

# UTILIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA DETERMINAR LA SEVERIDAD DE LA MANCHA DE HIERRO , EN HOJAS DE CAFÉ

Óscar A. Guzmán P.\*; Edwin O. Gómez G.\*\*; Carlos A. Rivillas Osorio\*\*\*; Carlos E. Oliveros Tascón\*\*\*\*

---

## RESUMEN

**GUZMÁN P., Ó.A.; GÓMEZ G., E.O.; RIVILLAS O., C.A.; OLIVEROS T., C.E. Utilización del procesamiento de imágenes para determinar la severidad de La Mancha de Hierro del Cafeto, en hojas de café. Cenicafé (54(3):258-265.2003**

Mediante al utilización del programa Matlab, versión 5.3. que incluye técnicas de procesamiento de imágenes y reconocimiento por color, se realizó un programa analizador de imagen para medir la severidad de la mancha de hierro del cafeto, enfermedad causada por *Cercospora coffeicola* Berk y Cook en hojas del cafeto. La utilización y adopción de este programa permite conocer con mayor precisión y rapidez el área foliar de plantas de café y el área afectada por esta enfermedad o la producida por algún otro disturbio fitosanitario, permitiendo obtener resultados más confiables que pueden ser reproducibles en otras investigaciones.

**Palabras claves:** Programa analizador de imagen, mancha de hierro, severidad, *Cercosporacoffeicola*.

---

## ABSTRACT

Using the Matlab program, version 5.3, that includes techniques of image processing and color recognition a program of image analysis in order to quantify the severity of Iron Spot in Coffee leaves, a disease caused by *Cercospora coffeicola* Berk and Cook. Both, use and adoption of this program permit to know with more precision and quickness the coffee leaf surface area and the total area affected by this disease or on the severity caused by other pathogenic agent. This program allowed to more reliable results that may be used in other researches.

**Keywords:** Program of image analysis, iron spot disease, severity, *Cercospora coffeicola*.

---

\* Ingeniero Agrónomo. Investigador Asociado. Fitopatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

\*\* Ingeniero Electrónico

\*\*\* Ingeniero Agrónomo. Asistente de Investigación. Fitopatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

\*\*\*\* Investigador Principal I. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La cuantificación de la severidad producida por una enfermedad en una planta es el centro de evaluación de la interacción entre el hospedante y el patógeno (19). El tejido de las plantas dañado o enfermo normalmente presenta una alteración de color comparado con el tejido sano. Estos cambios (áreas, formas, coloraciones, etc) pueden ser evaluados utilizando el procesamiento de imágenes, empleando una cámara fotográfica digital o digitalizando fotografías en papel, software apropiado y un computador. Actualmente, algunos autores han utilizado éste procedimiento con fines biológicos (16).

En estudios sobre nutrición, biología, patología, mejoramiento genético (búsqueda de variedades con resistencia parcial a algunos patógenos) y manejo de enfermedades, se han empleado métodos visuales que permiten estimar el área del tejido enfermo usando escalas de desarrollo de las enfermedades o diagramas estándares de severidad (16, 19, 22, 23). Por mucho tiempo, estas evaluaciones visuales han sido empleadas por ser rápidas, flexibles y muchas veces satisfactorias; sin embargo, presentan varias desventajas, entre ellas, no permiten hacer mediciones precisas, repetibles y con alto nivel de discriminación (14, 16, 18, 21, 23, 24). Los métodos usados en la cuantificación de severidad de enfermedades que permitan un mejor entendimiento de éstas, preferiblemente deben ser simples, baratos, rápidos, flexibles, precisos, exactos y reproducibles (4, 5, 19, 23).

Una sola lesión sobre un tejido puede ser suficiente para determinar incidencia, pero no es tan severa o distintiva como la presencia de varias lesiones que pueden provocar el necrosamiento o muerte del tejido atacado. Allí radica la importancia de estimar la severidad de una enfermedad (5).

La resistencia parcial es expresada a través de uno o más componentes de resistencia, tales como los períodos de incubación y de latencia,

frecuencia de la infección, tamaño de la lesión y producción de esporas. El procesamiento de imágenes puede establecerse como método de evaluación de los componentes de frecuencia de infección, tamaño de lesión y producción de esporas. Todos estos componentes son de importancia para la selección de especies de plantas con resistencia parcial (16).

En Cenicafé, la Disciplina de Fitopatología ha venido empleando esta tecnología en el estudio y manejo de algunas enfermedades. La medición del cubrimiento de hojas de café, luego de aplicar colorantes y fungicidas cúpricos, se evaluó con el fin de relacionar el número de gotas por  $\text{cm}^2$  y su tamaño para el manejo de la roya del cafeto (25). También se estudio el cubrimiento de aplicaciones de fungicidas en zocas de café para el control de la llaga macana del cafeto (10) y recientemente, se empleó esta metodología en la evaluación física de dos prototipos para la aplicación de productos biológicos en almacigos de café (15).

La mancha de hierro del cafeto causada por el hongo *C. coffeicola* es una enfermedad importante en Colombia, especialmente bajo condiciones de libre exposición solar y deficiente estado nutricional. Ésta, afecta la planta en todos sus estados de desarrollo, desde las hojas en las cuales produce pequeñas lesiones circulares de color pardo claro o marrón rojizo, de 1 a 3 mm de diámetro aproximadamente, hasta los frutos donde produce pérdidas de peso, deterioro de la calidad, producción de un alto porcentaje de café pasilla y conversión deficiente (3, 4, 7, 8, 9, 10, 17).

### **Metodologías tradicionales de evaluación de la mancha de hierro en hojas de café.**

Para la evaluación del índice de infección de la mancha de hierro en hojas de café se han utilizado dos metodologías. La primera, es la fórmula propuesta por Grangier (13)\*, y la segunda es una escala de medición de áreas

propuesta por Villegas (26) (Figura 1), para la evaluación del índice de infección de la roya del café, y utilizada para evaluar la severidad producida por la enfermedad denominada la mancha de hierro. Estas metodologías han sido utilizadas en investigaciones relacionadas con el manejo de la enfermedad en almácigo y el efecto de la fertilización en la incidencia y severidad de la misma (2, 6, 9, 10).

Al momento de valorar la mancha de hierro, la primera metodología sólo tiene en cuenta el número de manchas por hoja sin importar su tamaño, siendo este parámetro sumamente importante para determinar la severidad de la enfermedad en la planta (evaluación subjetiva). La segunda, carece de precisión porque al momento de evaluar el área, la lesión no es completamente circular y no coincide por tanto, con los círculos de la escala. Además, pueden existir diferencias en la medición de las áreas

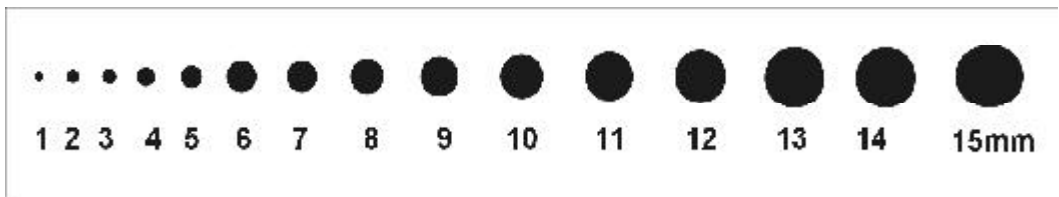
entre evaluadores, por tratarse de una estimación subjetiva. Por todo lo anterior, en este artículo se desea presentar una metodología basada en la técnica del procesamiento de imágenes la cual permite medir con mayor precisión y rapidez la severidad (proporción de tejido enfermo sobre tejido sano) de la mancha de hierro del café (*C. coffeicola*) en hojas, para de esta forma, obtener resultados más exactos que puedan ser reproducibles en futuras investigaciones.

**Primera metodología:**

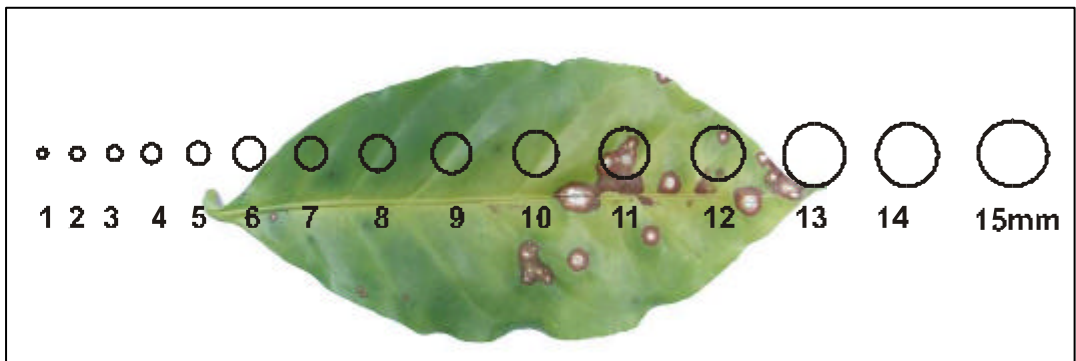
$$* \text{Índice de Infección} = \frac{\text{N}^\circ \text{ manchas} \times \text{N}^\circ \text{ hojas enfermas}}{\text{N}^\circ \text{ total de hojas}}$$

**Segunda metodología:**

Como se aprecia en la Figura 2, las lesiones de la mancha de hierro del café en una hoja



**Figura 1.** Escala de medición de áreas propuesta por Villegas (26).



**Figura 2.** Escala de medición de áreas superpuestas en una hoja de café afectada por la mancha de hierro.

no son completamente circulares y cuando se presentan varias en la misma lámina foliar, estas pueden coalescer y tomar la apariencia de una lesión de forma irregular, por tal motivo, al momento de superponer la escala con los círculos en la hoja afectada ésta no coincide con las lesiones de la hoja enferma, lo cual conlleva a la obtención de resultados imprecisos.

**Adquisición de imagen.** Para determinar el área de la hoja y el área afectada por la mancha de hierro del cafeto y así conocer su severidad, se fotografiaron individualmente las hojas por la haz con una cámara digital OLYMPUS CAMELIA DIGITAL C- 3040 ZOOM (20). Antes de tomar las fotografías, a la cámara se le ajustó el disco de modo "A/S/M" (modos de imágenes fijas) y en éste se seleccionó "el modo manual", en el menú de imágenes fijas. Posteriormente, en el panel de control, para enfocar sujetos en primeros planos (modo macro) se presionó repetidas veces el botón (puntual/macro) hasta que apareció el modo macro. Debido a que se efectuaron tomas con acercamiento completo de la cámara, se fotografió a distancias de 20 a 80cm del objeto, de manera que una tarjeta de presentación llenará todo el cuadro.

Así mismo, como en éste modo el área fotografiada difiere ligeramente del área visible a través del visor, se utilizó el monitor como visor. No se utilizó el flash en el modo macro porque producía una sombra evidente que afecta la calidad de las fotos. La compensación de la exposición correcta para las fotografías, la cual cambia el brillo de la imagen en el monitor, tuvo un ajuste de  $0 \pm 0,3$  (OLYMPUS®, S.F.).

Dado que los algoritmos de clasificación y medición no precisaron una resolución alta, el modo de grabación se pudo ajustar en SQ2 en la opción normal, permitiendo guardar más imágenes en la tarjeta SmartMedia, con una resolución de 640 x 480 (OLYMPUS®, S.F.). Para mantener la buena calidad, las fotografías se tomaron en presencia de luz difusa (luz del día sin que interfirieran los rayos solares).

Al momento de tomar las fotografías, la hoja de café (adherida o desprendida de la planta), se sobrepuso en una hoja de papel blanca con un cuadrado de 1 cm<sup>2</sup> de color azul con el propósito de que el programa relacione el área de la hoja y la lesión con el cuadrado (Figura 3).



**Figura 3.**  
Fotografías de hojas de café sobrepuestas en una hoja de papel de color blanco con un cuadrado de 1 cm<sup>2</sup> de color azul.

### Diseño del programa para reconocimiento de la mancha de hierro y medición de áreas.

Las fotografías guardadas en la cámara se descargaron para analizarlas en una estación de trabajo Dell precisión 410, utilizando un programa que incluyó técnicas de procesamiento de imágenes y reconocimiento por color. Este programa fue escrito mediante el módulo de procesamiento de imágenes de Matlab, versión 5.3.

Para el reconocimiento de la hoja y el patrón de medida (rectángulo de 1cmx1cm), se usó una umbralización simple en el plano de saturación de la imagen de la hoja. El umbral normalizado lo determinó el usuario del programa usando como ayuda el histograma de este plano.

Para reconocer la zona necrótica de color pardo, se usó un clasificador estadístico que escogía la mínima distancia de Mahalanobis (1), similar al establecido por Gómez (12) para reconocer frutos maduros de café, pero para cuatro clases y con umbral 0.

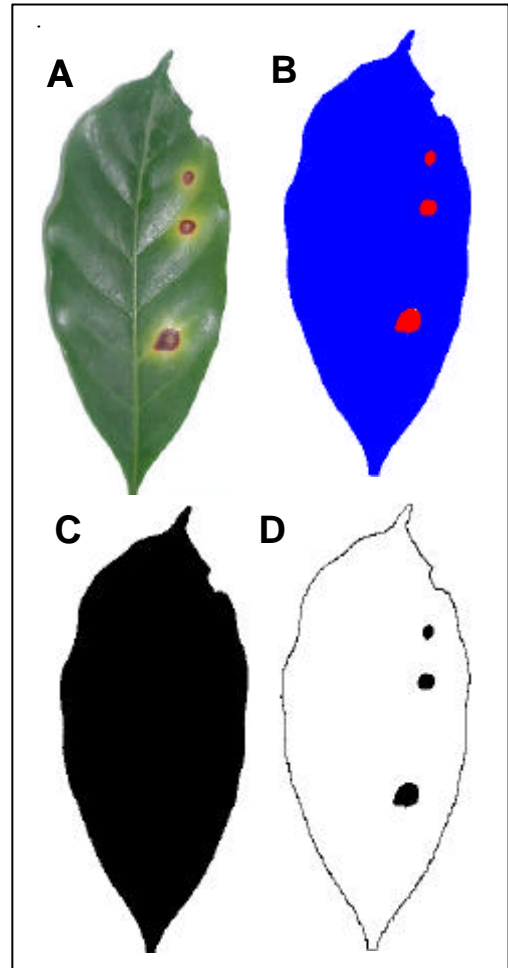
Los parámetros media y matriz de covarianza de las clases se obtuvieron a partir de una imagen etiquetada como: hoja, fondo, halo amarillo y zona necrótica.

Las zonas elegidas como hoja o tejido necrótico se rellenaron con una función morfológica, para evitar vacíos internos en las regiones clasificadas.

La Figura 4A muestra la hoja de café afectada por la mancha de hierro; la Figura 4B ilustra la manera como se etiquetó esta imagen para entrenar el clasificador que reconoce el área afectada por la enfermedad; la Figura 4C registra lo que el programa reconoce como área de la hoja y la Figura 4D presenta lo que el programa reconoce como área de lesiones.

Con el fin de excluir falsos positivos e incluir falsos negativos en el reconocimiento de la hoja y la zona necrótica se establecieron ayudas para que el usuario definiera regiones de interés en ambos casos.

Estas ayudas permitieron excluir zonas u objetos, e incluir zonas usando reglas lógicas



**Figura 4.** A. Hoja de café afectada por la mancha de hierro. B. Hoja de café que ilustra la manera como se etiquetó esta imagen para entrenar el clasificador. C. Reconocimiento que hace el programa como área de la hoja y D. Reconocimiento que hace el programa como área de lesiones.

aplicadas a las imágenes binarias de clasificación que facilitaron la corrección por parte del usuario de los principales errores de clasificación.

Se incluyó la medición del área de un cuadrado de 1cmx1cm, para usarlo como patrón y establecer la relación entre el área medida por Matlab en pixeles cuadrados y las unidades de medida deseadas. De esta forma el programa determina el área de la hoja y el área afectada por la enfermedad en cm<sup>2</sup>.

El patrón de medida debe ser señalado por el usuario determinando una región de interés que incluya el cuadrado.

El cálculo del porcentaje total se calculó como el cociente entre el área necrótica (ecuación << 1 >>) y el área total de la hoja y el porcentaje de severidad (5), se estimó como el área necrótica sobre el área sana (ecuación << 2 >>).

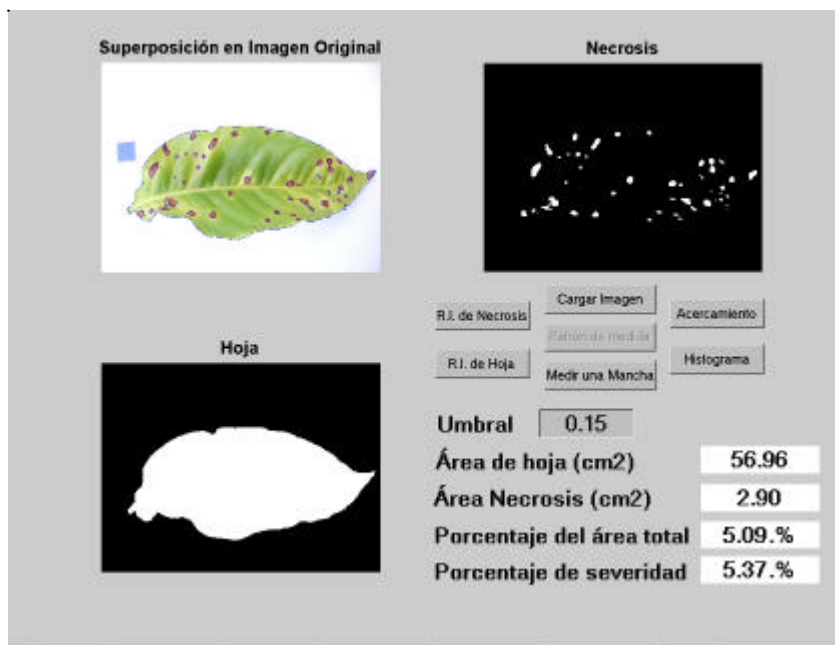
$$\text{Porcentaje total} = \frac{\text{Área necrótica}}{\text{Área total de la hoja}} \quad \ll 1 \gg$$

$$\text{Porcentaje de severidad} = \frac{\text{Área necrótica}}{\text{Área sana}} = \frac{\text{Área necrótica}}{\text{Área total de la hoja} - \text{Área necrótica}} \quad \ll 2 \gg$$

**Uso del analizador de imágenes.** Para ingresar al programa, se digita la orden “mh” en la ventana de órdenes de Matlab.

La ventana principal del programa (Figura 5) muestra tres imágenes:

- La primera, es una superposición, en azul, de los bordes de las zonas reconocidas como



hoja y área enferma sobre la imagen original cargada de la base de datos.

■ La segunda, son las necrosis producidas por la mancha de hierro en la hoja u otra causa, las cuales se presentan blancas sobre un fondo negro.

■ La tercera, la hoja blanca completa, donde se muestra lo que el programa está reconociendo como área de la hoja.

Así mismo, la ventana principal del programa muestra siete botones que permiten:

- Primer botón: cargar imágenes de una base de datos, seleccionando la fotografía que se desea evaluar.

- Segundo botón: un acercamiento a la fotografía para observar con mayor detalle y lograr mayor precisión en la selección de la región de interés de la necrosis y de la hoja.

- Tercer botón: obtención de un histograma que facilita la determinación del umbral de clasificación de la superficie de la hoja y la lesión.

- Cuarto botón: asignación de un patrón de medida para que el programa calcule el área de la hoja y de la lesión, relacionándolas con el área de un cuadrado de  $1\text{cm}^2$  (blanco).

- Quinto botón: selección de la región de interés de necrosis que permite ubicar las lesiones producidas por la mancha de hierro y descartar las que no son lesiones (incluyendo o excluyendo zonas u objetos).

- Sexto botón: medir una mancha, esto permite conocer el área de una o varias lesiones sin conocer el área de todas las lesiones.

- Séptimo botón: región de interés de la hoja que permite seleccionar el área real de la hoja y descartar la que no lo es, incluyendo o excluyendo zonas u objetos.

Debajo de estos botones aparecen los valores del umbral, el área de la hoja ( $\text{cm}^2$ ), el área de la necrosis ( $\text{cm}^2$ ), el porcentaje del área total que es la relación entre el área de la necrosis y el área total de la hoja x 100 y el porcentaje de severidad que es la relación entre el área de la necrosis y el área sana de la hoja x 100.

Esta nueva técnica podrá utilizarse en trabajos de investigación que requieren conocer con mayor precisión, rapidez y objetividad la severidad de la mancha de hierro del caféto (*C. coffeicola*) en hojas, obteniéndose resultados más exactos que pueden ser reproducibles en futuras investigaciones. Así mismo, esta es una herramienta promisoría en la evaluación de la severidad de otras enfermedades del cultivo de café u otros cultivos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento a COLCIENCIAS.

## LITERATURA CITADA

1. BISHOP, C. M. Neural networks for pattern recognition. Oxford, Oxford Clarendon Press, 1996. p. 35.
2. CADENA G., G. Uso de la pulpa de café para el control de la mancha de hierro *Cercospora coffeicola* Berk y Cooke, en almácigos. Cenicafé 33(3): 76-90. 1982.
3. CARNEIRO, J.G. "Mancha do olho pardo" da folha do cafeeiro. Revista do Instituto de Café 10 (104): 1893-1895. 1935.
4. CASTAÑO A., J.J. Mancha de hierro del caféto. Cenicafé 7 (82): 313-327. 1956.
5. CASTANO Z., J. Principios básicos de fitoepidemiología. Manizales, Universidad de Caldas. 2001. 276 p.

6. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Control químico de la mancha de hierro en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafe No. 192: 1-8. 1993.
7. ECHANDI, E. La chasparria de los cafetos causada por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk and Cooke. Turrialba 9 (2): 54-67. 1959.
8. FERNÁNDEZ B., O.; CADENA G., G.; LÓPEZ D., S.; BUITRAGO DE S., H.L.; ARANGO B., L.G. La mancha de hierro del cafeto *Cercospora coffeicola* Berk y Cooke, biología, epidemiología y control. In: Colloque Scientifique International sur le Cafe, 10. Salvador, Octubre 11-14, 1982. París, ASIC, 1983. p. 541-551.
9. FERNÁNDEZ B., O.; LÓPEZ D., S. Combata la mancha de hierro. Bogotá, FEDERACAFÉ, 1973. 12 p. (Boletín de Extensión No 46).
10. FERNÁNDEZ B., O.; LÓPEZ D., S. Fertilización de plántulas de café y su relación con la incidencia de la mancha de hierro *Cercospora coffeicola* Berk y Cool. Cenicafe 22 (4): 95-108. 1971.
11. GÓMEZ D., D.S. Evaluación de dos métodos de aplicación de fungicidas, para el control preventivo de llaga macana, *Ceratocystis fimbriata* (Ellist and Halst) Hunt, en zocas de café. Pasto, Universidad de Nariño, 2001. 110 p.
12. GÓMEZ, E. O. Caracterización de frutos maduros de café mediante visión artificial. Manizales, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, 2000. 47 p. (Tesis: Ingeniero Electrónico).
13. GRANGIER Junior, A. Posibilidades del fungicida orgánico CAPTAN con adherentes para uso bajo condiciones tropicales. Turrialba, IICA, 1954. 56 p.
14. HORSFALL, J.G., BARRATT, R.W. An improved grading system for measuring plant diseases. Phytopathology 25: 635. 1945.
15. IBARRA B., M.L. Diseño, construcción y evaluación de dos prototipos para la aplicación de productos biológicos en almácigos de café. Manizales, Universidad Autónoma de Manizales. Facultad de Diseño Industrial, 2001. 152 p. (Tesis: Diseñadora Industrial).
16. KAMPMANN, H.; HANSEN, O.B. Using colour image analysis for quantitative assessment of powdery mildew on cucumber. Euphytica 79: 19-27, 1994.
17. LEGUIZAMÓN C., J.E. La mancha de hierro del cafeto. Avances Técnicos Cenicafe No. 246: 1-8. 1997.
18. LINDOW, S.E.; QEBB, R.R. Quantification of foliar plant disease symptoms using microcomputer-digitized video image analysis. Phytopathology 73:520-524. 1983.
19. MARTIN, D.; RYBICKI, E. Microcomputer-based quantification of Maize Streak Virus symptoms in *Zea mays*. South Africa, American Phytopathological Society, 422-427 1998.
20. OLYMPUS AMÉRICA. CAMEDIA. Instrucciones cámara digital. Número de modelo : C-3040 Zoom. Japón, s.f. 226 p.
21. PARKER, S. R.; SHAW, M.W.; ROYLE, D.J. The reliability of visual estimates of disease severity on cereal leaves. Plant Pathology 44: 856-864. 1995.
22. PARLEVLIT, J.E. Selecting components of partial resistance. In: STALKER, H.T.; MURPHY, J.P. (Eds). Plant breeding in the 1990's. Wallingford, CAB International, 1992. p. 81-302.
23. PRICE, T.V.; GROSS, R.; WEY, J.H.; OSBORNE, C.F. A comparison of visual and digital image-processing methods in quantifying the severity of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). Australian Journal of Experimental Agriculture 33(1): 97-101. 1993.
24. SHERWOOD, R.T.; BERG, C.C.; HOOVER, M.R.; ZEIDERS, K.E. Illusions in visual assessment of Stagonospora leaf spot of orchardgrass. Phytopathology 73: 173-177. 1983.
25. VILLALBA, D. Técnicas de aplicación de plaguicidas en el cultivo del cafeto. In: Taller sobre Roya de Cafeto *Hemileia vastratrix* Berk y Br. Manizales, Abril 12 – 17, 1982. Chinchiná, CENICAFE, 1982. 22 p.
26. VILLEGAS G., C. Velocidad de dispersión de la roya del cafeto, *Hemileia vastatrix* Berk y Br. a partir de un foco. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1985. 215 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).