

## Modelo para la estimación del área del fruto en la evaluación de la antracnosis en aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass

Model to estimate fruit area for evaluating anthracnose in Hass avocado (*Persea americana* Mill.)

José Luciano MORALES GARCÍA<sup>1</sup>, María del Pilar RODRÍGUEZ GUZMÁN<sup>2</sup>, Hilda Susana AZPÍROZ RIVERO<sup>3</sup> y Martha Elena PEDRAZA SANTOS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, <sup>2</sup>Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados. Especialidad en Fitopatología. 56230, Montecillo, Texcoco, México y <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Valle de México. km 18,5 Carretera Los Reyes-Lechería, Chapingo, Texcoco, México. E-mails: jluciano@umich.mx y jluciano@prodigy.net.mx ✉ Autor para correspondencia

Recibido: 31/01/2009

Primera revisión recibida: 08/09/2009

Fin de primer arbitraje: 13/04/2009

Aceptado: 08/09/2009

### RESUMEN

La antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) es una de las enfermedades más importantes que atacan al fruto del aguacate y que limita su exportación. Se desarrolló un método no destructivo e indirecto para calcular el área del fruto de aguacate Hass y para evaluar la severidad de la antracnosis. Se midió el largo y ancho de 175 frutos, a los cuales se le extrajo la pulpa y la semilla y el contorno de la cáscara que se dibujo sobre papel, éste se recortó y se midió con un integrador de lámina foliar. Se estableció la relación entre el área de la cáscara con el largo y el ancho del fruto mediante una regresión lineal múltiple, considerando el largo y el ancho de los frutos como variables independientes y el área como la variable dependiente a predecir. El modelo de predicción que mejor explicó la relación anterior fue un modelo cuadrático  $Y = 0,181 + 0,849 X_1^2 + 2,247 X_2^2$ , donde  $X_1$  = largo,  $X_2$  = ancho del fruto del aguacate, con base en los estadísticos  $R^2$ , CME,  $R_a^2$ , Prob > F y C.V. Al graficar los valores observados con los estimados, el área real del fruto medida con el integrador mostró una estrecha cercanía con el área del fruto estimada con el modelo. La validación del modelo mediante un análisis de regresión, resultó con una  $r^2 = 0,99$ . El área estimada del fruto a través de este método, fue aplicada para la evaluación de la severidad de la antracnosis en aguacate Hass de Michoacán, México. Las manchas causadas por el patógeno se midieron y el área enferma estimada se relacionó con el área total del fruto calculada con el modelo. La evaluación de la severidad por antracnosis fue más precisa que cuando se usó una escala arbitraria y basada en el porcentaje de daño del área total de la fruta. El modelo es válido para calcular el área del fruto de aguacate cv. Hass.

**Palabras clave:** Antracnosis, porcentaje de severidad, escalas de medición.

### ABSTRACT

Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) is one of the most important diseases that affect the avocado fruit and limit avocado fruit exportation. A non-destructive and indirect method was developed to estimate the area of avocado fruits cv. Hass to evaluate anthracnose severity. Length and width of 175 avocado fruits were measured. Avocado pulp and seed were extracted and the peel was outlined on paper, this was then cut out and passed through a foliar area integrator. A multiple linear regression model was applied with length and width of fruits as independent variables and the area obtained from the integrator as the dependent variable. The prediction model that best adjusted our data was the quadratic model  $Y = 0.181 + 0.849 X_1^2 + 2.247 X_2^2$ ; where  $X_1$  = length, and  $X_2$  = width of avocado fruits based on the statistics  $R^2$ , CME,  $R_a^2$ , Prob > F y C.V. To evaluate the model, the fruit area estimated with the model was plotted and compared with the actual fruit area measured with the integrator. The validation of the model gave a  $r^2 = 0.99$ . The estimated avocado fruit area was used to evaluate anthracnose severity of Hass avocado in Michoacan, Mexico. Spots caused by the pathogen were measured and the diseased area was related to the total fruit area calculated with the model. Anthracnose severity assessment was more accurate than the arbitrary scale used based on the percentage of damaged the total fruit area. The model is valid to calculate the fruit area of avocado cv. Hass.

**Key words:** Anthracnose, severity percentage, measure scale

## INTRODUCCIÓN

México produce cerca de 1.100.000 t en aproximadamente 124.829 ha, lo que corresponde al 52% de la producción mundial. El estado de Michoacán participa con 84,6% de 753.801 t de las cuales se exportaron 42.307 t en el ciclo 1998-1999. Entre los factores fitopatológicos que más limitan la exportación se encuentra la antracnosis (Morales, 1996; USDA, 1997; Teliz, 1999). La antracnosis se encuentra distribuida en todos los municipios donde se cultiva aguacate en el estado de Michoacán, con una incidencia del 42 al 74% (Morales, 1996).

Los estudios de evaluación de la incidencia y la severidad de las enfermedades suelen realizarse usando escalas arbitrarias, que aunque pueden ser de gran utilidad y en ocasiones confiables cuando son usadas por técnicos experimentados, con frecuencia no son métodos precisos para dicho cálculo. Por otra parte, algunos de estos métodos son destructivos, tal es el caso de algunos procedimientos usados en cacahuate para la evaluación de la mancha de la hoja (*Cercosporidium personatum*) en donde se requiere cortar hojas y tallos (Shokes *et al.*, 1987). La estimación del área foliar y del tamaño de frutos es un componente esencial en el análisis del crecimiento de las plantas y frecuentemente es usada para investigaciones agronómicas, fisiológicas y fitopatológicas. Estudios sobre transpiración y evaluación de fotosíntesis son ejemplos importantes donde se requiere conocer la magnitud del área de la hoja (Rhoads y Bloodworth, 1983).

El cálculo de la severidad de las enfermedades en frutos, es otro claro ejemplo de la necesidad de conocer su área. Marshall (1968) clasificó a estos métodos en destructivos y no destructivos o directos e indirectos. Los más usados son aquellos no destructivos e indirectos, pero exactos, en donde se estima el área de la hoja mediante fórmulas matemáticas que involucran medidas lineales (largo y ancho), es decir, métodos alométricos. Posteriormente se calculan uno o varios coeficientes de correlación, coeficientes de regresión, o un factor de las hojas (Aase, 1978; Ramos *et al.*, 1983; Wiersma y Bailey, 1975). Los criterios para la selección en modelos matemáticos, relacionados con enfermedades de plantas, consideran entre los modelos estudiados que aquel que presente el menor valor del cuadrado medio del error y el mayor coeficiente de determinación debe ser el seleccionado (Cornell y Berger, 1987).

Sin embargo, hay pocos estudios relacionados con la estimación del área de fruto de aguacate, así como el área de lesiones provocadas por patógenos. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un método no destructivo e indirecto que nos permita determinar en forma precisa, el área de frutos de aguacate cv. Hass, para posteriormente calcular la severidad de la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* Penz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área del fruto se determinó mediante la medición del largo y ancho de 175 frutos de aguacate cv. Hass, que variaron desde 0,8 cm de largo por 0,6 cm de ancho, hasta 10,9 cm de largo por 7,6 cm de ancho. A estos frutos se les extrajo la pulpa y la semilla. La cáscara fue dibujada en hojas de papel y posteriormente se recortó y pasó por la banda de un aparato integrador de lámina foliar para obtener el área en cm<sup>2</sup>. Se probaron diferentes relaciones entre las variables área, largo y ancho mediante transformaciones lineales, cuadráticas y cúbicas. La relación se determinó mediante un análisis de regresión lineal múltiple, tomando como variables independientes el largo y el ancho de los frutos y como variable dependiente el área obtenida del integrador de lámina foliar.

El modelo generado se validó de tres maneras: a) graficando y comparando visualmente los valores del área estimada de los 25 frutos con el integrador de área contra el área calculada con base al modelo predicho; b) usando un análisis de regresión simple entre los resultados estimados por el modelo y los obtenidos con el integrador de área. El cálculo del área enferma se realizó midiendo el largo y ancho de las lesiones, y debido a que solo se cuantificaban lesiones nuevas estas siempre tuvieron un área promedio de 1 mm<sup>2</sup>, por lo que el cálculo total del área enferma se obtuvo sumando el total de las lesiones. La severidad se calculó relacionando el total del área del fruto obtenida con el modelo y el total del área afectada y c) una tercera forma de validar el modelo del cálculo de la severidad de la antracnosis se realizó en un huerto de aguacate en el Municipio de Uruapan, Michoacán. Diez ingenieros agrónomos expertos en el cálculo de severidad de esta enfermedad, calcularon la misma en 20 frutos con síntomas iniciales de antracnosis, usando la escala que normalmente usan en sus evaluaciones para este fin (Cuadro 1). Se seleccionaron aquellos modelos matemáticos que presentaron el menor valor del

cuadrado medio del error y el mayor coeficiente de determinación (Cornell y Berger, 1987).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante un análisis de regresión lineal múltiple se seleccionó preliminarmente el modelo lineal simple:  $Y = -45,264 + 7,792 X_1 + 19,987 X_2$  y el lineal cuadrático:  $Y = 0,181 + 0,849 X_1^2 + 2,247 X_2^2$ . Los estadísticos utilizados para seleccionar el mejor modelo fueron el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el cuadrado medio del error (Cuadro 2).

El modelo de predicción del área de frutos de aguacate cv. Hass, que mejor se ajustó a nuestros datos fue el modelo cuadrático,  $Y = 0.181 + 0.849 X_1^2 + 2.247 X_2^2$ . Donde  $Y = \text{área (cm}^2\text{)}$ ,  $X_1 = \text{largo del fruto (cm)}$ ,  $X_2 = \text{ancho del fruto (cm)}$ . Con la finalidad de validar el modelo se graficó el área de 25 frutos obtenidos a partir del integrador de la lamina foliar contra el área estimada con el modelo observándose una alta correlación entre ambas (Figura 1).

La validación del modelo mediante el análisis de regresión entre los resultados estimados por el modelo en 25 frutos y los resultados obtenidos con el

Cuadro 1. Escala arbitraria utilizada en campo para evaluar la severidad de la antracnosis en frutos de aguacate cv. Hass en Uruapan, Michoacán, México.

Grado	Daño (%)
I	1 - 5
II	6 - 10
III	11 - 15
IV	16 - 20
V	21 - 100

Cuadro 2. Comparación de los estadísticos utilizados para la selección de los modelos que mejor ajustaron a la relación entre área, largo y ancho del fruto de aguacate cv. Hass en Uruapan, Michoacán, México.

Modelo	C.M.E.	$R^2$
Lineal Simple	297,54	0,92
Lineal Cuadrático	107,97	0,97

$R^2$  = Coeficiente de determinación  
C.M.E. = Cuadrado medio del error

integrador arrojó los siguientes estadísticos:  $R^2 = 0,99$ ; C.M.E. = 27,22; C.V. = 8,8;  $X'_0 = 1,51$  ( $p = 0.04$ ) y  $X'_1 = 0,02$  ( $p = 0,0001$ ), en tanto que el comportamiento de los residuales fue aleatorio, resultados que indican que el modelo tiene una alta precisión y es adecuado para predecir el área a partir del largo y ancho del fruto (Figura 2).

Mediante la tercera forma de validar el modelo del cálculo de la severidad de la antracnosis se observó que en el 80 % de los frutos se sobrestimó la enfermedad, en el 15% se subestimó y solo en el 5 % hubo coincidencia con los dos métodos, demostrando así que usando el modelo obtenido en esta investigación se estima con mayor precisión la severidad de la enfermedad (Cuadro 3) por lo que el modelo es válido para calcular el área del fruto de aguacate cv. Hass. Para el cálculo del área afectada por cualquier enfermedad donde se evalúe lesiones mayores de 1 mm<sup>2</sup> debe generarse un modelo, basado probablemente en una regresión lineal múltiple siguiendo la misma metodología en la obtención de este modelo.

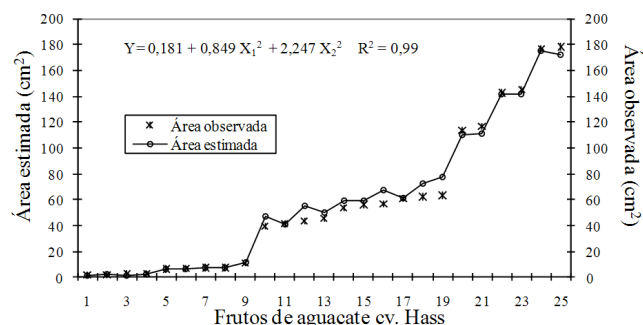


Figura 1. Comparación del área obtenida a través de un integrador y área estimada de frutos de aguacate cv. Hass en Uruapan, Michoacán, México.

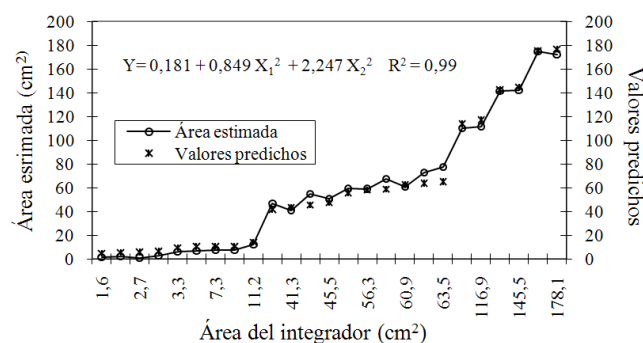


Figura 2. Comportamiento de los valores predichos contra el área obtenida del integrador y el área estimada en frutos de cv. Hass en Uruapan, Michoacán, México.

Cuadro 3. Comparación del por ciento de área enferma obtenida con una escala de evaluación arbitraria para el cálculo de la severidad de la antracnosis en frutos de aguacate cv. Hass en Uruapan, Michoacán, México y el área obtenida a través del modelo generado en este estudio.

Fruto	Área de daño	
	Modelo (%)	Escala arbitraria (%)
1	2,75	5
2	0,60	2
3	1,40	1
4	1,50	2
5	6,24	3
6	9,91	6
7	8,78	13
8	3,31	20
9	4,75	10
10	2,93	5
11	3,16	8
12	3,96	8
13	3,23	7
14	7,15	10
15	9,38	10
16	13,24	15
17	5,60	11
18	3,45	5
19	0,50	1
20	23,66	30

### CONCLUSIÓN

La evaluación de la severidad por antracnosis fue más precisa que cuando se usó una escala arbitraria y basada en el porcentaje de daño del área total de la fruta. El modelo es válido para calcular el área del fruto de aguacate cv. Hass.

### LITERATURA CITADA

- Aase, J. K. 1978. Relationship between leaf area and dry matter in winter wheat. *Agron. J.* 70: 563-565.
- Cornell, J. A. and R. D. Berger. 1987. Factors that influence the coefficient of determination in single and nonlinear models. *Phytopathology* 77: 63-70. 1987.
- Marshall, J. K. 1968. Methods of leaf area measurement of large and small leaf samples. *Photosynthetic* 2: 41-47.
- Morales G., J. L. 1996. Caracterización cultural, morfológica, patogénica y molecular de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. causante de la antracnosis del aguacate en Michoacán. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México 96 p.
- Ramos, J. M.; L. F. García del Moral and L. Recalde. 1983. Dry matter and leaf area relationships in winter barley. *Agron. J.* 75: 308-310.
- Rhoads, F. M. and M. E. Bloodworth. 1964. Area measurement of cotton leaves by a dry-weight method. *Agron. J.* 56: 520-522.
- Shokes, F. M.; R. D. Berger, D. H. Smith and J. M. Rasp. 1987. Reliability of disease assessment procedures: a case study with late leafspot of peanut. *Oleagineus.* 42: 245-251.
- Téliz, O. D. 1999. El aguacate y su manejo integrado. Editorial Mundi Prensa, México. 215 p.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1997. Docket No. 94-116-5. Final rule: Hass avocados from Mexico. *Federal Register USA.* 102 p.
- Wiersma, J. V. and T. B. Bailey. 1975. Estimation of leaflet, trifoliolate, and total leaf area of soybeans. *Agron. J.* 67: 26 - 30.