

## EXACTITUD Y REPETIBILIDAD DE DOS METODOS PARA LA EVALUACION DE LA SEVERIDAD DE ENFERMEDADES FUNGOSAS EN EL FRUTO DE LA PAPAYA (*Carica papaya*)<sup>1</sup>

Juan Ramón Navarro<sup>2/\*</sup>, Luis Felipe Arauz<sup>\*\*</sup>

### RESUMEN

Debido a su sencillez, rapidez y bajo costo, el método que con mayor frecuencia se utiliza en la estimación de la severidad de enfermedades es la evaluación visual, el cual tiene limitaciones en cuanto a repetibilidad, confiabilidad y precisión. Se evaluaron 2 métodos de estimación de severidad: la evaluación visual simple y la evaluación visual asistida por una llave pictórica; estos se compararon contra un método de referencia fundamentado en la correlación entre el peso de la fruta y el área total de su superficie ( $r^2=98.6\%-99.6\%$ ), y en la estimación del área afectada a partir del recuento y clasificación de las lesiones. Se observó una mayor precisión para el método visual asistido, dado que las pruebas de "t" para las hipótesis nulas  $H_0:\beta_0=0$  (intercepto) y  $H_0:\beta_1=1$  (pendiente), de la regresión de severidad estimada vs severidad de referencia, no fueron significativas, mientras que para el método visual simple ambas pruebas resultaron significativas. La repetibilidad de ambos métodos fue evaluada como cantidad de valores dentro del intervalo de confianza de la media (medida de constancia). El 77.78% de las estimaciones por el método visual asistido estuvo comprendido dentro del intervalo, mientras que solo el 41.11% para el caso del método visual simple.

### ABSTRACT

Accuracy and repeatability of two methods for the assessment of fungal disease severity on papaya fruits (*Carica papaya*). Due to its simplicity, fast application and low cost, the most frequently used method for disease assessment is visual evaluation, which has accuracy, repeatability and reliability limitations. Two methods were evaluated: plain visual disease assessment and visual assessment aided by a pictorial key; both methods were compared with a reference method based on both the correlation between fruit weight and fruit surface area ( $r^2=98.6\%-99.6\%$ ), and the estimation of the affected area made by counting and classifying lesions. A higher accuracy was observed for the visual aided method, as the t-tests for the null hypothesis:  $H_0:\beta_0=0$  (intercept) and  $H_0:\beta_1=1$  (slope), from the regression between estimated disease assessment and reference, were not significant; while both t-tests were significant for plain visual assessment. Repeatability was measured as the percentage of estimates that fall within the limits of the confidence interval for the general mean. The result for plain visual assessment was 41.11% while the one for aided visual method was 77.78%.

1/ Recibido para publicación el 7 de mayo de 1998.  
\* Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos.  
Universidad de Costa Rica. jnavarr@cariari.ucr.ac.cr  
\*\* Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos.  
Universidad de Costa Rica. lfarauz@cariari.ucr.ac.cr

### INTRODUCCION

La severidad en plantas individuales, frutas o plantaciones, se evalúa para determinar el

nivel de intensidad de un determinado problema fitopatológico, con el fin de: a) proveerse de datos que ayuden a estimar la efectividad de las prácticas de manejo del problema (Nelson y Craft 1992, Nutter 1990, Nutter et al. 1993); b) ayudar al agricultor a tomar decisiones sobre el manejo de la plantación (Nutter et al. 1993); y c) servir de base para estimar el daño al cultivo y su posible repercusión en el rendimiento (Nutter 1989, Nutter 1990, Nutter et al. 1993). Además, la medición de la severidad de cualquier problema fitopatológico es de suma importancia en cualquier ensayo que se diseñe para estudiar la relación que existe entre la severidad de un problema y la consecuente pérdida en rendimiento. La medición precisa de la severidad es importante también para el desarrollo de modelos epidemiológicos, necesarios para predecir pérdidas en cultivos de importancia económica (Lindow 1983).

Una mala estimación de la severidad de un determinado problema puede conducir a errores muy grandes en la estimación de pérdidas (Sherwood et al. 1983), o en la mala definición de políticas de combate, con su consecuente desperdicio de recursos. La mayoría de los procedimientos para estimar la severidad de una plaga son subjetivos o cualitativos, por lo que no satisfacen los requerimientos de exactitud que demanda el análisis cuantitativo, y son pocos los autores que se han interesado en la precisión o exactitud de estos métodos para evaluar la severidad de plagas o enfermedades (Horsfall y Barratt 1945, Sherwood et al. 1982, Lindow 1983).

Hasta hace poco, la severidad se ha evaluado casi exclusivamente en forma visual. Estos métodos visuales se dividen en 3 categorías: a) la definición de la cantidad afectada por el problema mediante el simple análisis visual de la planta afectada; b) llaves pictóricas con descripciones cualitativas del problema fitopatológico, como es el caso de la escala utilizada para la evaluación del tizón tardío en papa; y c) representaciones esquemáticas del sujeto de análisis con áreas conocidas afectadas por el problema. A diferencia de la segunda categoría, el tercer tipo de métodos provee un valor cuantitativo del problema, no un rango como es el caso de la escala para tizón tardío (Large et al. 1955, Large 1966, James 1971, Lindow 1983).

Las categorías se han ordenado según la exactitud que proveen; de esta manera, la evaluación visual simple es la que menor precisión y confiabilidad aporta, dada la escasa repetibilidad que tiene el método y el gran entrenamiento que requiere el evaluador para producir tan poca precisión. Las llaves pictóricas que se basan en estados de desarrollo de la sintomatología, aunque más precisas que la evaluación visual simple, presentan el problema de repetibilidad, esto es, distintas personas pueden juzgar un mismo caso de distintas maneras, sobre todo si se trata de enfermedades que afectan el follaje de cultivos de estructura tan compleja como un helecho; pero quizás la principal desventaja de este tipo de estimación es el hecho de que la evaluación produce un grado no una medición. Por último, las escalas pictóricas que representan al sujeto de estudio con distintos grados de avance, representado por áreas de dimensión conocida, padecen del mismo problema de repetibilidad apuntado para la categoría anterior; sin embargo, en tanto que este método produce una cuantificación en vez de una gradación, el método es más preciso y tiene una mejor repetibilidad (Lindow 1983, Nutter et al. 1993).

A pesar de los problemas apuntados, los métodos visuales son aún la mejor opción debido a la facilidad de su empleo. Shokes y colaboradores (1987), dicen que cualquier método que se utilice para la evaluación de severidad debe ser: a) fácil de usar, b) aplicable en una gran variedad de condiciones, c) proveer resultados que sean reproducibles, y d) proveer una medición de la severidad en forma rápida y precisa.

Todos estos métodos visuales se basan en el concepto desarrollado por Horsfall y Barratt (1945), quienes a su vez se fundamentaron en la ley de Weber-Fechner; básicamente, la ley de Weber-Fechner dice que la agudeza de la visión es directamente proporcional al logaritmo del estímulo y por esta razón Horsfall y Barratt (1945) proponen que todas las estimaciones visuales obedecen esta ley. Hebert (1982) discute la veracidad del supuesto de Horsfall y Barratt (1945) basado en gran cantidad de experiencias acumuladas; Baird y Noma, citados por Hebert (1982), postulan que probablemente existen 4 tipos de

curvas estímulo-respuesta: la primera es una función lineal en la que la respuesta aumenta linealmente conforme el estímulo también aumenta linealmente, dentro de este grupo se citan principalmente las estimaciones de proporciones; el segundo tipo es una función logarítmica en la que la respuesta aumenta linealmente mientras que el estímulo aumenta logarítmicamente; el tercer tipo es una función exponencial en la que la respuesta aumenta logarítmicamente mientras que el estímulo lo hace linealmente; por último, el cuarto tipo es una función potencial en la que la respuesta y el estímulo aumentan logarítmicamente, conocida como la ley de Steven, y que ha sido verificada para gran cantidad de estímulos tales como estimaciones de área, dulzura, el olor del café, ruido, brillo, etc.

La evaluación de la severidad del ataque de una enfermedad, cuya sintomatología es lesiones en la superficie de la fruta, se ha venido realizando exclusivamente en forma visual, tratando de cuantificar la proporción de la superficie de la fruta que está afectada por las lesiones; Arauz, citado por Córdoba (1993), propuso un pictograma en que se representa la fruta con áreas afectadas de medida conocida, para la evaluación de antracnosis en mango.

Existen excelentes estudios sobre la elaboración de diagramas para ser utilizados como estándares de evaluación de severidad (James 1971, 1974); en todos se enfatiza la importancia del método que se utilice como referencia, esto es, el método que va a producir la severidad real, contra la cual se evaluará la bondad de la escala pictórica. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un método que fuera adecuado como referencia de la severidad y con base en esa referencia, realizar una evaluación del método visual simple y del visual asistido por una escala pictórica para la determinación de la severidad de enfermedades fungosas en papaya.

**MATERIALES Y METODOS**

**Desarrollo del método de referencia**

Se tomaron 80 papayas, 40 del tipo denominado como "cacho" y 40 del tipo "bomba"; a

cada una se le determinó el peso y el área superficial. Para medir el área superficial, cada papaya se envolvió en papel de aluminio, de manera que la envoltura reprodujera de la mejor manera la forma de la fruta; posteriormente esa envoltura se cortó en gajos y a cada gajo se le practicaron cortes en la orilla para lograr una figura plana; cada gajo ya aplanado se fotocopió y esas impresiones se recortaron para determinar sus áreas por medio de su peso y por referencia al peso de un área conocida.

Los pesos y las áreas se relacionaron mediante regresión, independientemente para cada tipo de papaya. Las Figuras 1 y 2 muestran las relaciones obtenidas. Paralelamente, la forma de cada una de las lesiones se dibujó en plástico transparente el cual se fotocopió, posteriormente, cada lesión se recortó de la fotocopia y por medio del peso se estimó su área individual, de esta manera se obtuvo el área total de cada fruta que estaba afectada por lesiones y consecuentemente la severidad real. De cada lesión también se obtuvo el diámetro cuando la lesión era ligeramente redondeada; en el caso de lesiones alargadas, se midió el ancho y el largo, luego el largo se dividió entre el ancho de manera que la lesión total se representara como un número entero de pequeñas manchas redondas en sucesión.

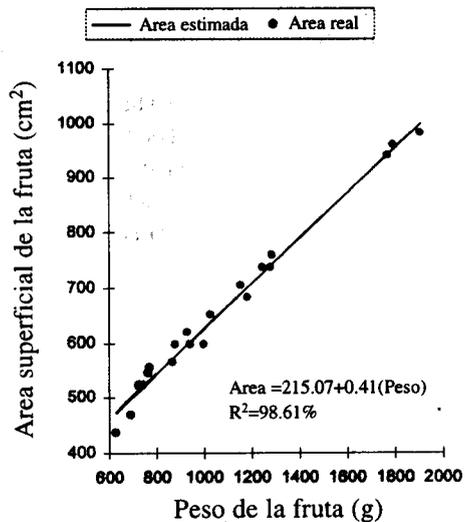


Fig.1. Relación entre el peso de la fruta y su área superficial en papaya tipo "bomba".

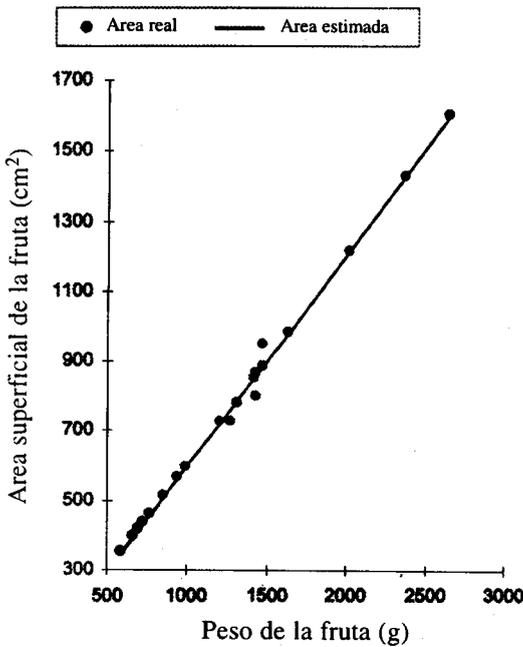


Fig. 2. Relación entre el peso de la fruta y su área superficial en papaya tipo "cacho".

Los diámetros se transformaron a logaritmos base 10 y posteriormente se clasificaron en 8 clases con el uso de la metodología simple de construcción de histogramas de frecuencia; el punto medio de cada una de las clases, destransformado, se utilizó como diámetro representativo de la clase y con ellos se construyó el pictograma que se presenta en la Figura 3. Se programó una hoja electrónica para que calculara la severidad de la siguiente manera; primero se calculó el área superficial de las papayas a partir de su peso mediante las ecuaciones de regresión. El área afectada se obtuvo a partir del recuento de lesiones de cada uno de los 8 tipos. Con los datos de área total y área afectada se calculó la severidad o porcentaje de área enferma.

**Evaluación de la estimación visual y de la estimación utilizando pictogramas de la severidad de enfermedades fungosas**

Un equipo de 9 evaluadores, que se sometieron a un entrenamiento de 2 semanas, evaluó un total de 123 papayas con distintos grados de

severidad de ataque de hongos, cuyos síntomas eran visibles en la superficie de la fruta. A cada uno de los evaluadores le era asignada una fruta al azar la cual tenía que ser pesada y clasificada, de acuerdo a su forma, en tipo bomba o tipo cacho, para el posterior cálculo del área superficial de la fruta. Posteriormente, se determinaba el número de lesiones de cada uno de los tipos que se muestra en la Figura 3 para la estimación del área afectada y obtener, de esta manera, la severidad de referencia para la evaluación de los otros métodos.

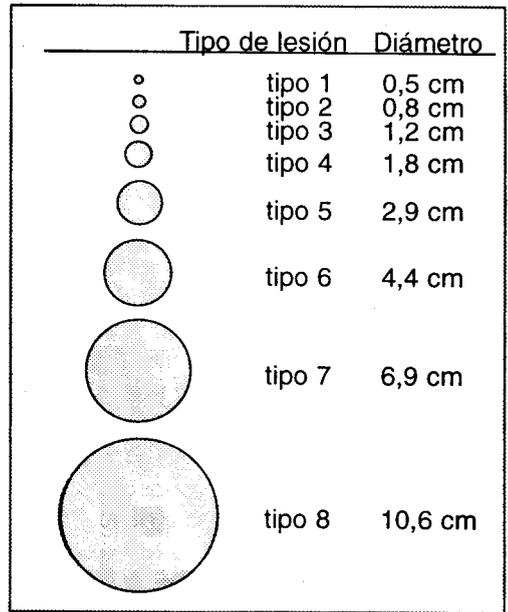


Fig. 3 Escala visual para estimar el área superficial de la fruta cubierta por lesiones.

Realizada y anotada la información de esta operación, la fruta era pasada a manos de otro evaluador que hacía una estimación visual de la severidad, y este a su vez trasladaba la fruta a otro evaluador que hacía una estimación de la severidad por medio del pictograma que se muestra en la Figura 4 (los números representan los porcentajes de área enferma de los puntos extremos de las categorías de severidad indicadas en el Cuadro 1). La operación se realizó de forma tal que todos los 9 evaluadores tuvieron que pesar la totalidad de las frutas y estimar la severidad de cada una de ellas por medio de los 3 métodos, de esta manera se ase-

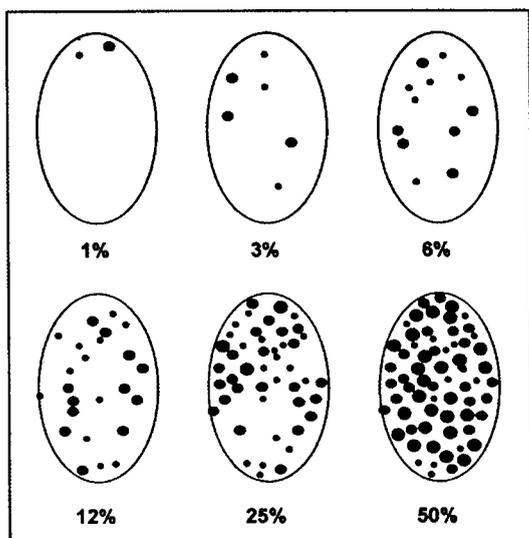


Fig.4 Diagrama para la evaluación visual de la severidad de enfermedades fungosas en frutos de papaya.

Cuadro 1. Escala para la evaluación de la severidad de enfermedades fungosas en frutos de papaya.

| Categoría | % Area enferma | Media geométrica |
|-----------|----------------|------------------|
| 0         | 0              | 0.0              |
| 1         | 1-3            | 2.3              |
| 2         | 3-6            | 4.7              |
| 3         | 6-12           | 9.4              |
| 4         | 12-25          | 18.8             |
| 5         | 25-50          | 37.7             |
| 6         | >50            | 75.0             |

guró que la lectura de severidad obtenida por un método no influyera en la obtenida por otro y, a la vez, se redujo considerablemente el efecto que podía tener el evaluador sobre los resultados.

Todo el procedimiento se repitió solo una vez más ya que el deterioro de las frutas, sobre todo las que presentaban un mayor grado de severidad, era muy grande y difícilmente hubieran podido tolerar un mayor número de repeticiones.

**Estimación de la repetibilidad de los métodos**

La repetibilidad de los métodos se evaluó de la siguiente manera: se seleccionaron 5 frutas

al azar; de cada una de ellas se tenía la evaluación de severidad, por el método visual y por el método pictórico, de los 9 evaluadores, para ambas repeticiones. Se estimó un intervalo de confianza ( $\alpha=0.05$ ) para el promedio de severidad visual y otro para el promedio de severidad pictórica, para cada fruta, en cada repetición (los evaluadores actuaron como repeticiones en este procedimiento); como desviación estándar en ambos casos se utilizó la raíz cuadrada de la variancia combinada de ambos métodos, ya que la variabilidad general mayor del método visual hubiera producido un intervalo de confianza mucho más amplio, con mayor probabilidad de albergar una cantidad superior de estimaciones, comparado con el método pictórico, sesgando esta metodología para estimar la repetibilidad. Una vez determinados los límites inferior y superior de los intervalos, se procedió a contar cuántas de las 9 estimaciones de severidad caían dentro del intervalo de confianza; así para las 5 frutas seleccionadas.

**RESULTADOS Y DISCUSION**

Los coeficientes de determinación de las 2 ecuaciones de regresión, 98.61% para papayas tipo bomba y 99.59% (Figuras 1 y 2) para papayas tipo cacho, permiten una estimación bastante buena del área superficial mediante el peso de la fruta.

Existen muchos métodos más exactos para estimar el área superficial de una fruta, como por ejemplo el escudriñador LASER y algunos otros basados en técnicas de vídeo; sin embargo, el costo y el nivel de sofisticación los hacen poco accesibles en nuestro medio. La estimación vía peso es bastante sencilla, rápida de obtener y produce un resultado de exactitud adecuada; otra ventaja del peso es su alta repetibilidad pues no depende de interpretaciones subjetivas para su cuantificación.

La Figura 5 presenta un correlograma en que se puede apreciar el ajuste que existe entre el área real cubierta por lesiones y el área estimada por medio del pictograma que se presenta en la Figura 3; la correlación entre ambas lecturas fue de 92.73% lo que indica que la estimación

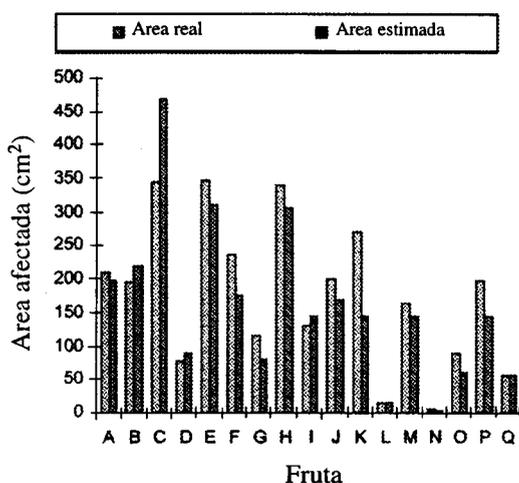


Fig. 5. Correlación entre el área afectada real y la estimada por medio de los diagramas de la Figura 3.

también es adecuadamente exacta. El recuento y clasificación de las lesiones, de acuerdo con la escala establecida por el pictograma son operaciones bastante sencillas. Existe un elemento de subjetividad implícito en esta evaluación, cual es el tener que decidir el tipo de lesión que se evalúa, entre los 8 tipos establecidos por el pictograma; sin embargo, con el debido entrenamiento en el uso del método este problema se puede reducir a niveles poco significativos; la determinación del peso y el recuento de lesiones no se ven afectados por este problema.

El método es particularmente exacto en aquellos casos en que las frutas se presentan con una gran cantidad de lesiones pequeñas, distribuidas por toda la superficie, ya que es muy difícil para el ojo humano agrupar todas esas lesiones para producir una lectura de área afectada; aún, si la evaluación de estos casos se estableciera por medio de la cuantificación del área no afectada, como lo sugiere Horsefall y Barratt (1945), siempre se tendería a hacer una subestimación del área afectada y, por lo tanto, de la intensidad del daño.

La utilización de la computadora reduce el trabajo hasta un nivel en que el método se convierte en una herramienta fácil de usar; sin la ayuda de este instrumento, la aplicación del método no es factible.

Para la evaluación de los métodos visual y pictórico, se asumió que el método de recuento de lesiones serviría como referencia, simplemente por ser el que menor cantidad de elementos subjetivos presenta.

La información generada por los 9 evaluadores se sometió inicialmente al análisis de variancia en que los métodos, los evaluadores, las repeticiones y las interacciones entre estos factores actuaron como fuentes de variación. Sólo los métodos y las repeticiones mostraron diferencias significativas; en el caso de los métodos, ambos, el visual y el pictórico, se diferenciaron del método de recuento de lesiones, de acuerdo con la prueba de la diferencia mínima significativa, pero no se diferenciaron entre ellos.

Las repeticiones quizás mostraron diferencia por el manipuleo al que se sometió el material; las frutas de textura suave, dada la alta severidad del ataque de hongos, pudieron haber perdido peso por deshidratación, y algunas magulladuras pudieron haber enmascarado lesiones que en la primera ronda eran evidentes. La suma de problemas asociados a este trasiego de frutas pudo haber tenido una influencia determinante en la estimación final de los 3 métodos y, por ende, en el resultado significativo del análisis.

Es importante destacar el hecho de que los evaluadores no mostraran diferencia entre ellos; esto se puede interpretar como que el entrenamiento fue efectivo y que la operación de evaluación estuvo bien organizada, de manera que se evitara al máximo cualquier sesgo que el evaluador pudiera introducir.

Las severidades obtenidas por los métodos visual y pictórico, se graficaron contra la severidad de referencia y se incluyó la línea o función identidad, cuyo intercepto es cero y su pendiente es uno, con el objeto de poder comparar visualmente el comportamiento de la severidad evaluada con respecto a la referencia; estos comportamientos se presentan en las Figuras 6 y 7.

Se puede observar que el método visual simple (Figura 6) sobreestima la severidad a todo lo largo del espectro; quizás solo en severidades muy bajas o muy altas es que existe coincidencia entre este método de estimación y la referencia. En severidades medias -que son las más frecuen-

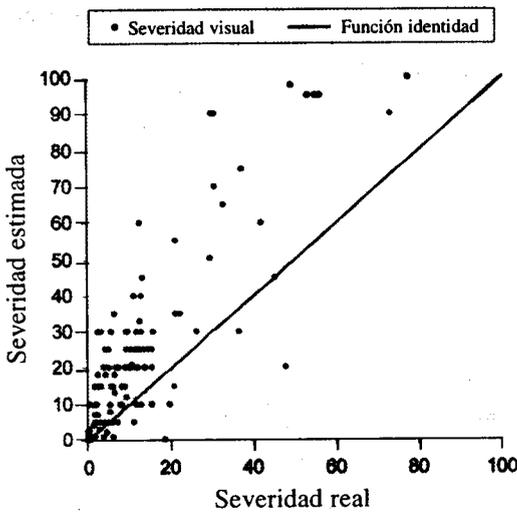


Fig. 6 Comparación entre la severidad estimada visualmente y la severidad estimada por el método de los círculos de la Figura 3.

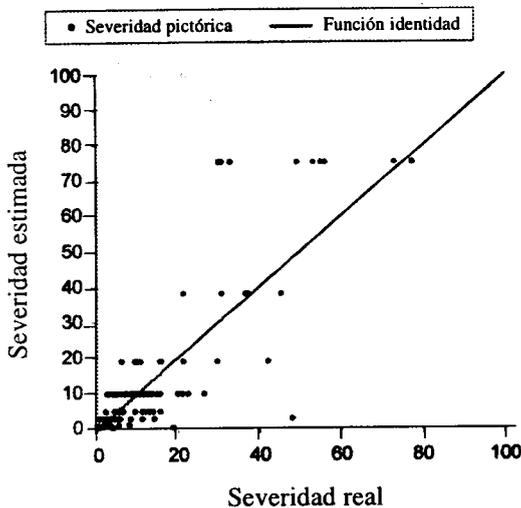


Fig. 7. Comparación entre la severidad estimada por el método pictórico y la severidad estimada por el método de los círculos de la Figura 3.

tes- es donde este método es más impreciso, de hecho, el comportamiento aparenta ser una función cuadrática y es precisamente en los valores medios de severidad donde se aleja más de la línea de referencia o función identidad.

Los datos de severidad visual se analizaron por regresión contra la severidad de referen-

cia (Figura 8) con el fin de obtener una comparación entre interceptos y pendientes. La prueba de "t" para la comparación de interceptos demostró que son distintos, lo mismo que la prueba para pendientes, lo que viene a reafirmar la gran diferencia que existe entre la severidad estimada visualmente y la de referencia.

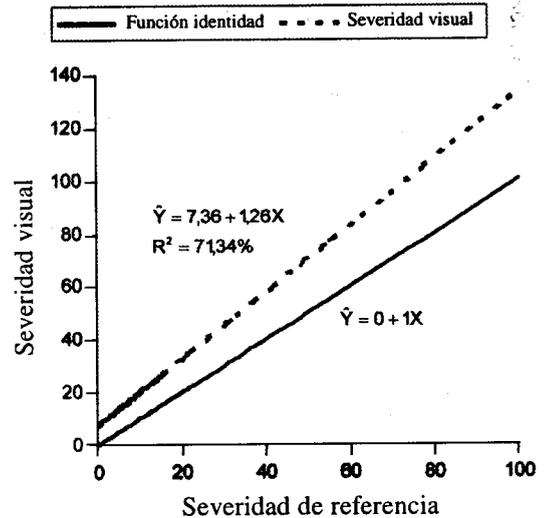


Fig. 8. Diferencia entre el método de evaluación visual y el de referencia.

El mismo procedimiento se siguió con los datos de severidad estimados por el método pictórico; la regresión obtenida para este método se presenta en la Figura 9. En este caso las pruebas de "t" demostraron que los interceptos son iguales y las pendientes también.

### Repetibilidad de los métodos de evaluación

Como resultado del método seleccionado para la estimación de la repetibilidad, se encontró que el 77.78% de las estimaciones por el método pictórico está comprendido dentro del intervalo de confianza, mientras que solo el 41.11% de las estimaciones visuales cayeron dentro de los límites de su respectivo intervalo.

El razonamiento tras esta metodología es que el método que tenga la mayor repetibilidad será aquel que presente menos diferencias entre las estimaciones de severidad de distintas personas,

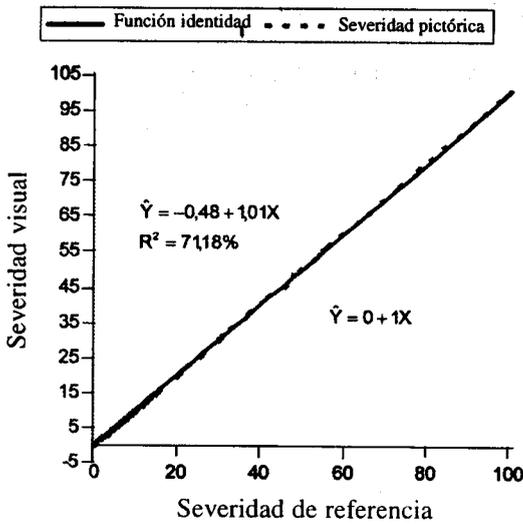


Fig. 9. Diferencia entre el método de evaluación pictórico y el de referencia.

esto es, los datos estarán muy cerca de su promedio y por lo tanto tendrá un mejor chance de que las estimaciones individuales queden incluidas dentro del intervalo de confianza. La repetibilidad no se pudo obtener como una medida de la similitud que hubo entre lecturas de severidad de una misma fruta, en 2 distintas repeticiones, dado que el análisis de variancia mostró diferencia significativa entre repeticiones por las razones que se apuntaron anteriormente; por esa razón se decidió obtener una estimación de la repetibilidad entre los métodos a partir de la similitud entre estimaciones de severidad de una misma fruta, producidas por distintas personas.

Con base en los resultados obtenidos, se puede asegurar que el método de evaluación de la severidad de enfermedades fungosas, utilizando un pictograma, es más preciso, confiable y consistente que el método tradicional de evaluar el ataque de una enfermedad visualmente; además, este método requiere de mucho menos esfuerzo para el entrenamiento de los evaluadores.

### LITERATURA CITADA

CORDOBA, M. 1992. Prueba de fungicidas para el combate de la antracnosis en mango. Tesis Ing. Agr., San José, Costa Rica. Facultad de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica.

- HEBERT, T.T. 1982. The rationale for the Horsfall-Barratt plant disease assessment scale. *Phytopathology* 72(10):1269.
- HORSEFALL, J.; BARRATT, R. 1945. An improved grading system for measuring plant disease. (Abstract) *Phytopathology* 35:655.
- JAMES, W.C. 1971. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparations and usage. *Can. Plant Dis. Surv.* 51:39-65.
- JAMES, W.C. 1974. Assessment of plant diseases and losses. *Ann. Rev. Phytopathol.* 12:27-48.
- LARGE, E.C. 1966. Measuring plant disease. *Ann. Rev. Phytopathol.* 4:9-28.
- LARGE, E.C.; HONEY, J.K. 1955. Survey of a common scab of potatoes in Great Britain, 1952 and 1953. *Plant Pathol.* 4:1-8.
- LINDOW, S.E. 1983. Estimating disease severity of single plants. *Phytopathology* 73:1576-1581.
- NELSON, E.B.; CRAFT, C.M. 1992. Suppression of dollar spot on creeping bentgrass and annual bluegrass turf with compost amended topdressings. *Plant Disease* 76:954-958.
- NUTTER, F.W. 1989. Detection and measurement of plant disease gradients in peanut with a multispectral radiometer. *Phytopathology* 79:958-963.
- NUTTER, F.W. 1990. Remote sensing and image analysis for crop loss assessment. *In: Crop loss assessment in rice.* Int. Rice Res. Inst., Manila, Filipinas.
- NUTTER, F.W.; GLEASON, M.L.; JENCO, J.H.; CHRISTIANS, N.C. 1993. Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and inter-rater reliability of disease assessment systems. *Phytopathology* 83(8):806-812.
- SHERWOOD, R.T.; BERG, C.C.; HOOVER, M.R.; ZEIDERS, K.E. 1983. Illusions in visual assessment of stagonospora leaf spot of orchardgrass. *Phytopathology* 73:173-177.
- SHOKES, F.M.; BERGER, R.D.; SMITH, D.H.; RASP, J.M. 1987. Reliability of disease assessment procedures: a case study with late leafspot of peanut. *Oleagineux* 42:245-251.