

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sede Regional de San Carlos

Escuelas de Agronomía
Escuela de Computación

Informe Final

“Monitoreo asistido de plantaciones agrícolas:
Técnicas de procesamiento digital de imágenes e
inteligencia artificial para diagnosticar y controlar
la incidencia de la Sigatoka Negra
(*Mycosphaerella fijiensis var diformis* Morelet) en
plantaciones de banano (*Musa spp.* cv. AAA) y
plátano curraré (*Musa spp.* cv. AAB)”

Código: 5402-2151-6901

Elaborado por: Ing. Edgardo Vargas Jarquín M.Sc

Alajuela, 30 de junio de 2008.

Grupo de Investigadores:

NOMBRE DE LOS INVESTIGADORES	DEPARTAMENTO o INSTITUCION
Edgardo Vargas J.	Computación
Pablo Alvarado	Electrónica
Carlos Muñoz	Agronomía
Denis Umaña	Computación
Teresa Alarcon ^{/1}	ICIMAF
Roberto Rodríguez ^{/2}	ICIMAF
Miguel Angel Guevara ³	UCA

^{/1} Actualmente es profesora en la Universidad de Jalisco, Mexico.

^{/2} Es investigador del Instituto de Cibernética, Matemática y Física del la República de Cuba.

^{/3} Es profesor de la Facultad de Computación de la Universidad de Ciego de Avila, Cuba

Índice de contenido

1. Introducción.....	4
2. Marco teórico.....	10
3. Materiales y Metodología.....	24
3.1 Materiales.....	24
3.2 Metodología.....	26
3.2.1. Adquisición.....	27
3.2.2 Desarrollo de algoritmos para medir la severidad y coadyuvar en el control de la Sigatoka Negra	30
3.2.3 Desarrollo e Implementación un sistema automatizado que permita coadyuvar en el control de la Sigatoka Negra.....	31
4. Resultados y discusión.....	32
4.1 Adquisición de imágenes.....	32
4.1.1 Fase primera.....	32
4.1.2 Fase segunda.....	34
4.1.3 Comparación del uso de recursos	39
4.2 Desarrollo de algoritmos para medir la severidad de la Sigatoka Negra....	42
4.2.1 Etapa 1.....	42
4.2.2 Etapa 2.....	46
4.2.3 Etapa 3.....	49
4.3 Reprogramación de SiMu.....	52
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	58
6. Aportes y alcances.....	60
7. Bibliografía.....	61

1.Introducción

La mayor limitación que enfrenta la producción de musáceas es ocasionada por la enfermedad sigatoka negra o la mancha de la hoja donde el agente causal es *Mycosphaerella fijiensis* var *diformis* Morelet (Jegert et al, 1996).

En el Instituto Tecnológico de Costa Rica se inició en el año 2000 un proyecto de investigación que contemplaba pruebas agronómicas y el desarrollo de un sistema de información computacional para el procesamiento de información del proceso de producción y el control de la mancha de la hoja causada por sigatoka negra. El proyecto fue denominado: “ *Manejo químico de sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis var diformis Morelet) en plátano curraré (Musa aab) en la zona de San Carlos y elaboración de un sistema de información computacional para el manejo técnico de plantaciones de musáceas*” (Muñoz y Vargas, 2003a).

En este proyecto se consideraba la prueba de un grupo de compuestos químicos, así como algunas combinaciones de estos para establecer un proceso mejorado de combate químico de la enfermedad sigatoka negra.

En la parte computacional se pretendía desarrollar una aplicación que permitiera la automatización del procesamiento de la información técnica de una plantación de musáceas, entendiéndose por esto un sistema de información transaccional. El sistema debería tener como mínimo un componente para el control fitosanitario y otro para el manejo de la fertilización.

En esta etapa, se logró diseñar e implementar un sistema automatizado de información convencional (Sistema de Musáceas, SiMu) (Muñoz y Vargas, 2003b), que consistió en una aplicación desarrollada con la tecnología ASP (Active Server Pages) de Microsoft, que enlaza los procedimientos almacenados de la Base de Datos con procedimientos creados en Visual Basic (dll's), de manera que el código

se ejecuta en diferentes máquinas, virtuales o físicas. De esta manera solo el código de la interfaz de usuario se ejecuta en la máquina cliente. Se creó una base de datos usando el modelo relacional e inicialmente se desarrolló con SQL-Server 7.0.

La aplicación desarrollada incluye facilidades de almacenamiento y administración de los datos referentes al cultivo del plátano (Muñoz y Vargas, 2003b) al cual se encuentra orientada principalmente, pero fue diseñada y desarrollada con el objetivo de poder extender su aplicación a otros cultivos, principalmente al banano (*Musa AAA*). Es así que incluye hasta la fecha los siguientes módulos:

- a) análisis de suelos: permite hacer recomendaciones con base en los reportes calculados con los datos obtenidos de laboratorio;
- b) cálculo del promedio ponderado de infección o PPI: facilita la toma de decisión con respecto al manejo de la sigatoka negra según los muestreos de la plantación;
- c) ingreso de datos de control de malezas, enfermedades, nematodos y plagas e ingreso de datos de muestreos de los anteriores factores así como del picudo negro (*Cosmopolites sordidus*);
- d) almacenamiento de datos referentes a usuarios, propietarios y al lugar de cultivo: permite organizar las plantaciones en fincas y parcelas con los respectivos datos de área, cultivares, ubicación, etc.

Durante el primer semestre del 2004 se inició un programa de investigación cuyo tema fue la vigilancia y medición de variables agrícolas. El primer proyecto aprobado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica fue: *Monitoreo Asistido de Plantaciones Agrícolas:*

sigatoka negra (Mycosphaella fijiensis var diformis Morelet) en plátano (Vargas, et al; 2004a). El objetivo principal del proyecto fue : desarrollar una estrategia asistida de vigilancia y medición de la incidencia de la sigatoka negra (Mycosphaella fijiensis var diformis Morelet) en plátano, como parte de un sistema automatizado de procesamiento de la información técnica de una plantación de musáceas.

Dentro de los logros del proyecto se han definido dos técnicas asistidas de vigilancia y medición, con diferente nivel de uso de la tecnología computacional. La primera, siempre dentro del procesamiento tradicional de datos transaccionales, es el uso de dispositivos PDA (Personal Digital Assistant). Con estos dispositivos se logra que los muestreos de Sigatoka, basados en la propuesta de Gauhl (1990), se puedan hacer con ayuda de tecnología computacional, de manera que se agilice la toma de datos que hace una persona en el campo, así como la transferencia de estos al servidor de base de datos del sistema SiMu. Con esta asistencia se logra reducir a menos de un minuto el tiempo que hay entre la toma de los datos y el procesamiento de los mismos; que en algunas empresas toma hasta 30 días.

A la par de estos desarrollos, se ha logrado establecer que la segunda estrategia asistida debe basarse en la medición de la severidad de la enfermedad por medio de técnicas la Visión por Computadora (incluye Procesamiento Digital de Imágenes e Inteligencia Artificial). Para esto se podrían utilizar métodos basados en morfología matemática, por ejemplo, con las cuales se podría segmentar tanto las hojas de la planta, así como identificar el nivel de infección al cuantificarse la proporción de área dañada, con lo que se puede calcular el PPI (*promedio ponderado de infección*), según la técnica de Stover (Muñoz y Vargas, 2003a; Muñoz y Vargas, 2003b; González y Wood, 2001; Stover, 1971).

Durante la primera década del siglo XXI la humanidad ha visto una cantidad de avances científicos y tecnológicos, pero la mayoría de ellos están dirigidos a llenar los vacíos que tienen las sociedades desarrolladas tanto a nivel de consumo

como de formas de producción. A la par de esta característica también se ha desarrollado la tecnología de la información con la cual se está transformando la sociedad y sus relaciones, transformación que ha producido una metamorfosis global de la sociedad industrial a la sociedad red (Castells, 1996, 1997, 1998).

Dentro de este contexto se pronostica que prácticamente todas las actividades humanas serán sujetas de esa transformación exceptuando las que por condiciones naturales o sociales sean dejadas de lado. Una de las razones para que suceda esto es que algunas actividades, sobre todo las productivas, no podrán transformarse porque los grupos sociales que las desarrollan tiene cerrado o limitado acceso a la tecnología de la información y mucho menos saben como aprovecharla.

La agricultura y más la que desarrollan los pequeños y medianos productores, se ve influida muy tardíamente por los avances tecnológicos de otras áreas. Esta condición la ostenta también la producción de banano y plátano (cultivos de la familia Musaceae) de las pequeñas unidades productivas de Centroamérica.

Los avances en la detección de la sigatoka negra cumplen con la descripción que se hace anteriormente. De tal forma que en particular la detección, vigilancia y medición de esta enfermedad por medios que aplican la tecnología de la información, se ha limitado a las plantaciones comerciales de banano en las cuales se tiene la práctica de aplicar pesticidas por medios aéreos (Stoorvogel, et al, 2001). En otras palabras, no se ha abordado el asunto desde la perspectiva de los pequeños y medianos productores y por eso en este trabajo se plantea el problema desde esta perspectiva.

Por esta razón, se propuso en este trabajo, estudiar el problema que plantea la automatización de la medición de la severidad de la sigatoka negra en plátano curraré (*Musa* spp cv AAB) utilizando, como fuente principal de datos, imágenes digitales del follaje tomadas al pie de la base de las plantas. Así lo que se

pretendió fue iniciar el desarrollo nuevos métodos de Visión por Computadora (VC) que se puedan aplicar para medir la severidad de la sigatoka negra en plantaciones de plátano curraré.

También se trabajó en poner los sistemas desarrollados (SiMu) en una tecnología más accesible para los pequeños y medianos agricultores. Por eso se trabajo en la reprogramación del sistema para que este trabaje con base en software libre. Sin embargo no todo se pudo reprogramar, quedando para posteriores etapas los programas desarrollados para los PDA (Personal Digital Assistant) y los desarrollos que se hicieron con MatLab¹.

El trabajo se realizó según las etapas previstas para este tipo de problema. Por tanto se inició con una fase de adquisición de imágenes de manera que estas contengan la información necesaria. Cuando se terminó esta primera fase se trabajó en la de Pre-procesamiento mediante la aplicación de técnicas que permiten preparar las imágenes para la segmentación. Como tercer etapa se trabajó en la segmentación con procesos basados en morfología matemática y de color mediante un modelo bayesiano jerárquico.

La investigación se cataloga como investigación aplicada cuya orientación está definida por proceso de investigación de la ingeniería (Pahl y Beitz, 1996) que para este caso se basa en la búsqueda de un método que permita medir parámetros de un modelo ya existente en contraposición de lo que es la investigación en otras áreas donde se suele buscar un modelo estadístico o de otro tipo para representar un fenómeno natural².

1 MATLAB es la abreviatura de MATrix LABoratory (laboratorio de matrices). Se trata de un software matemático muy versátil que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Tomado de WIKIPEDIA. Visitado el 24 de junio del 2008.

2 Alvarado, Pablo. 2007. Anteproyecto (correo electrónico) Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, (palvarado@ietec.org)

Los objetivos de esta investigación fueron los siguientes:

General:

Desarrollar herramientas que incluyen la creación de algoritmos, metodologías y estrategias, basadas en el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes (PDI) e inteligencia artificial (IA) para diagnosticar, medir la incidencia y coadyuvar en el control de la mancha de la hoja producida por la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* var *diformis* Morelet) en plantaciones de plátano curraré (*Musa* spp. cv. AAB).

Específicos:

1. Estudiar el problema del monitoreo y estadísticas de variables agrícolas basado en el uso de tecnologías informáticas.
2. Realizar una revisión del estado del arte actual de las técnicas de PDI e IA, relacionadas con la segmentación y la clasificación de regiones en imágenes.
3. Desarrollar nuevas técnicas y algoritmos que faciliten el diagnóstico, el pronóstico y la medición de la severidad de la Sigatoka Negra, basado en el uso de técnicas de análisis de imágenes sustentadas por PDI e IA.
4. Basado en el objetivo anterior, desarrollar e implementar un sistema automatizado o semi automatizado que permita resolver el problema del diagnóstico y posible pronóstico, así como medir la severidad de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* var *diformis* Morelet) en plantaciones de plátano curraré (*Musa* spp. cv. AAB), como herramienta para el control de esta enfermedad.

2. Marco teórico

El plátano es un cultivo que está en manos de pequeños productores agrícolas y es consumido casi en su totalidad por la población local, aunque en la actualidad se logra exportar a los mercados latinos de Estados Unidos, lo que lo hace una alternativa muy interesante para poder reproducir el modelo con el que se cultivó el café en la zona de la “Meseta Central” de Costa Rica y que consistió en que la producción la obtenían una gran cantidad de pequeños agricultores, la industrialización y exportación la hacen empresas industriales grandes, dentro de las que se encuentran varias empresas cooperativas de los mismos agricultores (Muñoz y Guzman, 2007)

La sigatoka negra (*M. fijiensis*), es la principal enfermedad que afecta a las plantaciones de musáceas en el mundo, y Costa Rica no es la excepción, especialmente en plantaciones en monocultivo - el banano - donde el impacto de la enfermedad es mayor. El combate anual de la enfermedad cuesta a las empresas bananeras del Costa Rica un promedio de \$1.300/ha (dato del año 97), que es equivalente al 27% del total de costos de producción de la fruta (Muñoz y Vargas, 2003a). Este costo es fácil de sufragar para las transnacionales que tienen grandes plantaciones, cuyas producciones superan las 2.500 cajas de banano por hectárea y por año. Pequeños productores no soportan una carga tan alta para mantener bajo control la enfermedad, ya que su producción anual por área es baja (Muñoz et al, 2000).

La *sigatoka negra* es mucho más virulenta que la amarilla (*Mycosphaella musicola*), por lo que es necesario su control para obtener una producción de valor comercial aceptable. La misma es capaz de producir una mayor cantidad de ascósporas y puesto que su esporulación es por el envés de la hoja, con un patrón de infección a lo largo de la nervadura central, se dificulta su control y a la vez se hace muy costoso (Ortiz et al; 1999).

La *sigatoka negra* fue identificada por primera vez en el valle de Sigatoka en Fiji, en 1963, pero probablemente, en ese entonces, ya estaba distribuida a lo largo y ancho del sudeste de Asia y el Pacífico sur. Para 1969 aparece en el hemisferio occidental, específicamente en Honduras; se señala la presencia de manchas de color negro en las hojas de banano y plátano. En África, fue registrada en Zambia, en 1973, y desde entonces, se ha expandido hacia los territorios bajo el Sahara. En la mayoría de las áreas, la sigatoka negra ha reemplazado a la amarilla, para convertirse en la enfermedad predominante del banano. A partir de allí, comienza su diseminación. En 1977 aparece en Belice y Guatemala, en 1979 en Nicaragua, en 1980 en Costa Rica y México, en 1982 en Panamá, entre 1985 y 1986 en Colombia, en 1987 en Ecuador y en 1991 en Venezuela. (Ortiz et al; 1999)

El control químico tanto de la Sigatoka Amarilla como de la sigatoka negra, ha evolucionado considerablemente desde hace 65 años. En los años 30, era utilizado el caldo bordelés, que luego, fue reemplazado paulatinamente por varias generaciones exitosas de fungicidas protectantes, y después de fungicidas sistémicos. Hoy, los inhibidores de la desmetilación de esteroides (DMI, por sus siglas en inglés), son los compuestos más utilizados, sin embargo, nuevas clases de fungicidas, como las estrobilurinas, probablemente, serán más utilizados en el futuro (Ortiz et al; 1999).

Debido a que existe la tendencia de desarrollar resistencia o tolerancia por parte *M. fijiensis* hacia los fungicidas sistémicos, usualmente se los aplica alternándolos o combinándolos con fungicidas protectantes de amplio espectro, como los ditiocarbamatos y el clorotalonil. A excepción del clorotalonil, estos fungicidas son mezclados con aceites agrícolas, los cuales, son fungiestáticos, es decir, retardan el desarrollo del patógeno en las hojas infectadas. Cuando los aceites son mezclados en emulsiones de agua, con los fungicidas, el "cocktail" resultante provee un control superior de la enfermedad (Ortiz et al; 1999).

Las plantaciones en las Filipinas, Centroamérica y Sudamérica, que producen frutos para la exportación, son vastos monocultivos de un solo cultivar tipo Cavendish, usualmente, Grand Nain. Con el fin de tratar estas grandes áreas con fungicidas, son empleados helicópteros o avionetas. Los horarios de aplicación en las plantaciones, son determinados por sistemas de pronóstico que incorporan datos de la severidad de la enfermedad dentro de la plantación y factores ambientales, los cuales, influyen notablemente en el desarrollo de la enfermedad. Estas herramientas epidemiológicas, permiten a los productores centroamericanos reducir sustancialmente el número de aplicaciones de fungicidas.

Para un correcto proceso de vigilancia y medición de la sigatoka negra se usan los métodos que se basan en la escala de Stover, (Stover, 1971) , con algunas modificaciones, (Gauhl, 1990; Muñoz y Vargas, 2003a, 2003b). Con esta escala se asigna a cada hoja un grado de infección. Este grado es usado para calcular el porcentaje ponderado de infección (PPI) en la plantación.

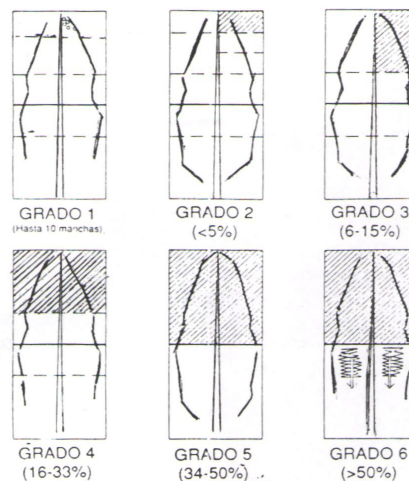


Figura 1. Representación del daño de la hojas según la escala de Stover (Stover, 1971)

En la figura 1 se muestran la clasificación que se utiliza para asignarle a las hojas

un grado (los valores oscilan de 1 a 6) según el nivel de infección. Para esto a cada hoja de la planta se le asigna un número de identificación. La hoja "candela" se considera la hoja número 0 (cero). El conteo se facilita considerando la distribución en espiral (pares e impares) de derecha a izquierda a partir de las hojas 1 y 2, contando hacia abajo.

Para determinar el área foliar afectada debe estimarse visualmente el área total que presenta los síntomas de la enfermedad en las primeras seis hojas y calcular el porcentaje afectado en cada una, de manera que se les asigna el grado correspondiente según el patrón.

Luego de obtener el grado de cada hoja se calcula el porcentaje ponderado de infección (PPI) de la planta. Esto se hace con cada planta que compone la muestra y finalmente se calcula el promedio de la muestra.

En el sistema de información desarrollado en el ITCR, denominado SiMu, (Muñoz y Vargas, 2003b; Vargas, 2006), se utiliza esta escala, modificada por Gauhl (1990). Con este sistema se puede vigilar y medir el estado de las plantaciones de musáceas. En este caso trabajadores entrenados en el uso de la escala, evalúan visualmente el estado de cada planta según un recorrido preestablecido en la parcela, observando un conjunto de plantas que se les ha indicado. La información la anotan en libretas de campo y luego, una vez en la oficina, se digita en el sistema y el mismo calcula el PPI de la parcela. Con ese dato se puede decidir si el nivel es tal que amerita aplicar agroquímicos o no.

Otro método para valorar el grado infección de Sigatoka, aplicado fundamentalmente a plátano (*Musa spp. cv. AAB*) es el método de preaviso bioclimático, desarrollado en Costa Rica y utilizado en un proyecto de transferencia de tecnología en Colombia (CORPOICA, 1999). Este método consiste en evaluar cada semana la cuarta hoja de diez plantas de cada parcela, de acuerdo a los seis estados (ver figura 2) que tiene la sigatoka negra en su

desarrollo en el tejido foliar de la planta. A cada estados se le asigna un valor numérico, dependiendo del número de pizcas, rayas o manchas que tenga la hoja cuatro, como se presenta en el cuadro 1.

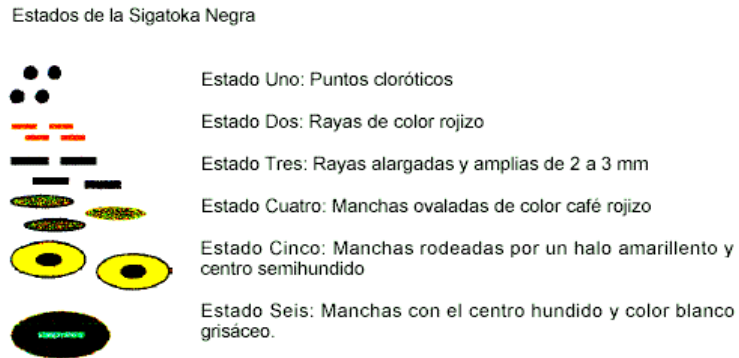


Figura 2. Estados de las manchas producidas por la sigatoka negra [CORPOICA, 1999]

Cuadro 1. Puntaje que se asigna a las hojas según la severidad del daño

Estado	Severidad	Puntaje
1	< 50 puntos cloróticos	20
	> 50 puntos cloróticos	40
2	< 50 rayas	60
	> 50 rayas	80
3	< 50 rayas alargadas	100
	> rayas alargadas	120
4	< 50 manchas ovaladas	140
	> 50 manchas ovaladas	160
5	< 50 manchas	180
	> 50 manchas	200
6	< 50 manchas	220
	> 50 manchas	240

En el caso de que la diferencia entre dos semanas consecutivas sea mayor que 200 puntos se debe aplicar control químico.

Aplicando esta metodología se logró disminuir la aplicación de fungicidas a un tercera o cuarta parte, dependiendo del fungicida utilizado, lo que es muy conveniente para el productor platanero, pues los costos son menores (CORPOICA, 1999).

Un problema de las metodologías antes mencionadas es que ambas requieren la participación del hombre, pues no se cuenta con ningún instrumento que pueda hacer la valoración del daño de las hojas. Tradicionalmente se entrenan trabajadores agrícolas que se envía al campo a tomar los datos, los cuales son anotados en hojas de papel o por otro medio. Esta práctica es muy onerosa y normalmente no es posible contar con los resultados a tiempo para tomar las decisiones de aplicar o aplazar la aplicación de agroquímicos, por lo que en la mayoría de las plantaciones se hacen las aplicaciones, siguiendo un ciclo preestablecido, sin considerar el daño real de la enfermedad, ni los efectos ambientales nocivos de los agroquímicos, que contaminan la tierra y el agua³.

Jegert, et al. (1990), indicaron que para lograr una efectiva vigilancia y medición de la sigatoka negra se debe tener presente que el diagnóstico de la misma tiene que ser exacto, pero esto no siempre es fácil debido a la presencia de muchos patógenos, entre ellos el causante de la Sigatoka Amarilla (*Mycosphaerella musicola*) que en ocasiones y sobre todo cuando la enfermedad se presenta en forma severa, la sintomatología es prácticamente idéntica.

Se han desarrollado una serie de trabajos que pretenden asistir computacionalmente o hasta automatizar la vigilancia y medición de la enfermedad de la mancha foliar producida por la sigatoka negra pero que obvian

3 Dr. Carlos Muñoz (2006) es profesor de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica. A participado en muchas investigaciones sobre Musáceas

el señalamiento de Jegert, et al. (1990).

Dentro de los trabajos que se han hecho con la intención de facilitar la medición y vigilancia de la sigatoka negra se puede destacar el esfuerzo por crear un sistema de información computacional que apoye esta labor basado en tecnología computacional tradicional y usando tecnología basada en PDAs⁴ (Muñoz y Vargas, 2003a, 2003b).

En la figura 3 se muestra la interfaz que presenta la aplicación para PDA del proyecto antes señalado. Para este caso se utiliza la técnica de Stover modificada por Gauhl (1990).

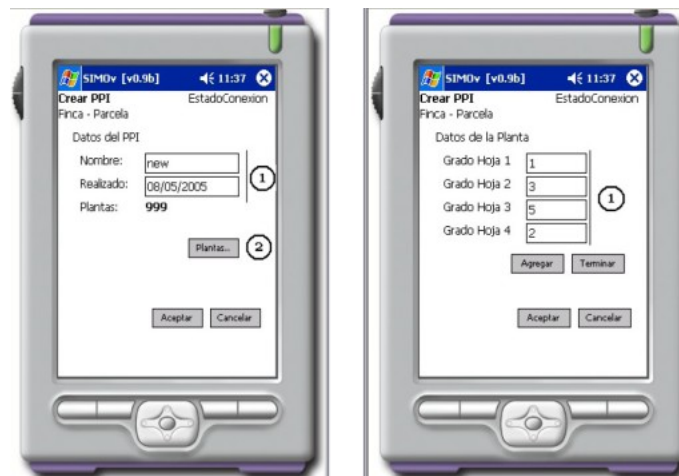


Figura 3. Vista de la interfaz que utiliza el programa SiMu_PDA para capturar la información de la incidencia de la sigatoka negra. Fuente: E. Vargas, 2006

Este software se logró implementar bajo dos modalidades, la convencional que consiste en un programa que almacena la información en la memoria del PDA y

4 PDA en inglés Personal Digital Assistant, (Ayudante personal digital)

de manera que la persona que realiza la medición y vigilancia de la Sigatoka, lleva el PDA al campo y siguiendo el procedimiento tradicional recoge la información. Esta queda almacenada en la memoria del PDA y luego este pequeño computador se conecta con el servidor para depositar los datos en la base de datos del sistema. La otra modalidad consiste en una variación del programa porque la transferencia de datos se realiza en forma inalámbrica, por lo que a esta aplicación se le denominó SiMo, por ser el sistema móvil. La limitante principal es el alcance del PDA aunque ya existen dispositivos comerciales que les permiten un alcance bastante considerable (Vargas, 2006).

Stoorvogel et al. (2001), crearon un sistema de información que permite manejar el rendimiento del cultivo del banano denominado BanMan. Con el se puede crear mapas de las principales variables de rendimiento que cruzadas con otras informaciones temáticas se logra localizar las áreas problemáticas. Una de las características importantes es la densidad de plantas porque según este investigador este es un buen indicador de la presencia de sigatoka negra.

Para utilizar la densidad de plantas como indicador del nivel de infección de la sigatoka negra se usaron imágenes aéreas. En estas imágenes la densidad de plantas se mide indirectamente pues se utilizan otras dos variables altamente correlacionadas. Estas variables son el índice de área foliar y la cobertura del suelo (Stoorvogel et al, 2001).

El preprocesamiento de las imágenes del estudio consistió en escanear con altos detalles. La rectificación de la georeferenciación usando por lo menos cuatro puntos tomados de los cables o los canales de drenaje. Se aplicó una cuadrícula de 0,15 m en forma general. Seguidamente se seleccionó el canal de verde porque se encontró que este era el mejor discriminador de las hojas de banano y de la copa de las plantas. Para finalizar se hizo un mejoramiento de la imagen haciendo un generalizado de la imagen en cinco intensidades diferentes (Stoorvogel et al; 2001). Además, con el objetivo de reconocer las copas de las

plantas individuales, se aplicó un filtro para el reconocimiento de los patrones. Este filtro trata de localizar el punto central de cada planta verificando los alrededores de cada una.

Para poder comprender la complejidad teórica y técnica de un estudio como el que se cita anteriormente y de los trabajos de esta índole se debe explicar cada uno de los pasos de la figura 4, pero antes de eso hay que presentar un pequeño resumen de los fundamentos de la teoría que permite explicar como es una imagen digital y por qué es útil como fuente de datos para, por ejemplo, medir la severidad de una enfermedad como la sigatoka negra.

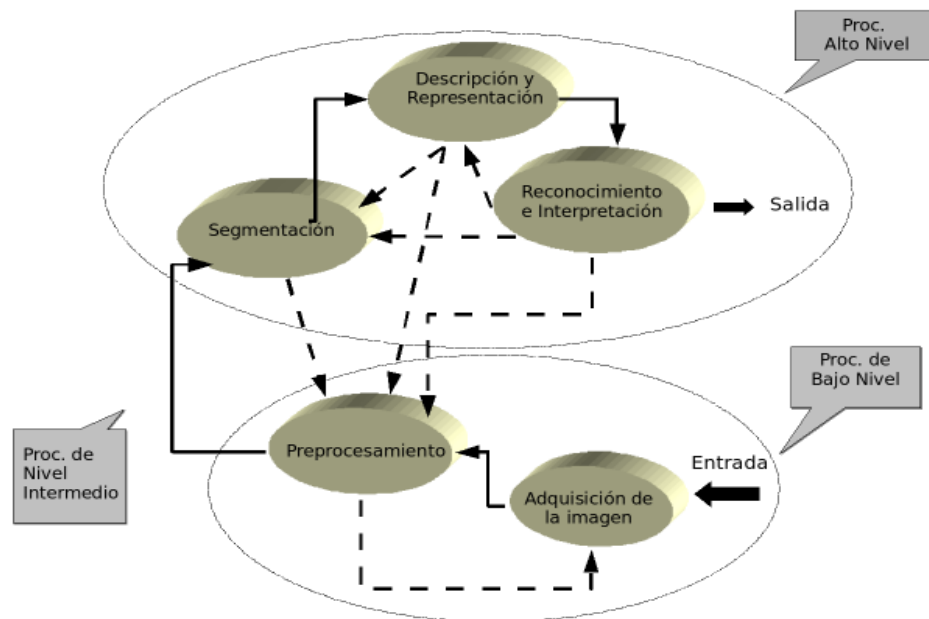


Figura 4. Pasos fundamentales en el procesamiento digital de imágenes. Fuente: E. Vargas, 2006

Así Pratt (2001) señala que la distribución espacial de la energía de una imagen dada de una fuente radiante, se puede representar como $C(x, y, t, \lambda)$, donde (x, y)

son las coordenadas espaciales, t es el tiempo y λ es la longitud de onda. Esta función es real y no negativa. Así se asume que $0 < C(x, y, t, \lambda) < A$, siendo que A es la intensidad máxima de la imagen. Entonces la respuesta de intensidad de un observador humano normal se mide comúnmente en términos de luminosidad instantánea del campo de luz como se define en la siguiente función:

$$Y(x, y, t) = \int_0^{\infty} C(x, y, t, \lambda) V(\lambda) d\lambda$$

$V(\lambda)$ es la función de eficiencia de la luminosidad relativa o sea la respuesta espectral de la visión humana.

Por su parte González y Wood (2001) presenta un modelo sencillo de formación de la imagen y que las describe en tonos de gris de tal forma que indica que para las imágenes digitales se cumple que

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y)$$

Donde:

1. (x, y) es un punto en un sistema de coordenadas arbitrario cualquiera.
2. $i(x, y)$ es la cantidad de iluminación que incide sobre la escena desde la fuente y cumple que $0 < i(x, y) < \infty$ y
3. $r(x, y)$ es la reflectancias o cantidad de iluminación reflejada por los objetos de la irradiación proveniente de la fuente. Además se cumple que $0 < r(x, y) < 1$ donde 0 es total absorción y 1 total reflectancia.

La naturaleza de $i(x, y)$ es determinada por la fuente de iluminación y la de $r(x, y)$ es determinada por las características de los objetos de la imagen.

También se indica (Pratt, 2001), para las imágenes a color, que en un sistema arbitrario de coordenadas rojo-verde-azul (RGB) los valores "tristimulus"

instantáneos son:

$$a) R(x, y, t) = \int_0^{\infty} C(x, y, t, \lambda) R_s(\lambda) d\lambda$$

$$b) G(x, y, t) = \int_0^{\infty} C(x, y, t, \lambda) G_s(\lambda) d\lambda$$

$$c) B(x, y, t) = \int_0^{\infty} C(x, y, t, \lambda) B_s(\lambda) d\lambda$$

donde $R(\lambda)$, $G(\lambda)$ y $B(\lambda)$ son los valores tristimulus espectrales⁵ para el conjunto de colores primarios rojo, verde, azul.

Ahora bien las funciones físicas que se describen anteriormente se deben discretizar porque los sistemas físicos (por ejemplo las cámaras digitales) lo que hacen es un muestreo y por tanto Alvarado (2004) define imagen digital como sigue:

1. Definición 1: (Elemento de imagen) Un elemento de imagen \mathbf{e} o píxel, es una 2-tupla $\mathbf{e} = (\mathbf{p}, \mathbf{c})$ donde \mathbf{p} es un vector de posición y \mathbf{c} es uno de características de d dimensiones, por tanto $c \in \mathbb{R}^d$ y describe varios atributos de bajo nivel tales como color, textura, bordes. El vector de posición \mathbf{p} se asume que es de dos dimensiones y discreto. i.e. $\mathbf{p} \in G^2 \subset \mathbb{N}^2$. G^2 es una cuadrícula bidimensional finita, discreta y compacta $G^2 = [0 \dots a_1 - 1] \times [0 \dots a_2 - 1]$, con $a_i \in \mathbb{N}$.
2. Definición 2 (Imagen) Una imagen I es un conjunto no vacío de elementos de imagen que cumple con las siguientes tres propiedades:
 1. para $e_i = (p_i, c_i) \in I$ y $e_j = (p_j, c_j) \in I$, $p_i = p_j \Rightarrow c_i = c_j$

5 Tristimulus values : Amounts of the three matching stimuli, in a given trichromatic system, required to match the stimulus being considered. Tomado de: <http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/glossary.htm>, visitado el 31 de mayo de 2008

2. $p_i \in G^2$
3. $|I| = |G^2|$

Estos postulados teóricos con los que sustentan los sistemas de procesamiento de imágenes, cuyos componentes, según Jähne (2002), son principalmente cuatro:

1. Un sistema de adquisición de imágenes (SAI). Para los casos simples puede ser una cámara CCD, un escáner plano o una de vídeo digital (i.e Camcorder)
2. Un dispositivo conocido como registrador visualizador de tramas⁶ para convertir la señal eléctrica (usualmente una señal de vídeo analógica) del sistema de adquisición de imágenes en una imagen digital que pueda ser almacenada.
3. Una computadora personal o estación de trabajo que provee la capacidad de procesamiento.
4. Software para el procesamiento de imágenes que provee las herramientas de manipulación y análisis de imágenes.

Por tanto para la adquisición de las imágenes se tiene que tener equipos y procedimientos claros para asegurar la correcta toma de la información y sobre todo porque muchas de las dificultades que se pueden enfrentar en el procesamiento de imágenes se pueden evitar en esta fase (ver figura 4).

Sin embargo para poder aplicar la tecnología del procesamiento digital de imágenes en la producción agrícola se deben tener en cuenta que los SAI deben ser simples y a la vez robustos para poder tener costos razonables a la hora de

6 registrador visualizador de imágenes es la traducción que se hace en el diccionario Websters para frame grabber. (http://www.websters-online-dictionary.org/fr/frame_grabber.html). Vistado el 1 de junio de 2008

utilizarlos, pero además que a la vez la calidad de las imágenes sea suficiente para poder extraer la información requerida.

Las fuentes de imágenes que se utilizan en la agricultura son múltiples, pero las más utilizadas son las obtenidas por satélites y las que se denominan como imágenes aéreas, las cuales pueden ser de alta, media y baja altitud. Ambas fuentes de imágenes son muy costosas y además en el caso de las satelitales se tiene el inconveniente de que para zonas lluviosas suelen ser poco útiles por la gran nubosidad presente (Stoorvogel et al; 2001).

Una estrategia que se ha aplicado al cultivo de musáceas es el de adquisición de imágenes a baja altura (Oberthür et al; 2007), empleándose para ello cámaras comerciales convencionales. También se reporta la toma de imágenes a corta distancia⁷ con cámaras comerciales en el estudio de Camargo et al (2006), en el de Ushuda et al (2007).

En el caso del estudio de Oberthür et al (2007) interesa el proceso de adquisición de las imágenes porque se empleó para la vigilancia local en recursos genéticos del cultivo del banano (*Musa spp*) de la variedad Cavendish, además de 10 genotipos de frijol común (*Phaseolous vulgaris L*). Como dispositivo de elevación emplearon un globo y dos tipos de cometas para distintas velocidades de viento. Se instalaron una cámara digital y una cámara de 35mm, una cámara de vídeo para vigilar el campo de visión de la cámara principal y un sistema de control por radio para alinear y manejar la cámara en una estructura de aluminio que se sujetaba a los dispositivos de elevación y se manejaban por medio de un sistema de control.

Las imágenes de la cámara digital se guardaron en formato TIFF y JPG de alta resolución. En la cámara convencional se usó película común de color y película

7 En este caso se entiende imágenes a corta distancia aquellas que son capturadas por personas a pie o instrumentos como los trípodes convencionales.

infrarroja que fue escaneada posteriormente y guardadas en formato TIFF.

Los resultados obtenidos en el proceso de adquisición permitió capturar buenas imágenes bajo un buen rango de condiciones (Oberthür et al; 2007), sin embargo la configuración óptima de la cámara varió según las condiciones de luz entre otras. No se pudo establecer un conjunto de parámetros de configuración para cada condición. Se consideró que los ajustes automáticos de la cámara fueron suficientes en particular para las variaciones en las condiciones de luz debido a la nubosidad, la sombra y los cambios relacionados con la hora del día. Las mejores imágenes se tomaron entre el medio día y las 1600h y la calidad de las imágenes varió en los días ventosos. Además se presentaron problemas para lograr un correcto enfoque de la zona deseada, por lo que se tuvo que tomar varias imágenes de las cuales después se seleccionó la mejor manualmente. Se señala que para banano, las imágenes que tiene partes con luz directa y luz difusa, fueron especialmente inadecuadas para el análisis.

Camargo et al (2006) realizan un trabajo en el que probaron un nuevo sistema de extracción de hojas individuales basado en componentes conectados, conglomerados difusos (fuzzy clustering) y algoritmos de optimización genética. El trabajo se hizo tomando imágenes a color de follaje joven, pero no denso, en crecimiento bajo condiciones de invernadero y de campo. En la adquisición de las imágenes se utilizó una cámara digital comercial como se señaló antes, pero se usaron los ajuste automáticos de configuración y la resolución de imagen original de 1280 X 960 píxeles. Esta resolución espacial se traduce en dos píxeles por mm con la cámara montada a un metro de la planta objetivo, para las imágenes de invernadero. La resolución de las imágenes en campo fue de 2240 X 1680 píxeles que se traduce a 4 píxeles por mm. En ambos casos la sombra de la cámara fue evitada.

El trabajo de adquisición de las imágenes del trabajo anterior se parece al de Camargo J., Meyer G., Jones D., Samal A. (2006), en donde también se usó una

cámara convencional digital y las condiciones para la toma de las imágenes. Cabe mencionar que aquí, así como en el anterior trabajo la fuente de luz estaba detrás de la cámara.

Así los SAI presentados muestran todos la condición de basarse en la construcción de un dispositivo que usa una cámara digital comercial, las cuales tiene la capacidad de tomar fotografías en muy distintas condiciones. Estas cámaras tiene a su vez la característica de poderse emplear con la características de ajuste automático de su configuración y comportarse convenientemente para diversas condiciones de luz que se dan debido a la nubosidad, la sombra y los cambios relacionados con la hora del día. También resultan apropiados para la toma de imágenes de baja altitud, así como las tomadas a corta distancia.

3. Materiales y Metodología

3.1 Materiales

En el cuadro 2. se presenta una descripción de los materiales que se han tenido a disposición para hacer el trabajo. Por su parte en el cuadro 3. se citan los programas que se usaron para programar los algoritmos resultantes y analizar los resultados.

Cuadro 2. Equipo disponible para la investigación en el Laboratorio de I+D (Carrera de Computación, ITCR Sede Regional de San Carlos).

Equipo	Tipo
PC de escritorio	Procesador: Pentium 4, Memoria RAM: 1 Gb Sistema Operativo: GNU/Linux, Distribución: Debian
Tablet PC	Procesador: Centrino de Intel, Memoria RAM: 1 Gb Sistema Operativo: GNU/Linux, Distribución: Ubuntu
Cámara Fotográfica Digital	Resolución: 8 Megapíxeles, Zoom Óptico: 7X Formatos: Tiff, Raw, jpg
Cámara de Video Digital	Resolución: 4 Megapíxeles, Zoom Óptico: 10X Formatos fotog: jpg
Impresora Laser	Blanco y Negro, y Color
Disco Duro Externo	80 GB
Scanner (plano)	Resolución de hasta 1.200 x 2.400 ppp y 48 bits de color Formatos: TIFF comprimido, mapa de bits, DCX, PCS, JPEG, GIF, FlashPix, texto sin formato, PDF, HTML, texto enriquecido; Macintosh: TIFF, PICT, JPEG, GIF, FlashPix, texto sin formato, PDF, HTML, texto enriquecido

Cuadro 3. Programas de Computación disponibles para el trabajo de investigación propuesto.

Software	Nombre
Distribución GNU/Linux	Debian y Ubuntu
Librería	LTI-Lib desarrollada: “Chair of Technical Computer Science (Lehrstuhl fuer Technische Informatik) LTI at the Aachen University of Technology”
Compiladores	GCC de la GNU, Visual C++
Suite	Matlab 7.0 para linux y windows
Editores de texto	Sistema de preparación de documentos tipo LaTeX Procesador de palabras: OpenOffice
Editor de Video Digital	Kino 0.92 o superior

3.2 Metodología

Los problemas a solucionar en el proceso de automatización de la medición de la severidad de la sigatoka negra son la variabilidad de las formas de hojas, el traslape de hojas de una misma planta y de plantas vecinas, las variaciones en la iluminación, los cambios del fondo, que son altamente dependientes del clima, y la variación de la textura de la hoja capturada, dependiendo si está húmeda o seca, entre otros. Este tipo de problemas se enfrentan por medio del proceso para crear métodos de análisis automático de imágenes, el cual se muestra en la figura 4.

Seguidamente se describe el proceso de trabajo que se realizó en la etapa de “adquisición”.

3.2.1. Adquisición

El trabajo se realizó entre los meses de febrero a mayo del 2007.

Para hacer el proceso de muestreo (toma de imágenes) se procedió a seleccionar fincas que tuvieran plantaciones de plátano y que estuvieran a un rango máximo de 15 km de la Sede Regional del ITCR en San Carlos. Esto con el propósito de hacer muchas visitas, incluso poder hacer dos visitas en un mismo día. Aquí se tomó en consideración la necesidad de descargar la imágenes en los reservorios digitales masivos para poder seguir utilizando los dispositivos de memorias que tienen las cámaras.

Se seleccionaron dos parcelas ubicadas en el asentamiento El Futuro y en San Pedro, ambas localidades del distrito de La Tigra de San Carlos, denominadas finca 1 y finca 2, respectivamente (ver figura 5). Las dos parcelas tenían plátano en plena producción, aunque la condición que presentaba cada una es diferente debido al manejo que se le da al cultivo y a las condiciones climáticas imperantes en ese periodo.



Figura 5. Ubicación de las fincas en las que se realizaron muestreos, denominadas finca 1 y finca 2. (Fuente: www.sirzee.itcr.ac.cr, visitado el 2 de junio del 2007)

Se hizo una análisis de las imágenes de follaje de plantas de plátano evaluándolas

desde el punto de vista de las características que presentan para iniciar la definición del protocolo de adquisición de imágenes, que se uso para crear un banco de datos con el que se procedió a crear los algoritmos necesarios para segmentar la imágenes. Las imágenes utilizadas para esto pertenecen a un grupo que fue tomado en abril y mayo del 2006 en varias fincas de la localidad de Los Angeles de la Fortuna. Las imágenes fueron tomadas con la cámara Sony CyberShot DSC-F828, con formato TIFF y JPG. Se usó el sistema de ajuste automático de la cámara. Además se hizo un registro de las características de las condiciones del tiempo durante la toma de imágenes y en un registro se anotó, para cada imagen, el número de hoja que se estaba incluyendo en la fotografía, o sea, se inscribió si la hoja de interés era la 1, la 2, la 3 o 4, según la escala de Stover, porque se pretendió que cada imagen correspondiera a una hoja. Con el análisis de estas imágenes se establecieron los elementos básicos del protocolo de adquisición.

Posteriormente se procedió a realizar dos vistas para hacer tomas fotográficas de prueba tanto en horas iniciales de la mañana, como en horas de la tarde, a ambas fincas.

Las imágenes se tomaron con la cámara Sony CyberShot DSC-F828, con formato TIFF y JPG a la vez, todas a color y con una resolución espacial de 3264X2448 para el primer formato y 2048X1536 o 3264X2448 para le segundo. Este instrumento se utilizó para todo el trabajo restante.

Debido a que en la inspección visual de las imágenes no se logró identificar cual era la hoja de interés y la posición de esta en la planta para otorgar el número correspondiente según al escala de Stover, se procedió a hacer otra toma de imágenes, pero esta vez identificando el número de hoja. Para ello se usó rótulos, numerado de 1 a 4. La dimensión de los rótulos fue 11 cm X 16 cm. Los números se dibujaron en negro. Al tomar las imágenes se coloca el rótulo en la base de la hoja, procurando no tapar ninguna sección de la misma tal y como se observa en

la figura 6. Este muestreo se hizo en la finca 1.



Figura 6. Sistema de rotulación para identificar la hoja de interés en la imagen. Imágenes tomadas en la finca 1.

Se realizó otro muestreo en la finca 2 para probar tres tipos de ajuste de la cámara y así comparar los resultados con estas características. Sobre el estado de la plantación en la que se muestreó hay que indicar que la misma estaba en plena producción, tenía excelentes condiciones y las plantas se mostraban robustas. Las mismas podían tener hasta 6 metros de alto. Además la densidad de siembra era más alta que lo normal. Estas imágenes se tomaron de la 1:30 pm a 3:00 pm . El cielo estaba seminublado con periodos ligeramente despejados. Se presentó una capa de nubes casi permanente pero muy altas y poco densas. Se tomaron tres tipos de imágenes con las siguientes características: ISO-100, ISO-200 y automática.

Finalmente se hizo una nueva visita a la finca 2 junto a un experto en PDI para hacer una valoración de las condiciones que se presentan en una plantación de esta naturaleza y comprobar “in situ” las características que se observaron en las imágenes para tener una retroalimentación de los pasos a seguir en la solución del problema propuesto. En esta visita también se tomaron imágenes con la

misma cámara.

En todas las visitas y paralelo a la actividad de toma de imágenes se hizo la aplicación manual del procedimiento de muestreo de la severidad de la sigatoka negra. De esta forma se pudo comparar el tiempo que toma hacer la medición visualmente anotándola en un PDA que tenía el programa de captura de muestreos de sigatoka negra que es parte de SiMu. Los resultados no se procesaron para obtener el PPI porque el interés fue medir el tiempo que se consumía en un proceso y en el otro.

3.2.2 Desarrollo de algoritmos para medir la severidad y coadyuvar en el control de la Sigatoka Negra

Este trabajo se ejecutó entre los meses de marzo del 2006 y hasta el mes de octubre del 2007.

Para las fases de preprocesamiento y segmentación de las imágenes se utilizaron técnicas avanzadas del PDI con el objetivo de aislar la enfermedad y cuantificarla en las hojas de las plantas.

La experimentación para el tratamiento de imágenes se hizo usando el Matlab, así como los softwares desarrollados por los investigadores. También se usaron las librerías de C++.

Parte del desarrollo, que tiene que ver con el software de preprocesamiento se hizo utilizando dos las máquinas del Laboratorio I+D de la Carrera de Computación de San Carlos. Las máquinas tenían procesadores Dual Core, cada procesador de 2.8 GHz, a las cuales solo se les reforzó la memoria RAM, para que contaran con un mínimo de 1 Megabyte.

Parte de experimentos que se ejecutaron para la segmentación se hicieron en los laboratorios del Centro de Investigaciones en Matemáticas, A.C. (Guanajuato,

México) y se aplicó técnicas de segmentación lingüística del color mediante un modelo bayesiano jerárquico. Este trabajo forma parte de los experimentos de Alarcon (2007)⁸.

3.2.3 Desarrollo e Implementación un sistema automatizado que permita coadyuvar en el control de la Sigatoka Negra

Debido a que los resultados obtenidos en la etapa de adquisición de imágenes arrojó que la eficiencia del trabajo de muestreo fue mayor haciendo el muestreo convencional pero usando el software desarrollado en SiMu para PDA, se procedió a hacer una reprogramación de SiMu para que este se ejecutara con herramientas de carácter libre.

Por tanto se reprogramó todo para que el servidor de internet no fuera IIS, producto privativo, sino Apache. Para usar Apache el código se reescribió usando PHP.

Por otra parte SiMu estaba programado usando SQL Server como manejador de bases de datos, pero por la misma razón antes apuntada se traslado la capa de datos a MySQL.

Finalmente SiMu corría utilizando los servicios de un sistema de administración de contenidos denominado RAINBOW, por lo que se utilizó Joomla! que es otro sistema de administración de contenidos libre, pero con mayores prestaciones.

8 La Dra. Alarcón (Universidad de Jalisco, México) participó en el equipo de trabajo de este proyecto y realizó experimentos sobre imágenes de plátano, las cuales usó en pruebas que trataban de evaluar las hipótesis de su tesis.

4. Resultados y discusión

4.1 Adquisición de imágenes

4.1.1 Fase primera

Para evaluar las condiciones que se presentan en las imágenes de las copas de las plantas que se pueden capturar en una plantación de plátano, con una cámara digital convencional, se analizó un conjunto de imágenes capturadas entre abril y mayo del 2006. Estas imágenes fueron captadas por un fotógrafo ubicado de dos a seis metros de la base del pseudotallo de las plantas y se tuvo el objetivo de captar toda la copa de las plantas para usar esa imagen para extraer a información de severidad.

Revisando y comparando las imágenes se pudo comprobar que aún un hombre no pueden separar las hojas a pesar de que la copa esté relativamente individualizada en la imagen, como la de la figura 7(a). Además no es frecuente tener la posibilidad de contar con suficiente distancia para lograr capturar en una sola imagen toda la copa de la planta, porque la distancia de siembra de frecuente de este cultivo es de 3 X 3 m en triángulo y algunas veces la densidad es mayor.

La condición más frecuente al tratar de hacer imágenes de las plantas se presenta en la figura 7(b). En esta imagen se puede ver como la planta que se pretendía fotografiar, ubicada en el centro, entrecruza sus hojas con las plantas vecinas. Las hojas se entrecruzan con las de las plantas que están al lado derecho y al izquierdo, pero podría también suceder que se crucen con las hojas de las plantas que están atrás y delante de la planta que se está fotografiando.



(a) Copa de la mata de platano tomada a 5 m de la base del pseudotallo usando zoom.



(b) Efecto del traslape de las hojas.



(c) Pseudotallo en el que se observan los peciolos de las hojas de una planta de platano.

Figura 7. Imágenes de las copas de las plantas de plátano en estado previo a la aparición de la inflorescencia. Abril del 2006.

Una de las características más críticas que se observa en las imágenes de la figura 7, es que a pesar de que se pueda ver completamente el pseudotallo no se puede con ello señalar cual es el número o posición de hoja respecto a la “candela⁹” para aplicar la escala de Stover. Un ejemplo claro de esto es la figura 7(c). En ella se ve claramente el pseudotallo pero no se puede observar la forma en que se ordenan los peciolos de las hojas para lograr hacer la enumeración de las hojas.

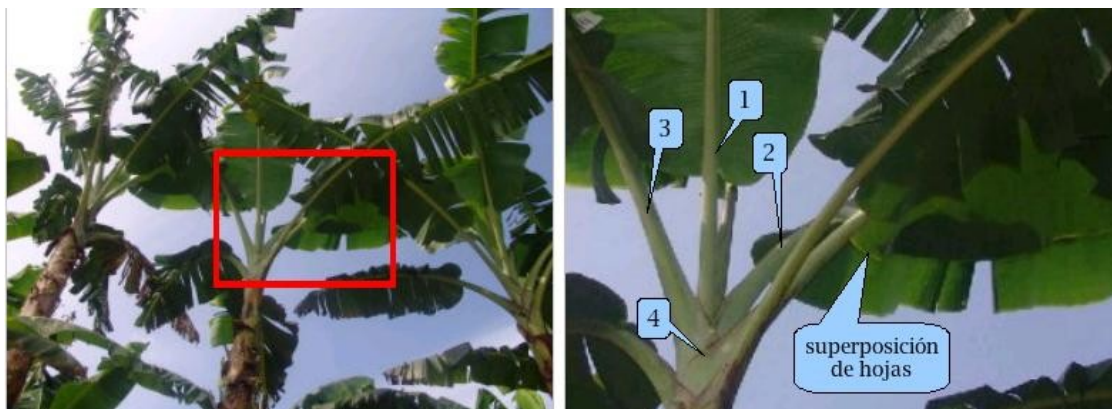


Figura 8. Forma en que se enumeran las hojas en una planta de plátano partiendo de la bandera como hoja cero.

9 Se usa el término candela para referirse a la hoja que está naciendo y que normalmente está arroyada. Esta hoja se considera la hoja 0.

En este trabajo se necesitaba hacer una separación como la que se presenta en la figura 8, en la cual se muestra una imagen en la que ampliando la sección del seudotallo que está en el recuadro con borde rojo, se puede obtener la información que permite separar el orden de los pecióslos. Así el peciolo de la hoja (1) envuelve la candela, el peciolo de la hoja (2) envuelve al de la (1) y así hasta la hoja (4) cuyo peciolo envuelve al de la hoja (3). Pero aún si se hubiese logrado hacer esta separación, al observar las hojas se puede ver el entre cruce que sufren las mismas hace imposible la segmentación porque no se pueden ver las diferentes láminas que las forman.

Esto descartó la posibilidad de hacer una identificación automática de la posición de las hojas partiendo de la imagen de la copa de la planta.

Al comparar este resultado con el trabajo que realiza el obrero de campo cuando hace el muestreo de sigatoka, resulta que primero hace una identificación de la hoja observando cual peciolo envuelve la candela para identificar la hoja (1) y posteriormente identificar todas las demás hojas. Así primero identifica la hoja observando el peciolo y luego observa la hoja como tal para estimar el grado de daño que presenta. En otras palabras se hace una valoración individual de cada hoja, de manera que tampoco el hombre puede hacer la segmentación de las hojas partiendo de la observación de las copas.

Como se está partiendo del supuesto de que lo que es posible visualmente para un hombre debe llegar a ser posible para la visión por computador, se infirió que con este tipo de imágenes no es posible segmentar correctamente las hojas.

4.1.2 Fase segunda

Dado el resultado de no poder usar imágenes de las copas se planteó la necesidad de tomar imágenes de cada una de las cuatro hojas de la planta para capturar la información necesaria.



(a) Vista panorámica de la plantación de menos de 9 meses.



(b) Presentación de una hoja sana.



(c) Presentación de una hoja con lesiones de sigatoka negra.

Figura 9. Imágenes de una plantación joven (seis meses aproximadamente) y de hojas de plátano sanas y enfermas de plantas de la misma plantación. (Mayo del 2006)

En la figura 9(a) se muestra una panorámica de una plantación joven de plátano. Estas plantas tenía alturas que no sobrepasaban los 2,5 m de la base del pseudotallo al peciolo de la hoja 1. En las figuras 9 (b) y (c) se muestra como en la misma plantación y a pesar de la corta edad, existen hojas sanas y otras severamente afectadas por sigatoka. Además estas figuras muestran que todavía bajo estas condiciones es factible manipular directamente las hojas de la planta para lograr imágenes de alta calidad, tanto porque se logra evitar la saturación de luz, así como porque se puede manipular la hoja y presentarla como se observa en la figura 9(c). Esto quiere decir que la toma de imágenes y por tanto el proceso de crear algoritmos se facilita bajo estas condiciones y más si se trata de imágenes de plantas de muy poca edad, pues la cámara se podría situar desde arriba y así tomar las hojas con luz directa y no a contra luz como pasa con las imágenes de hojas en plantas altas.

Dados los resultados obtenidos con el análisis de las imágenes de abril y mayo del 2006 se consideró que para poder tomar las fotografías de plantaciones en producción se debería considerar las siguientes dos normas dentro del protocolo de adquisición de imágenes:

1. Se debe tomar por lo menos una imagen de cada una de las hojas de la planta de plátano. El obrero que realice la toma debe identificar, con base en los peciolos, la posición de la hoja.
2. A la hora de tomar la hoja particular se debe colorar un identificador con el número de hoja para que esta quede identificada y esta información sea parte de la misma imagen. El identificador debe ser un cartel blanco de aproximadamente de 10X15 cm, con números negros. Este identificador se debe colocar preferiblemente en la base de la hoja (punto en que termina la lámina foliar e inicia el peciolo).

Aplicando estas dos normas del protocolo se visitaron la finca 1 y la finca 2 y se tomaron imágenes.

En la figura 10 se presentan las imágenes tomadas en las que se pretende capturar cada una de las cuatro hojas de una planta.

Para este caso la cámara se empleó en configuración automática. Como resultado se obtuvo imágenes donde la calidad de la luz es deficiente.

Esto se puede deber a que la máquina siempre usó un mismo ISO (ISO 64), aunque se ajustó el valor de apertura (f), siendo que el menor lo tuvo la imagen de la figura 10(c) y el mayor lo tuvo la de la figura 10(b). El tiempo de exposición solo varió para esta última y la cámara lo disminuyó, posiblemente, para ajustarse a la mayor apertura.

De las imágenes de la figura 10 también se puede observar que las hojas de las plantas están en posiciones y formas donde solo se logra observar parte de las láminas foliares, aunque hay que señalar que estas imágenes se tomaron durante el verano y por tanto, aunque no se puede observar esto en las imágenes, las hojas mostraban una condición de estrés por déficit hídrico muy evidente, lo que

hacia que estas se vieran flácidas por falta de turgencia y así tienden a curvarse más por efectos de la gravedad.



Valor de apertura: f/6.3
Tiempo de exposición: 1/249 seg.
Distancia focal: 7.1 mm
Flash: El flash no disparó.
Tasa de velocidad ISO: 64

(a)



Valor de apertura: f/8.0
Tiempo de exposición: 1/319 seg.
Distancia focal: 7.1 mm
Flash: El flash no disparó.
Tasa de velocidad ISO: 64

(b)



Valor de apertura: f/5.6
Tiempo de exposición: 1/249 seg.
Distancia focal: 7.1 mm
Flash: El flash no disparó.
Tasa de velocidad ISO: 64

(c)



Valor de apertura: f/7.1
Tiempo de exposición: 1/249 seg.
Distancia focal: 7.1 mm
Flash: El flash no disparó.
Tasa de velocidad ISO: 64

(d)

Figura 10. Imágenes de las cuatro hojas más nuevas de una planta de plátano tomadas en la finca 1.

Las imágenes de la figura 11 se tomaron en la finca 2. Esta finca presentaba condiciones excelentes.

El ensayo aplicado en esta visita fue tomar imágenes en las que se manipulaban los ajustes de las imágenes. Así se observan tres imágenes de la misma hoja tomadas dos con distintos ISO (imagen (a) y (b)) definidos manualmente y una con el modo automático (imagen (c)).

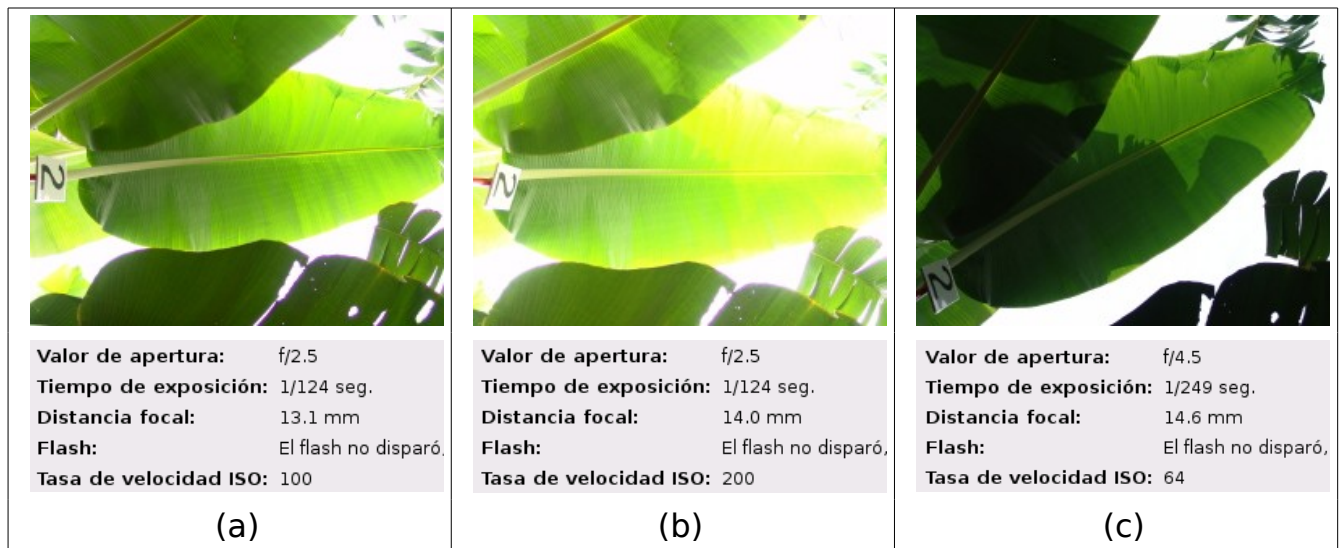


Figura 11. Imágenes de la hoja 2 de una planta de plátano tomadas con diferentes ajustes para el valor ISO en la finca 2.

En la imagen de la figura 11(a) se muestra la hoja con un ISO 100. En ella se muestra claramente la superposición de otra hoja en la parte de arriba y que se torna amarillo el borde de la lámina foliar. En la imagen de la figura 12(b) sucede lo mismo que en la anterior, pero la lámina foliar se torna todavía más amarilla. La imagen de la figura 12(c) se tomó en el modo automático y aunque muestra los colores más naturales, se pierde la diferencia entre la hoja y la que está superpuesta. Además se observa la sombra de otra hoja que está detrás de la hoja de interés, lo que produce un efecto de regiones totalmente diferentes y que necesariamente dificultaría cualquier acción de segmentación.

Aún así luego de observar todo el lote de imágenes y comparar las imágenes con los ajustes en manual con las que se tomaron en forma automática, se tiene que estas últimas presentan mejores características para ser procesadas, condición que coincide con las observaciones de Camargo et al; (2006a), Camargo et al; (2006b) y Oberthür et al; (2007). En todos estos trabajos se usó la configuración automática de la cámara para la adquisición de las imágenes.

Además en las imágenes de prueba que se hicieron en la segunda visita a la finca 2 junto a un experto en PDI, se observó que las imágenes tomada manualmente presentaban una textura muy granulosa, mientras que las automáticas no. También se logró observar que la imágenes mejoraban mucho en contraste, si la cámara se coloca en modo A, configuración que permite cambiar la cantidad de luz.

Así se definió que para filmar las imágenes en follaje de plantaciones adultas se utilizaría la siguiente norma dentro del protocolo de adquisición:

3. Para la filmación de las imágenes se emplearía el modo A de la cámara, para que tanto el ISO como el tiempo de exposición se definan automáticamente y solo se tenga que configurar manualmente el valor de apertura.

4.1.3 Comparación del uso de recursos

El protocolo de adquisición de imágenes quedó definido con las siguientes condiciones:

1. *Se debe tomar por lo menos una imagen de cada una de las hojas de la planta de plátano. El obrero que realice la toma debe identificar, con base*

en los peciolo, la posición de la hoja.

- 2. A la hora de tomar la hoja particular se debe colorar un identificador con el número de hoja para que esta quede identificada y esta información sea parte de la misma imagen. El identificador debe ser un cartel blanco de aproximadamente de 10X15 cm, con números negros. Este identificador se debe colocar preferiblemente en la base de la hoja (punto en que termina la lámina foliar e inicia el peciolo).*
- 3. Para la filmación de las imágenes se empleará el modo A de la cámara, para que tanto el ISO como el tiempo de exposición se definan automáticamente y solo se tenga que configurar manualmente el valor de apertura.*

Sin embargo, en paralelo a los ejercicios realizados para poder establecer estas normas, se hicieron siempre anotaciones de tiempo y de recursos para poder comparar el proceso de toma de las imágenes contra el tiempo que toma a una persona entrenada hacer el mismo examen pero usando un PDA con el software para capturar los resultados de sus observaciones.

Los resultados promedio sugieren que para un trabajador hacer la valoración de una planta completa, esto es, revisar los peciolo para hacer la identificación de las hojas, observar cada hoja y tomar nota en el PDA, necesita de tres minutos, con todo y verificación, o sea, revisando que lo que anotó concuerda con una reobservación de la planta. Mientras el proceso de toma de imágenes es mucho más lerdo y depende del tipo de ajuste que se utilice, pero en el mejor de los casos; que corresponde a tomar imágenes con el ajuste automático, la acción tiene un tiempo promedio de 7.5 minutos. Sin embargo en esta acción de toma de imágenes se necesitan dos operarios, uno para colocar el identificador de la hoja y otro filmando, lo que de por sí duplica el costo de mano de obra.

En síntesis utilizar el protocolo implica gastar más del doble del tiempo del método con el PDA y el doble de recurso humano. Esto hace inviable el método porque los costos son más del doble entre un proceso y el otro, por lo que no se justifica cualquier mejora en la precisión de la medición de la severidad.

Si se considera que se logre disminuir el tiempo de adquisición de las imágenes de manera que también se lograra un tiempo promedio suficientemente parecido al que toma por medios convencionales registrar la información, siempre se tiene el problema de que se necesitan dos personas para tomar las fotografías, porque se debe colocar un identificador del número de hoja y por tanto en el mejor de los casos el procedimiento consume dos veces el recurso humano que requiere el método con el PDA. Además el uso del PDA hace que la transferencia de datos sea sumamente eficiente, pues este dispositivo corrige el problema de redigitar la información de campo, puesto que es almacenada en forma digital desde el principio.

Una posibilidad, pero que implica cambiar el enfoque total, es el utilizar imágenes aéreas de baja altitud, estas tienen un costo económico mucho mayor, pero menor a las tradicionales tomadas desde aviones o helicópteros. Según Oberthür et al; (2007), esta estrategia les dio buenos resultados para estimar parámetros de crecimiento de las plantas, aplicando la técnica sobre banano y frijol, aunque el estudio no trató de estimar variables sobre enfermedades, pero con esto se demuestra que es posible usar esta técnica para experimentar su uso en el dominio de manejo de enfermedades. Además el trabajo de Stoorvogel et al, (2001) utiliza imágenes aéreas tomadas desde aviones, pero este trabajo si es enfocado a la determinación de la severidad de la sigatoka negra. Ahora bien ellos aprovecharon que para banano normalmente existe la infraestructura montada que se podía utilizar para hacer la filmación de imágenes del follaje, debido a que en este cultivo se hace aplicación aérea de agroquímicos. Para plátano este no es el caso, por tanto sería factible examinar la viabilidad del uso de imágenes aérea de baja altura con dispositivos como los que usó Oberthür et

al (2007) y que consistieron en globos y papalotes.

Como dato interesante se puede señalar que en el país existe una empresa que ofrece el servicio de toma de imágenes de baja altura. Esta se denomina Pegasus y su sitio web es <http://www.pegasuscr.com> . Esta empresa solo utiliza globos, lo que podría ser una limitación, pero hace tomas desde 0 a 250 metros de altura.

4.2 Desarrollo de algoritmos para medir la severidad de la Sigatoka Negra

El trabajo desarrollado se dividió en cuatro etapas.

4.2.1 Etapa 1

En la primera etapa se ha trabajado desarrollando procedimientos de preprocesamiento de imágenes. Con el preprocesamiento se pretende preparar las imágenes para que puedan ser analizadas en las etapas subsiguientes del proceso con el que se podría medir si una hoja está en una fase o en otra según la escala de Stover.

Para esto se crearon procedimientos con MatLab. Los procedimientos son los siguientes: convolucion, dftfilt, dfuv, ecualizacionhistograma, filtromediana, fourier, hitolocal, logaritmico, logaritmicoinversa, lpfiler, negativa, npotencia, raiz, planosporbit.

En la figura 12 se muestra la interfaz de esta aplicación y en la figura 13 se presentan varias imágenes de salida que produce la aplicación de varias técnicas junto con sus histogramas.

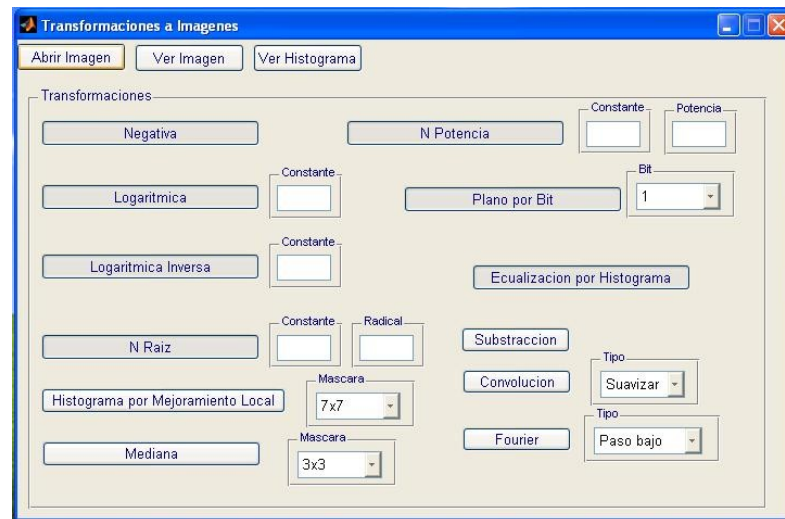


Figura 12. Interfaz con la que se puede acceder a las diversas funciones programadas para realizar preprocesamiento de imágenes.

Para poder usar algunas de las funciones desde la interfaz de usuario se deben dar algunos parámetros o escoger la función que se desea aplicar como es el caso de la convolución, para la que hay que escoger si se quiere un efecto de suavizamiento o de realzado.

En la figura 13(a) se muestra una sección de una hoja de plátano que muestra un daño avanzado por sigatoka negra. A esta imagen se le aplicó un tratamiento con el propósito de resaltar las lesiones que ha producido la enfermedad, para esto se transformó primero a tonos de gris, el resultado se puede observar en la figura 13(b), mientras su histograma se muestra en la imagen de la figura 13(c). En la figura 13(d) se muestra la misma imagen pero tratada por medio de un proceso de ecualización por histograma y en la figura 13(e) se muestra el histograma resultante para la imagen ecualizada. Así por medio del histograma se puede explicar el mayor contraste que existe entre el tejido sano y el dañado por la enfermedad que se puede ver en la figura 13(d), pues este es más abierto, en

otras palabras, la frecuencia se concentra menos sobre algunos rangos de niveles de gris como se puede ver al compararlo con el histograma de la figura 13(b).

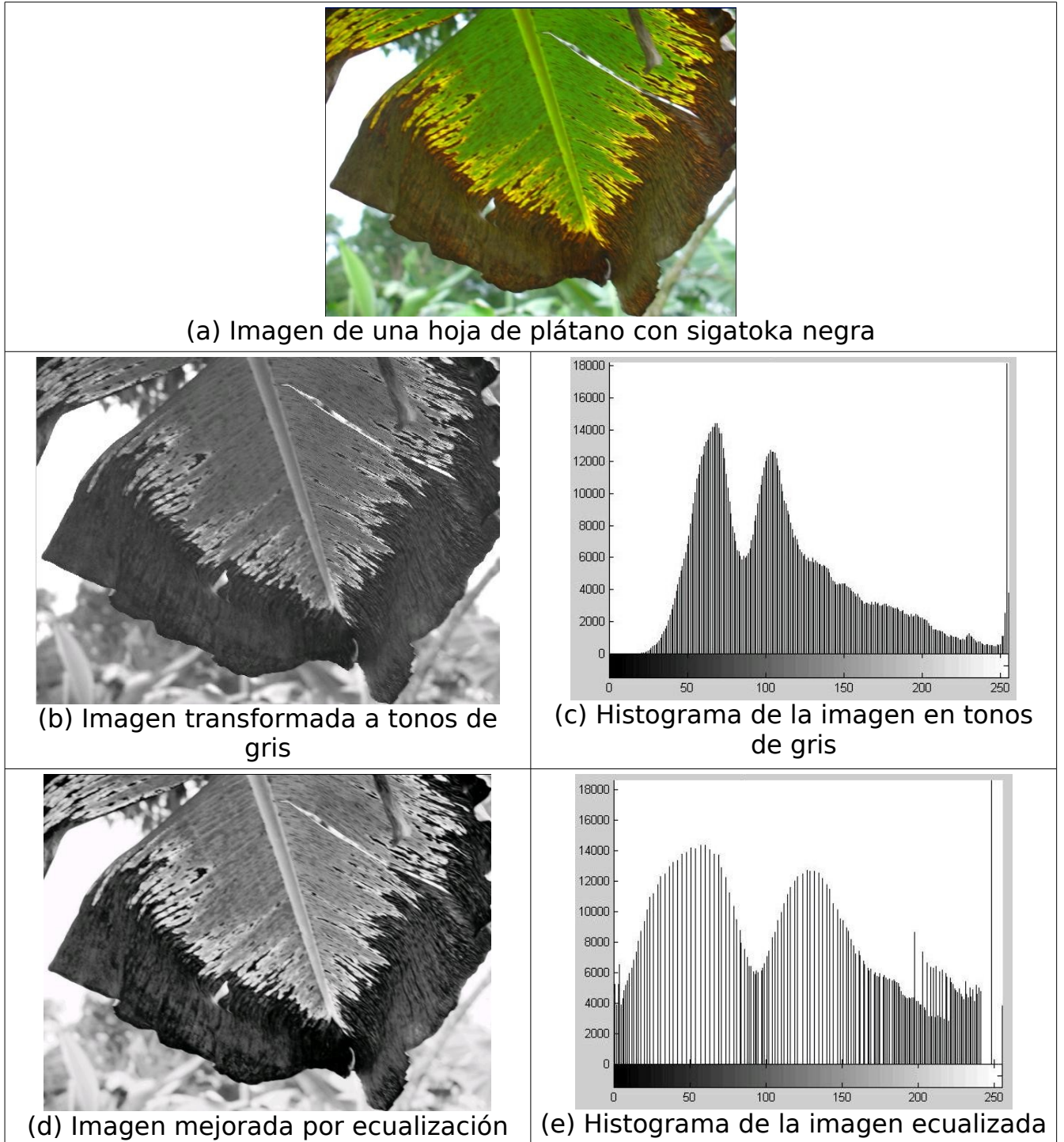


Figura 13. Imagen de una sección de una hoja de plátano a la que se le aplicó un tratamiento de preprocesamiento.

Este procedimiento utiliza la siguiente función:

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \left(\frac{n_j}{n} \right)$$

Para esta función $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$, n es el total de píxeles de la imagen y n_j es la frecuencia del nivel de gris j -ésimo.

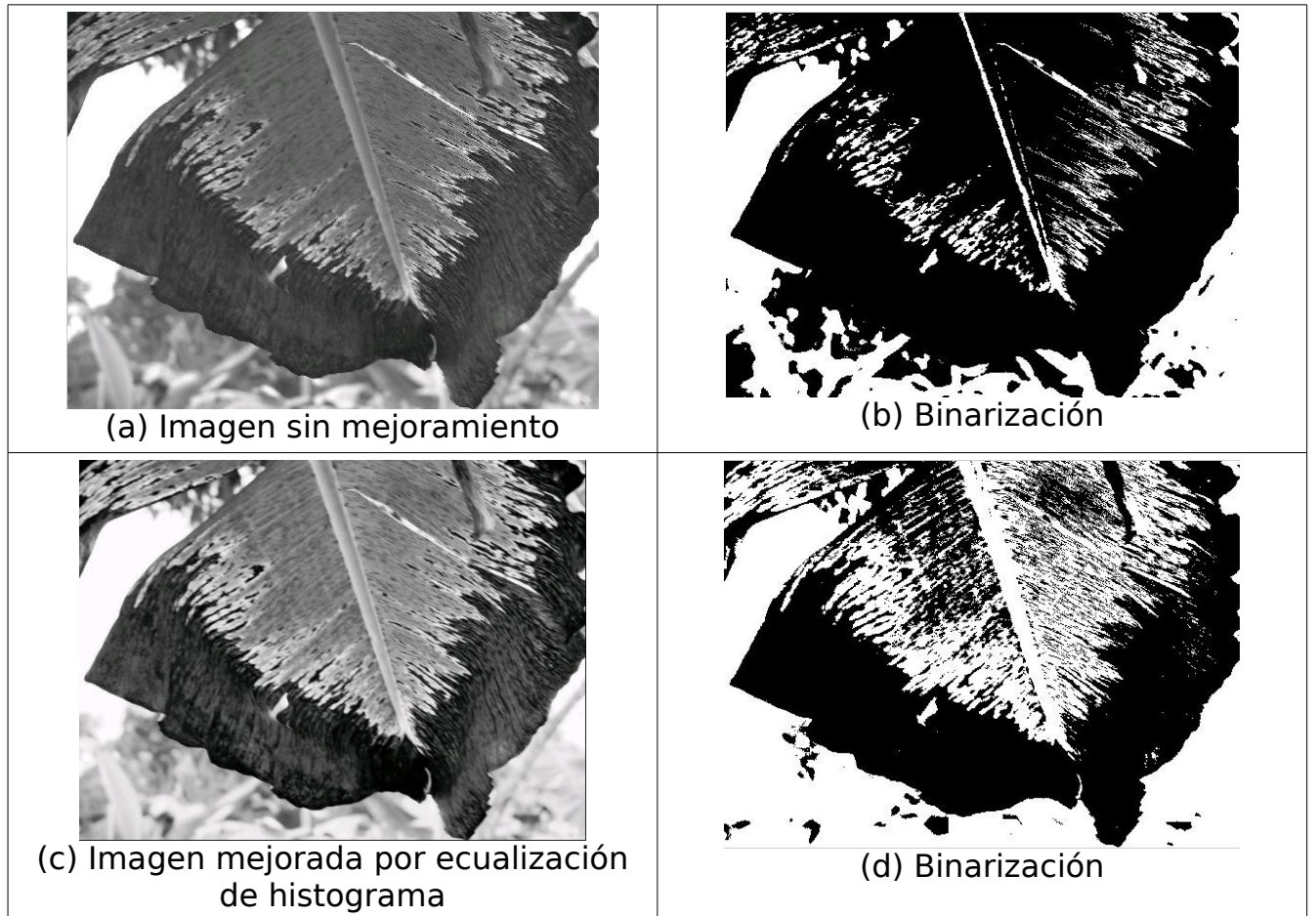


Figura 14. Comparación entre la binarización de dos imágenes en niveles de gris que proceden de la misma imagen de una hoja de plátano.

En la figura 14 se presenta un ejemplo de los resultados de realizar un preprocesamiento para preparar la información necesaria para realizar una

segmentación. En este caso se trata de segmentar de la hoja la parte enferma y la parte sana. Así en la figura 14(a) se muestra la imagen en tonos de gris sin ningún tratamiento. En la figura 14(b) se muestra una binarización de la imagen, la cual se realiza calculando un umbral por medio de la función `graythresh` de MatLab. Si se comparan ambas figuras se puede ver que los daños severos del borde de la hoja se puede separar con bastante exactitud, pero falla al separar las partes menos dañadas que se encuentran cerca de la nervadura principal. Por su parte en la figura 14(c) se muestra la misma imagen pero luego del tratamiento de ecualización. Ya en esta imagen las lesiones que se encuentran más cercanas a la nervadura son más visibles, pero al observar la figura 14(d) se puede ver que, siendo esta obtenida por el mismo procedimiento de binarización que la figura 14(b), el resultado es muy superior y más aproximado al que logra la visión humana. Se logra separar correctamente la parte dañada del borde y se dibuja una aproximación más apropiada de las lesiones que se observan en la figura 14(c).

4.2.2 Etapa 2

En la etapa dos se planteó hacer un proceso de segmentación basado en morfología matemática.

El procedimiento que arrojó mejores resultados se basa en el programa que se presentan también en el apéndice A.

En esta etapa se experimentó con procedimientos que permitieran encontrar un centroide y a partir de este lograr calcular los bordes de la hoja.

Los resultados de los experimentos fueron muy dispares. Con estos se logró crear patrones, pero no marcar correctamente los bordes, tal y como se muestran en la figura 15.

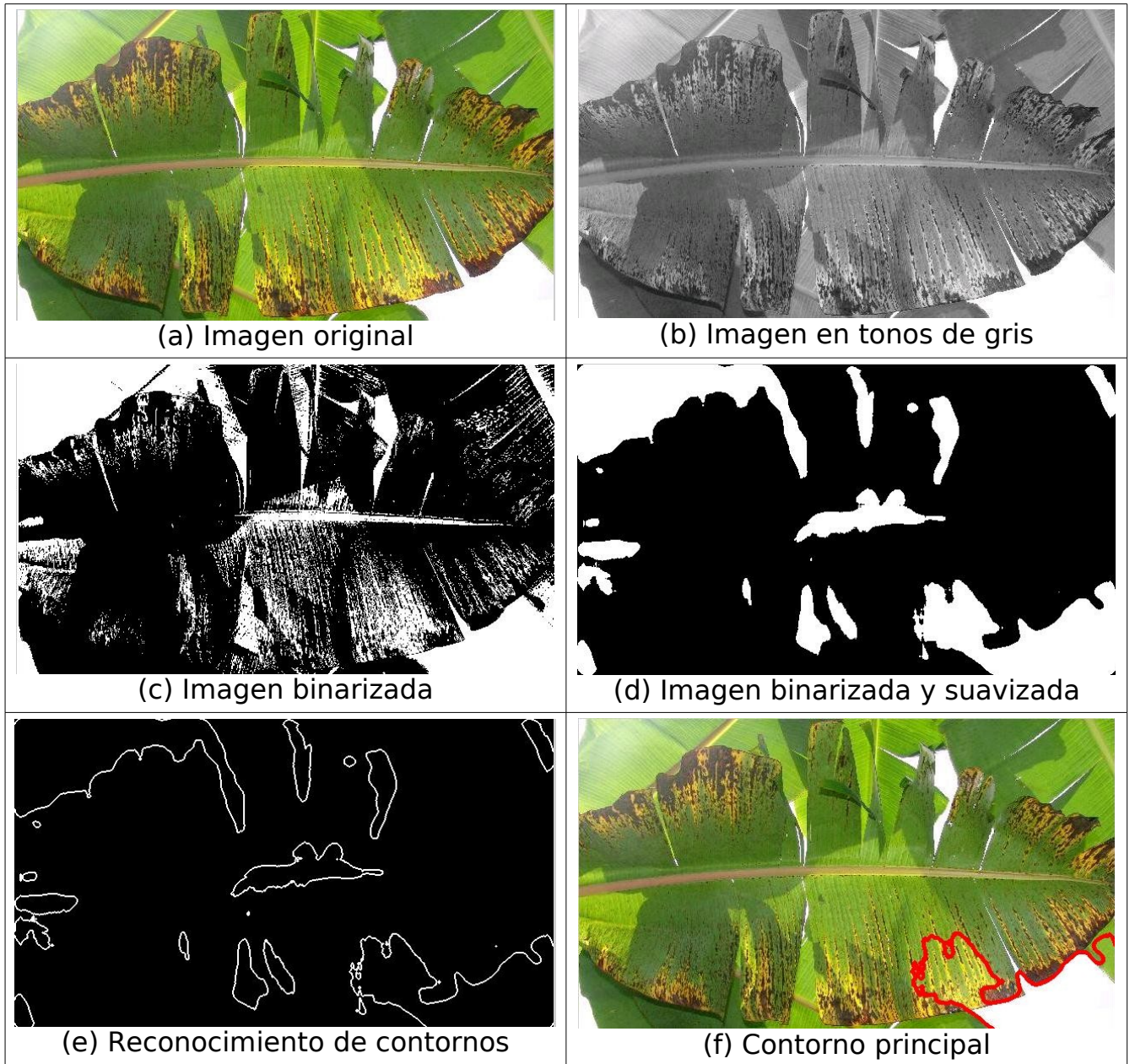


Figura 15. Experimento (a) sobre segmentación usando morfología matemática.

Los resultados de otro experimento se muestra en la figura 16. En esta la definición del borde tiene mejores resultados, hasta el reconocimiento del contorno, sin embargo no se logra separar y obtener el borde de la parte en la que se entrecruzan las dos hojas, como se puede observar en la figura 16(e).

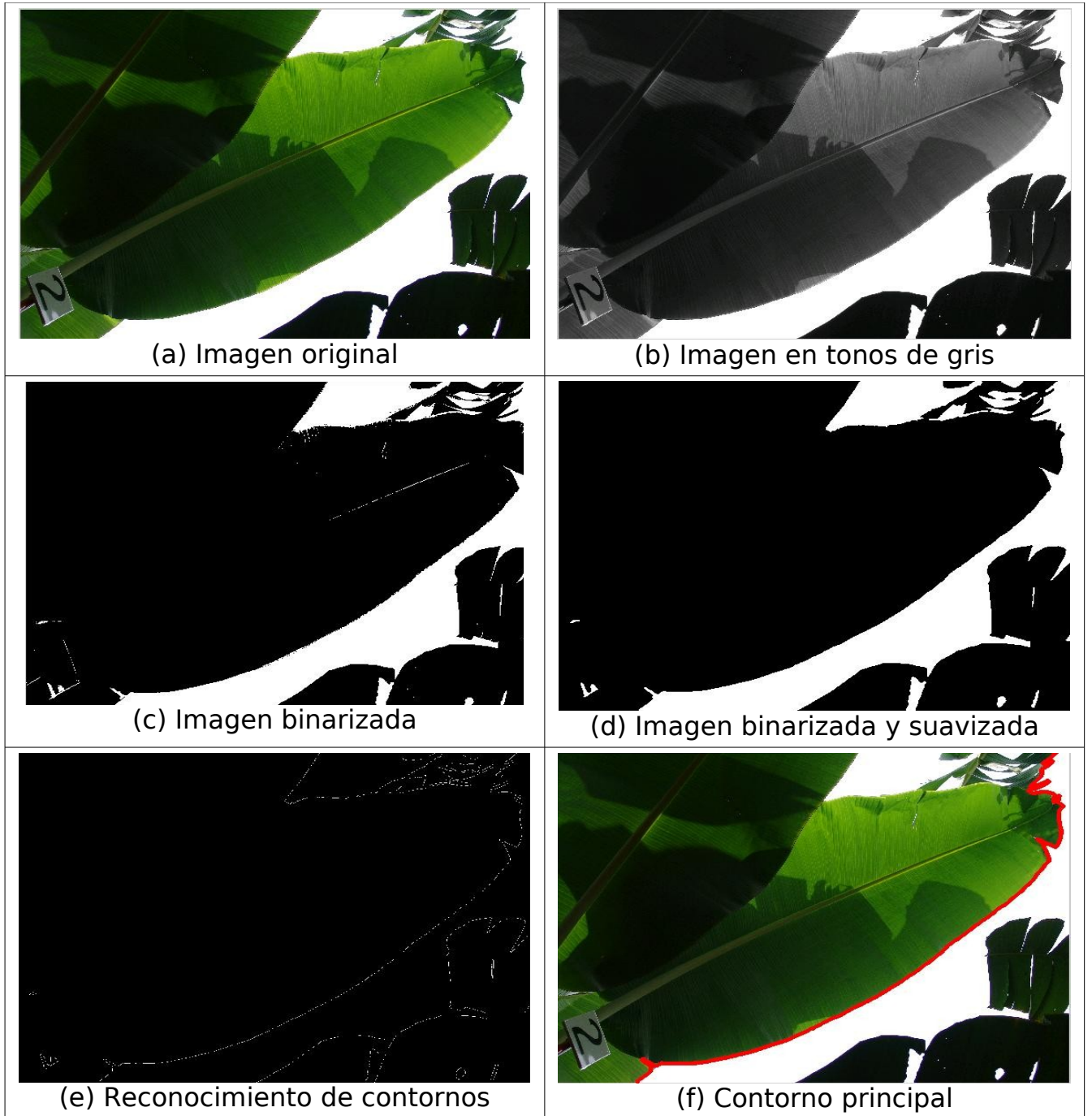


Figura 16. Experimento (b) sobre segmentación usando morfología matemática.

Si se aplica este mismo procedimiento sobre estas imágenes pero ecualizándolas por histograma los resultados son de menor precisión.

Por otra parte los resultados presentados en las figuras 14, 15 y 16, muestran que los resultados de estos procesos son muy erráticos y dependientes de las imágenes de entrada. Esto puede deberse a que la información de las imágenes, primero es producida bajo condiciones no controladas y segundo por las variaciones de luz, dirección del origen de la luz (luz directa o a contra luz), así como los efectos de sombras, es muy difusa y se hace necesario contar con la información de los colores y toda la gama de estos para lograr precisar mejor los diversos contornos de los objetos que se encuentran en las imágenes.

4.2.3 Etapa 3

Para probar la segmentación de las imágenes utilizando la información del color se realizaron experimentos usando segmentación lingüística del color mediante un modelo Bayesiano jerárquico (Alarcón 2007).

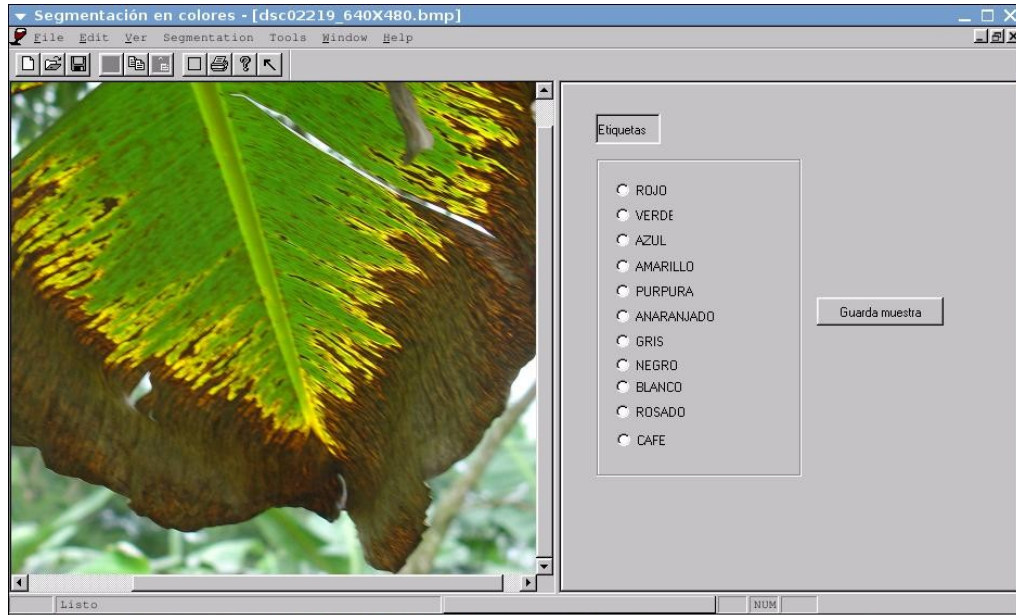


Figura 17. Software entrenador con base en segmentación lingüística del color mediante un modelo bayesiano jerárquico.

En la figura 17 se presenta la interfaz de usuario que se emplea para entrenar el color. En este caso se utiliza la paleta tradicional de los colores, pero cada uno

recoge información de una amplia gama de cada color, así que no se trabajó con un color fijo.

Un valor que resultó muy importante para este método fue el cálculo de la entropía, puesto que aquí se necesitó obtener el vector de verosimilitud calculado como una aproximación de una distribución de probabilidad $P(r)$ para cada punto del espacio (espacio RGB). Así la entropía se obtuvo de:

$$Entropía(r) = - \sum_{k=1}^{11} P_k(r) \log(P_k(r)) \quad (\text{Alarcón, 2007})$$

En la figura 18 se muestran los resultados de aplicar el método desarrollado por Alarcón (2007). En la figura 18(a) se observa la imagen original de una hoja de plátano y en la figura 18(b) se observa el resultado. El método es capaz de separar las secciones más dañadas, así como separar la vena central de la hoja, sin embargo no logra la mayor precisión cuando debe separar lesiones pequeñas. Tampoco se logra separar una hoja de la otra, pero si permite hacer una segmentación total del follaje y del fondo de la imagen.

Para profundizar en la discusión de todo el método empleado para estos experimentos se puede ver Alarcon (2007).

Sin embargo es importante señalar que el trabajo parte de que la concepción de que existen tres receptores de luz en la retina (uno para el rojo, otro para el azul y otro para el verde) es insuficiente y así, Alarcón (2007) señala que *“esto contradice el fenómeno de contraste, que explica como el color percibido en un punto está determinado no sólo por la cualidad de la luz incidente, sino también por el contexto.”* Así que por eso, indica Alarcón (2007) citando a Hering, *“es que se postula la existencia de tres pares de variables: Y-B (amarillo-azul), R-G (rojo-*

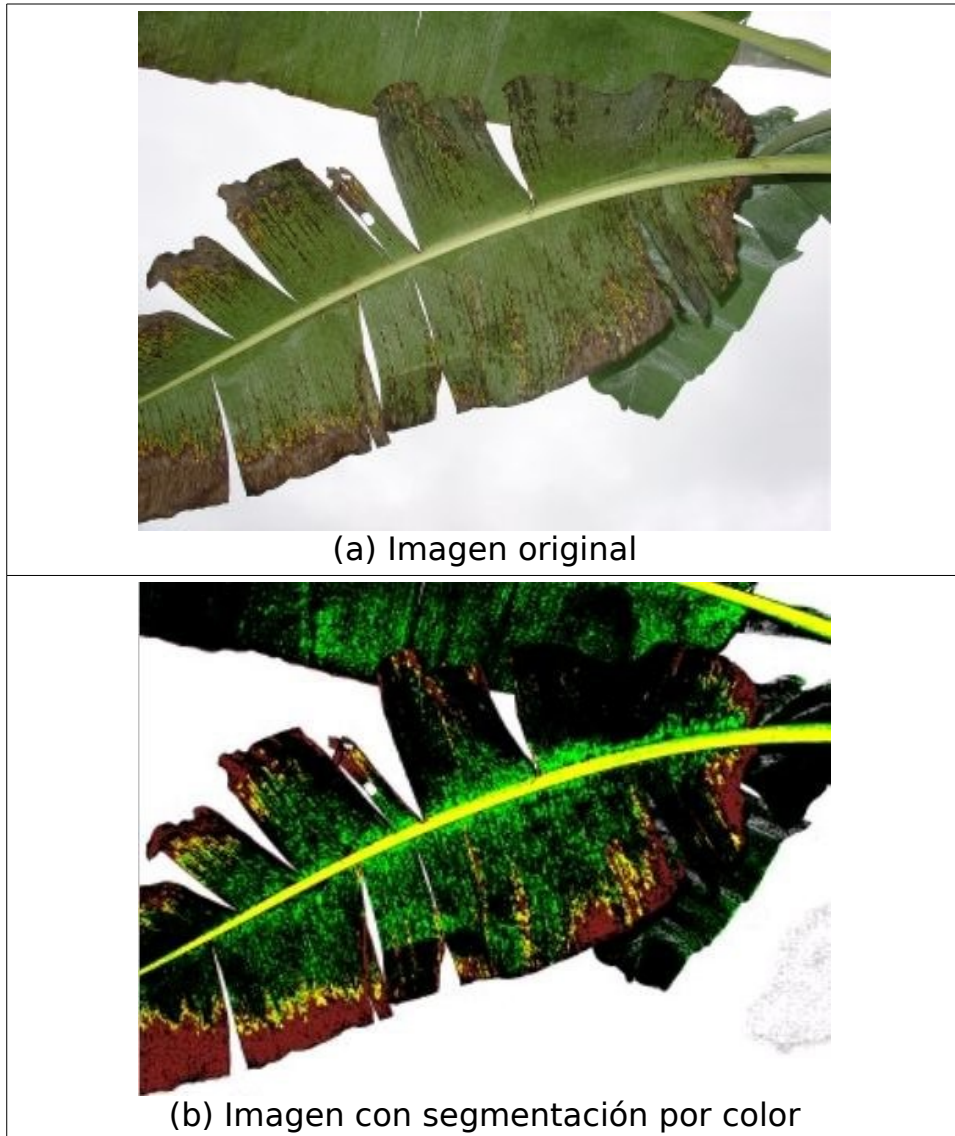


Figura 18. Segmentación de los diversos elementos de una hoja de plátano por medio del método de Alarcón (2007).

verde) y W-Bk (blanco-negro.)". Además señala que "estas variables representan las respuestas de tres procesos de oposición, que tenía lugar durante la percepción."

4.3 Reprogramación de SiMu

Con el trabajo que se presenta en las secciones 4.1 y 4.2 de este trabajo a quedado claro que la posibilidad de utilizar la tecnología de Visión por computadora para medir la severidad de la sigatoka negra en platano, tomando imágenes con cámaras comerciales y siguiendo la técnica propuesta por Gauhl (1990), presenta problemas que no se podrán solucionar en el corto plazo. Entre los problemas el más relevante para su aplicación en el corto plazo está la situación de que para recolectar la información (filmación de imágenes) se requiere más tiempo y más recurso humano, tal y como se explicó en la sección 4.1. Pero además todavía no se ha logrado encontrar la algoritmia necesaria para reproducir lo que hace el hombre cuando valora el grado de daño producido por la sigatoka negra luego de observar las hojas de una planta de banano.

En la literatura de publicación reciente se ha abordado este problema (segmentación, descripción y representación, y reconocimiento e interpretación de hojas de plantas de uso agrícola) para aplicaciones en donde se trata de reconocer con visión por computador diferentes follajes para distinguirlos y así reconocer especies. (Camargo et al; 2006b) En este caso se ha usado algoritmos genéticos para hacer la segmentación. La estrategia utilizada se basa en buscar y etiquetar todos los componentes conectados del follaje en la imagen, los que se identifican y unen con un algoritmo de cluster de color verde de Gustafsen-Kessel (Gustafsen-Kessel green color cluster algorithm). Sin embargo esta tecnología quedó fuera de este estudio.

Por eso se consideró más apropiado concentrarse en un trabajo que permitiera poner a disposición de los agricultores el sistema SiMu a corto plazo y se orientó el esfuerzo a reprogramar la aplicación para que esta se basara en tecnología con licencias de software libre.

Hay que recordar que SiMu fue desarrollado inicialmente con tecnología

desarrollada por Microsoft, esta tecnología fue variada por esta empresa y se tuvo que hacer el esfuerzo de actualizarlo para que empleara la nueva versión de tecnología web, que se conoce usualmente como .NET.

Luego de este esfuerzo se ha enfrentado el problema de que esta empresa volvió a variar su tecnología, esta vez el cambio más importante es su nuevo sistema operativo, conocido popularmente como Vista y con el cual los usuarios han enfrentado una gran cantidad de problemas.

En paralelo a esta situación se ha venido dando un proceso de consolidación de la tecnología que genéricamente se conoce como Software Libre, la cual encuentra su máxima expresión con el sistema operativo denominado GNU/Linux. Alrededor de este sistema operativo se han desarrollado otros productos que han adoptado la misma estrategia de desarrollo y de publicación, los cuales han llegado a consolidarse y presentan la ventaja de ser sumamente estables, sobre todo porque su desarrollo es público, en el sentido de que las razones para los cambios que sufren y sobre todo las soluciones que se adoptan, son definidos por paneles de expertos que hacen público su trabajo, pero que además tiene la consideración de hacer avanzar los productos conservando las bases anteriores del mismo, de manera que casi nunca una aplicación queda fuera.

Otro asunto de suma trascendencia de este tipo de software es que la forma en que se publica y licencia está basado principalmente en las ideas que defiende la organización Free Software Foundation (FSF). Estas condiciones tiene que ver con las capacidades que tiene los usuarios para usar, compartir, mejorar y modificar los productos con licencias de software libre. Así la FSF define, según Estepa Nieto, (2007) que estos productos deben garantizar:

1. La libertad de usar el programa, con cualquier propósito.
2. La libertad de estudiar cómo funciona el programa, y adaptarlo a sus

necesidades. El acceso al código fuente es una condición previa para esto.

3. La libertad de distribuir copias, con lo que puedes ayudar a tu vecino.
4. La libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie. El acceso al código fuente es un requisito previo para esto.

Así alrededor de estas cuatro ideas fundamentales se desarrollan muchos tipos de licencias de software, pero como indica la primera condición, debe existir libertad para usarlo para cualquier propósito. Esto quiere decir que si las herramientas que se utilizan para hacer o crear un software, tiene una licencia que cumpla esos requisitos, el producto desarrollado no tiene, en ningún sentido, restricción de uso y por tanto el producto creado con base a ellas puede o no ser libre y puede o no ser vendido, todo depende de los creadores. Incluso los creadores pueden poner una licencia privativa si es de su gusto aunque esto casi nunca sucede.

SiMu es una aplicación de software que requiere, para usarse, de crear un servidor que debe proveer por lo menos dos servicios, el primero tiene que ver con el servicio de servidor de internet y dado que es un sistema con programas de páginas activas con un volumen de transacciones de datos importante, también debe implementarse el servicio de servidor de base de datos. Entonces originalmente usaba IIS y SQL Server de Microsoft.

En el ambiente de software libre existen dos proyectos que permiten sustituir totalmente las funcionalidades de eso dos productos, estos son respectivamente Apache y MySQL, y aunque no son los únicos, si tiene una gran aceptación. Por ejemplo Apache¹⁰ es el servidor de Internet más usado en el mundo y MySql es un manejador que soporta prácticamente las mismas prestaciones que tiene SQL-

¹⁰<http://sistemasoperativos.wordpress.com/2007/10/12/servidores-web-estadisticas-de-uso-octubre-2007/>

Server.

Por otra parte SiMu se desarrolló para que empleara los servicios de un sistema administrador de contenidos (SAC) publicado con licencia de software libre pero que no logró seguir desarrollándose, mientras que para Apache se han seguido consolidando los proyectos que publican SACs con licencias de software libre. Entre estos proyectos, uno de los más exitosos es Joomla!¹¹, que cumple con ser código abierto, está construido con PHP bajo una licencia GPL. Este administrador de contenidos se usa para publicar en Internet e intranets utilizando una base de datos MySQL.

Por tanto basado en todas esas consideraciones se decidió reprogramar SiMu con tecnología basada en software libre, así para esto se usó PHP como lenguaje principal para que corra sobre Apache. Para seguir aprovechando los servicios de los SAC se decidió hacer la programación para usar los servicios de Joomla! y como este SAC utiliza MySQL, toda la capa de datos se reimplementó en este servidor de base de datos.

Con este trabajo se logra tener un producto con mayores prestaciones porque por medio de Joomla se pueden agregar componentes que aporte otras aplicaciones relacionadas a SiMu, como crear grupos de usuarios, tener calendarios de noticias y hasta prestar asesorías técnicas por medio de sistemas virtuales y no solo tener la aplicación de SiMu como tal.

No se reprogramó la aplicación de PDA, que corre sobre Windows CE en una Pocket PC. Es un trabajo que quedó pendiente de hacer. Para esta aplicación se deben hacer los programas de la capa de datos para poder sustituir el módulo de SQL Server y hacer la parte de transferencia de datos del PDA a SiMu.

Toda la documentación y el código del SiMu se encuentra en el CD adjunto a este

¹¹ www.joomla.org

documento, sin embargo se hace la anotación de que el producto no pudo ser sometido, a la fecha de este informe, a un proceso de verificación de la calidad, el cual se deberá de ejecutar durante el segundo semestre del 2008.

En la figura 19 se muestra una imagen de la nueva presentación de SiMu, desplegado por medio del SAC, aunque dada la versatilidad de Joomla!, esta interfaz se podrá personalizar con frecuencia, cambiando las plantillas que se utilizaron para este trabajo.

. Simu

Powered by Joomla!™ version 1.0

Inicio

Menú principal

- Inicio
- Noticias
- Contactar
- FAQ
- Administración para usuarios
- Archivos de inicio

Fincas y parcelas

- Fincas
- Parcelas
- Propietarios

Mantenimiento

- Apoptosis vascular
- Especies
- Especies químicas
- Géneros
- Nivel crítico
- Órganos vegetales
- Planes
- Químicos
- Varietades

Muestras

- Análisis de suelos
- Muestras
- Promedio ponderado

Registros de control

- Administrar registros

Menú del usuario

- Detalles de usuario
- Mapa del sitio
- Documentos
- Salir

Formulario de acceso

Hola, invitado

[Salir](#)

Calendario

October 2007

Do	Ll	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

[Ingreso de Nuevo Evento](#)

Reloj

11 12 1

10 9 8 7 6 5 4 3 2

13:29:41

Bienvenidos

Bienvenidos al portal SIMU!!

Este es el sitio de información para musáceas, aquí puede encontrar la mayor información de lo que desea saber relacionado con este tema.

Además a ingresado al sitio oficial para hacer sus análisis y administrar y controlar a tiempo la plaga de la Sigatoka Negra, principalmente.

Características de SIMu para usuarios registrados:

- » Análisis de datos sobre promedio de infección de las plantas.
- » Noticias o artículos relacionados con temas de interés.
- » Llevar registros sobre fechas de fumigación en fincas y parcelas de los usuarios y control de plagas, malezas, enfermedades, nemátodos, entre otros.
- » Facilidad de agregar especies químicas, géneros, agentes causales, entre otros.
- » Obtener recomendaciones cuantitativas después de realizar análisis de suelos.

Le invitamos a que se registre y disfrute de las ventajas de contar con un medio de información y registro de datos personalizado a su medida.

Después de registrarse aparecerá en la izquierda del sitio varios menus en los que encontrará diferentes opciones para que escoja la que desea realizar.

Modificado el (Thursday, 04 de October de 2007)

Figura 19. Nueva presentación de la página principal de SiMu.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1. La tecnología de Visión por Computador es muy prometedora y en muchos campos tiene ya aplicaciones muy bien consolidadas, pero en el campo agrícola y sobre todo para usarla en control de enfermedades, sigue siendo incipiente, pues las aplicaciones siguen sin poderse consolidar por diversas razones.
2. En este trabajo no se logró crear un protocolo de adquisición de imágenes que no consumiera más recursos que el método tradicional, pues tomar las imágenes desde el suelo en una plantación en producción, sea esta de plátano o de banano, requiere como mínimo el doble de mano de obra, si se compara con el método de realizar los muestreos de sigatoka negra usando un PDA y el software de SiMu.
3. No se logró resolver el problema de segmentación de las hojas de plátano, aunque se lograra una aproximación con la aplicación de las técnicas de segmentación lingüística del color mediante un modelo Bayesiano jerárquico.
4. Los métodos en los que se empleó morfología matemática resultaron poco prometedores porque la información de una imagen de follaje de plátano tomada en campo tiene mucha información difusa que podrían ser tratados con más éxito con algoritmos genéticos como el algoritmo de cluster de color verde de Gustafsen-Kessel (Camargo et al, 2006b).
5. El método de recolección de información de campo usando un PDA con el software de SiMu es más recomendable mientras no se logre un proceso de adquisición de imágenes que no consuma tanto recursos.

Recomendaciones

1. Se deben seguir estudiando las técnicas que permitan recolectar imágenes por medios electrónicos que sustituyan, por lo menos en parte, el trabajo humano en la aplicación de los muestreos para el cálculo del PPI (promedio ponderado de infección), por ser este el índice que más se usará para evaluar la severidad de los ataques de sigatoka negra. En particular no se debe descartar la opción de que la toma de imágenes sea por medio de fotografía aérea de baja altura, sobre todo porque este tipo de tecnología va a seguir mejorando en sus capacidades y accesibilidad, pero sobre todo en el precio. Por supuesto no se debe llamar a engaño, porque los costos actuales hacen que su aplicación en pequeños productores sea realmente privativo.
2. Se debe seguir estudiando el problema de la segmentación de hojas, en donde las de plátano y banano pueden ser el punto focal, para que se puedan desarrollar aplicaciones agromáticas que den respuesta a algún grupo de necesidades.
3. Se deben hacer las pruebas de calidad al software recién reprogramado de SiMu y rehacer la aplicación de PDA para la ejecución de los muestros en campo, pues ambas tareas quedaron pendientes.
4. Sería conveniente para una fase más de trabajo hacer un esfuerzo para ampliar las capacidades de SiMu, agregando componentes sobre el SAC y sobre todo desarrollando un módulo que permite coleccionar y procesar la información de corte administrativo que se genera en las fincas. Esto tendría como fin el ampliar las capacidades de SiMu y mejorar la prestación de servicios que tiene a disposición los pequeños y medianos agricultores.

6. Aportes y alcances

Los aportes más importantes de este trabajo se pueden ver en dos vertientes. La primera es que trata de acercar la alta tecnología a una de las áreas más atrasadas, como lo es la producción agrícola. Pero además trató de aplicar alta tecnología de IT¹² a un problema que tiene los pequeños y medianos productores agrícolas.

A pesar de que el trabajo no tiene avances concluyentes, si se pudo verificar que al corto plazo la implementación actual de SiMu es mejor alternativa, sobre todo porque la recolección de la información para estimar la severidad de la sigatoka negra se digita en un PDA y esto permite pasar la información del campo a sistema casi de forma inmediata.

Además la reprogramación de SiMu con herramientas de software libre y que su base de operación se sustente en un servidor web, en un sistema manejador de bases de datos y un sistema de administración de contenidos con licencias de software libre, hace que el programa sea totalmente accesible a las organizaciones de pequeños productores y hasta a los medianos productores. Esta condición hace que los usuarios solo tengan que preocuparse en el financiamiento de un equipo PC que sea posible usar como servidor y un PDA. Si el software se hubiese dejado como estaba desarrollado, los costos se duplicarían o triplicarían, pues se tendría que adquirir licencias del sistema operativo, del sistema de administración de contenidos y del manejador de bases de datos.

Entre los alcances lo más significativo es la publicación de un artículo en Tecnología en Marcha titulado La medición y vigilancias de la enfermedad de la mancha foliar producida por la sigatoka negra (*Mycosphaella fijiensis* var *diformis* Morelet) en la producción de musáceas: un enfoque para lograr la sostenibilidad del desarrollo y que aparece en el volumen 21-1 de enero-marzo del 2008.

12 IT se usa para Tecnología de la Información.

7. Bibliografía

- Alarcón, T. E. 2007. Segmentación lingüística del color mediante un modelo Bayesiano jerárquico, Ph D, Centro de Investigación en Matemáticas, CIMAT, Guanajuato, México, marzo 2007.
- Álvarez, J. Francisco. 2001. Capacidades, libertades y desarrollo: Amartya Kumar Sen , www.uned.es/dpto_log/jalvarez/publicaciones/sen2001.pdf p.2 (11-09-2007)
- Alvardo, Pablo. 2004. Segmentation of color images for interactive 3D object retrieval, , Tesis Ph.D., Aachen, DE, RWTH-Aachen, 188 p.
- Camargo, J., Meyer, G., Jones, D., 2006a. Individual leaf extractions from young canopy images using Gustafson–Kessel clustering and a genetic algorithm, *Computers and Electronics in agriculture*, 51(2006) 66-85
- Camargo J., Meyer G., Jones D., Samal A. 2006b. Plant species identification using Elliptic Fourier leaf shape analysis. *Computers and Electronics in Agriculture* 50 (2006) 121–134
- Castells, M. 1996 *The Information Age: Economy, Society and Culture, Vol. 1: The Rise of the Network Society*, Blackwell, Malden, Massachusetts, 1996 (reimp. 1997; segunda ed., 2000). Traducción castellana, *La era de la información. Economía, sociedad y cultura, Vol. 1: La sociedad red*, Alianza Editorial, Madrid.
- _____, 1997, *The Information Age: Economy, Society and Culture, Vol. 2: The Power of Identity*, Blackwell, Malden, Massachusetts, 1997. Traducción castellana, *La era de la información. Economía, sociedad y cultura, Vol. 2;*

El poder de la identidad, Alianza Editorial, Madrid.

_____, 1998, The Information Age: Economy, Society and Culture, Vol. 3: End of Millenium, Blackwell, Malden, Massachusetts, 1998 (segunda ed., 2000). Traducción castellana, La era de la información. Economía, sociedad y cultura, Vol. 2; El fin del milenio, Alianza Editorial, Madrid.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). 1999. Informe Final: "Reingeniería de la Transferencia de Tecnología en el Cultivo del Plátano como Consecuencia de la Llegada de la Sigatoka Negra a los Llanos Orientales". Proyecto PRONATTA 952850070. Villacencio. Colombia. 27 p.

Cook, S.E., et al., 2003. Is precision agriculture irrelevant to developing countries? Paper presented at the European Conference on Precision Agriculture, 4th ECPA in Berlin/Germany June 15 to 19, 2003

Cootes, T. et al. (1995) Active shape models - their training and application. Computer Vision and Image Understanding. 61(1):38-59

Defensoría de los Habitantes. 2007. Consulta de Constitucionalidad de la Defensora de los Habitantes de Costa Rica del Proyecto de Ley Nº 16047, Tratado de Libre Comercio con República Dominicana, Centroamérica y Estados Unidos. www.dhr.go.cr/descargas/07-5632-007-co.pdf (11/09/07)

Gauhl, F. 1990. Epidemiología y Ecología de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*, Morelet) en Plátano (*Musa* sp). en Costa Rica, UPEB, Panamá

Gonzalez, R. y Wood, R. 2001. Digital Image Processing. New Jersey. Prentice-Hall, Segunda Edición. 793 p.

- Jähne, B. 2002. Digital image processing: with CD-ROM. 5^o edición. Berling. editorial Springer. 585 p.
- Jegert, M.J., Wallet, J.M., Johansons, A. y Gowen, S.R. 1996. Monitoring in banana pest management. *Crop Protection* 15(4):391-397
- Muñoz, C. et al. 2000. Factores socioeconómicos que influyen en la producción y comercialización de plataneros en la zona Huetar Norte de Costa Rica. *Sistemas de estudios de posgrado en Producción Sostenible de Cultivos Tropicales*. Universidad de Costa Rica. San Pedro. 58 p.
- Muñoz, C. y Guzman, T. 2007, Producción sostenible en plátano con bajos insumos en la zona norte de Costa Rica, *Tecnología en Marcha*, 20(2):21-31
- Muñoz, C. y Vargas, E. 2000. ANTEPROYECTO: Manejo químico de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* var *diformis* Morelet) en plátano curraré (*Musa AAB*) en la zona de San Carlos y elaboración de un sistema de información computacional para el manejo técnico de plantaciones de musáceas. Cartago. Costa Rica. VIE. ITCR. 26 p.
- _____. 2003. Informe Final: Manejo químico de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* var *diformis* Morelet) en plátano curraré (*Musa AAB*) en la zona de San Carlos y elaboración de un sistema de información computacional para el manejo técnico de plantaciones de musáceas. Cartago. Costa Rica. VIE. ITCR. 1 v.
- _____. 2003b. Informe Final: Manejo químico de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* var *diformis* Morelet) en plátano curraré (*Musa AAB*) en la zona de San Carlos y elaboración de un sistema de información computacional para el manejo técnico de plantaciones de musáceas. Cartago. Costa Rica.

VIE. ITCR. 2 v.

- Oberthür, T., Cock, J., Andersson MS., Naranjo, RN. Castañeda, D., Blair, M., 2007. Acquisiton of low altitude digital imagery for local monitoring and management of genetic resources, *Computers and Electronics in Agriculture* 58(2007)20-77
- Ortiz, R., Lopez, A., Ponchner S. y Segura, A. 1999. El cultivo del banano. San José, Costa Rica. EUNED. 186 p.
- Pahl, G. y Beitz, W. 1996. *Engineering Design. A Systematic Approach.*, Second Edition, Springer Verlag.
- Pratt, W. 2001. *Digital Image Processing: PIKS Inside.* New York. Wiley. Tercera Edición. 738 p.
- Stoorvogel, J.J., Verhoeven, R., van Leeuwen, H., Orlich, R. 2001. AeroBanMan: the aerial detection of plant distributions and fungus infection for precision banana management. Final Report BCRS project 3.2/IM-03, Laboratory of Soil Science and Geology, Wageningen UR.
- Stover, R.H., 1971. A proposed international scale for estimating intensity of Banana Leaf Spot (*Mycosphaerella musicola* Leach). *Trop. Agric. Trinidad*, 48:185-196
- Ushada, M. Murase, H., Fukuda, H. 2007. Non-destructive sensing and its model for canopy parameters using texture analysis and artificial neural network. *Computers and Electronics in Agriculture* 57(2007) 149-165
- Vargas, E; Muñoz, C; Mendez, A; Gamboa, V; Viquez, L. 2004. ANTEPROYECTO:

Monitoreo asistido de Plantaciones Agrícolas: Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* var *diformis* Morelet) en plátano. Cartago. Costa Rica. VIE. ITCR

_____. 2004 Informe de Avance: Monitoreo asistido de Plantaciones Agrícolas: Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* var *diformis* Morelet) en plátano. Cartago. Costa Rica. VIE. ITCR

Vargas, E. 2006. Monitoreo asistido de Plantaciones Agrícolas: Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* var *diformis* Morelet) en plátano. Informe sin publicar. ITCR

Webster's Online Dictionary, 2007. <http://www.websters-online-dictionary.org/definition/information+technology>, (21/09/07)

