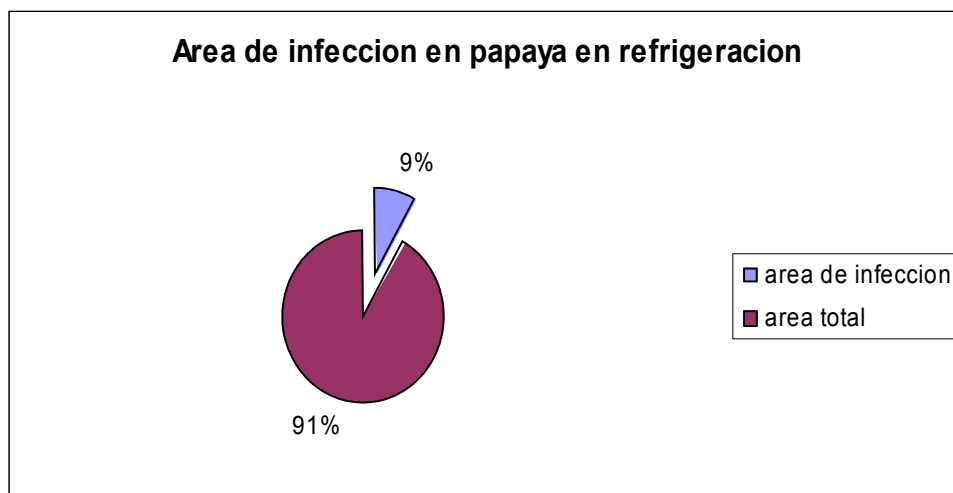


Figura 1.9 Porcentaje promedio de área con manchas de antracnosis y área sana

Área (cm ²) de manchas en papayas a 4°C						
	Papaya 1	Papaya 2	Papaya 3	Papaya 4	Papaya 5	Papaya 6
Día 1	3.2	1.2	4	2.4	2	2.2
Día 2	3.3	1.3	4.6	2.9	2.1	2.4
Día 3	4.8	3	6	3.4	3	3.6
Día 4	5.1	4	6.9	4.1	4	4.2

Tabla 1.2 Área de machas de antracnosis en papayas en refrigeración

Área (cm ²) de manchas en papayas a 25°C						
	Papaya 1	Papaya 2	Papaya 3	Papaya 4	Papaya 5	Papaya 6
Día 1	0.24	3.2	1.2	4.3	2.5	1.3
Día 2	0.36	8.9	1.4	6.6	3.4	3
Día 3	1	14.3	3.2	10.2	5	5.8
Día 4	1.5	14.7	5.3	15.3	7	8.1

Tabla 1.3 Área de manchas de antracnosis en papayas a 25°C.

Al final de los 4 días de procesamiento de imágenes y datos se llegó a la conclusión de que el porcentaje de manchas de antracnosis promedio en todas las papayas pertenecientes al experimento que estaba en refrigeración llegó a 9% del área total como se muestra en la figura 1.9.

El área total de antracnosis en el experimento que no estuvo a refrigeración llegó a representar el 14% del área total.

Esto rectificó que el crecimiento de antracnosis fue mayor en las papayas que no estaban en refrigeración.

Las tendencias conforme pasaban los días eran de crecimiento para las manchas. Esta tendencia fue más pronunciada en las papayas que no estaban en refrigeración como se muestra en la figura 2.0., mientras que en las papayas en refrigeración esta tendencia fue menos significativa. El mismo crecimiento de las manchas en los experimentos se puede apreciar en las tablas 1.2 y 1.3 donde las manchas nunca dejan de crecer.

En la tabla 2 se puede apreciar el esparcimiento de las manchas causadas por la antracnosis sobre la superficie de una papaya en refrigeración conforme pasaban los días. El análisis de imágenes nos permitió sacar las cartografías de tal manera que las imágenes resultantes fueran fáciles de comparar.

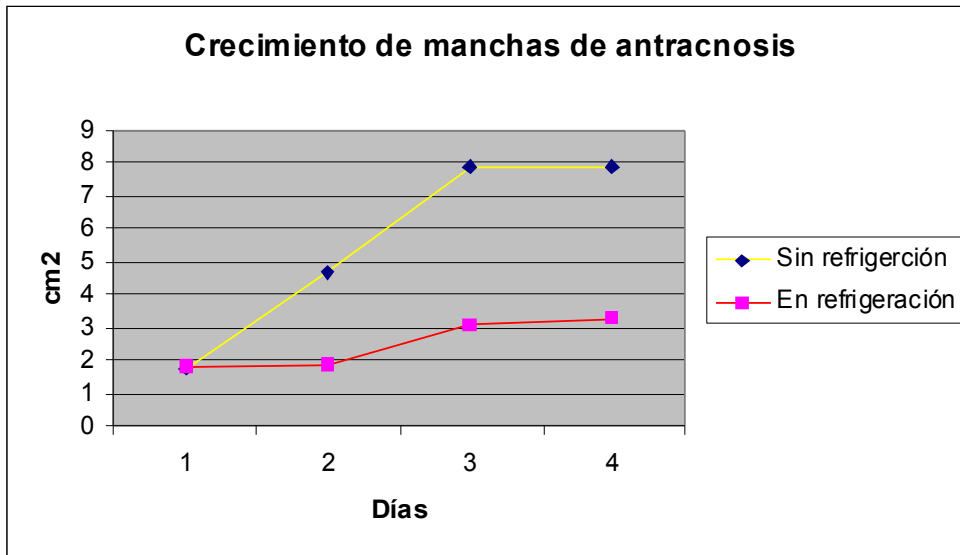


Figura 2.0 Gráfico del crecimiento promedio de las manchas de antracnosis en los dos experimentos

La desviación estándar calculada por nosotros resultó en $S=3$, es decir nos dio el valor máximo que puede tener la desviación estándar.

El factor de correlación entre los datos (área de infección en cm^2 y tiempo de transcurrido en días) de las áreas nos dio cerca de cero. Esto significa que la relación entre los datos no es significativa.

El factor de confiabilidad de nuestros datos fue extremadamente bajo. No se puede confiar realmente en esto.

Las 3 partes anteriores muestran poco confiabilidad en los datos debido a varios factores. Fueron pocos los experimentos llevado a cabo debido a la carga pesada de trabajo que significaba procesar todos estos datos. Luego las áreas iniciales de infección eran distintas entre las papayas y eso influyó a posteriori en el crecimiento y desarrollo de las manchas.

Discusión

Las manchas causadas por antracnosis crecieron más en las papayas expuestas a temperatura ambiente que en las que estuvieron a refrigeración. Esto era esperado, pero lo importante de nuestro proyecto fue que sí se puede utilizar un método de análisis de imágenes para poder cuantificar la calidad de la papaya. Aunque la desviación estándar nos dio un valor de 3 y se traslapaban al comparar las papayas a temperatura ambiente con las de refrigeración, esperamos que cuando incremente el número de papayas, el valor de la desviación estándar va a disminuir. Lo mismo sucederá con el factor de correlación entre los datos y con la confiabilidad de los datos.

Es muy probable que esto fue porque algunas variables no las controlamos de manera adecuada. El área inicial de infección de cada papaya era diferente. No controlamos que tan infectadas estaban las papayas al comprarlas. También, al estar haciendo las pruebas, todas las papayas eran sometidas a un cambio de temperatura, ya que para hacer el análisis de imágenes, las papayas que estaban a refrigeración se quedaban a temperatura ambiente.

Se puede decir que a pesar de la poca confiabilidad de los datos, se logró usar un método de análisis de imágenes para cuantificar la calidad de las papayas midiendo uno de los síntomas de la antracnosis que fueron las manchas causadas por esta enfermedad en la superficie de la papaya.

Se puede deducir de la figura 2.0 que la antracnosis se desarrolló más rápidamente durante los primeros 2 días en ambas papayas aunque claro con menos intensidad en la papaya en refrigeración. Después de este periodo de dos días, el crecimiento de las manchas no se detuvo pero bajó sensiblemente por lo que se podría suponer que hay períodos marcados en el desarrollo de las manchas causadas por la antracnosis.

Conclusiones

-Las papayas en refrigeración se mantuvieron en mejor estado y con menos desarrollo de la infección. Esto ya era esperado, ya que la disminución del calor inhibe el crecimiento del hongo.

-Nuestra metodología para la cuantificación de las papayas fue efectiva. Fue posible analizar las imágenes de la superficie de las papayas para obtener el área infectada.

-Cuando el área de infección rebasaba el 10% de la superficie total de la papaya ésta estaba propensa a contraer otros tipos de infecciones y se echaba a perder cada vez más rápido.

-Si el objetivo principal fuera el obtener datos más precisos y confiables es necesario controlar al máximo las variables de temperatura, tamaño de la papaya y tiempo. Mejorando esto seguramente el proceso será mejor.

Agradecimientos

Agradecemos a, nuestro maestro, Enrique Galindo, por todas sus enseñanzas correcciones, críticas, y ayuda. También a nuestros asesores, Gabriel Corkidi y Leticia Vega, por tenernos paciencia, explicarnos y ayudarnos en toda la metodología y experimentación. También agradecemos al Instituto de Biotecnología de la UNAM, al Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, por prestarnos sus instalaciones y su equipo para desarrollar este proyecto de investigación. Por último queremos agradecer a Maria Rosa Estival por prestarnos su casa para hacer trabajar en el proyecto, por darnos de comer y cenar los días de trabajo que muchas veces acababan en quedadas a dormir.

Bibliografía

1-El mundo de las plantas. Página Web con información acerca de la botánica.

Autor: Vincent Martinez C.

Fecha de acceso 14/02/07

<http://www.botanical-online.com/papayas.htm>

2-Mercanet.

Consejo Nacional de Producción, Costa Rica

Fecha de acceso 14/02/07

<http://www.mercanet.cnp.go.cr/Calidad/Poscosecha/Investigaciones/Frut%C3%ADcolas/Papaya.htm>

3-Semilla del Caribe, 2003. Página Web de la empresa mexicana Semillas del Caribe dedicada a la comercialización de semillas certificadas de papaya.

Fecha de acceso 14/02/07

<http://www.semilladelcaribe.com.mx/paginas/2-2.htm>

4-Ecuador exporta- Sistema Internacional de Mercados

Esta página pertenece a la Corporación de promoción de exportaciones e inversiones de Ecuador

Fecha de acceso 26/02/07

www.ecuadorexporta.org/productos_down/perfil_producto_papaya561.pdf

5-Corkidi, G. , Balderas-Ruíz, K.A., Taboada, B. ,Serrano-Carreón, L., Galindo, E. (2006) 2006 Assessing mango anthracnose using a new three-dimensional image-analysis technique to quantify lesions on fruit

Plant Pathology, Vol. 55, Issue 2.