

# Modelos de desarrollo de la viruela del maní *Arachis hypogaea* L.

Marinelli, A., March, G. J. y Alcalde, M.

## RESUMEN

Durante las campañas agrícolas 1986/87, 1987/88 y 1988/89, se evaluó la incidencia de la viruela del maní *Arachis hypogaea* L. causada por *Cercospora arachidicola* Hori y *Cercosporidium personatum* (Berk. y Curt.) Deighton.

Para describir las epifitias se analizaron tres modelos no lineales, Exponencial, Logístico y Gompertz.

Para evaluar el ajuste de los diferentes modelos se consideró la significancia de los parámetros estimados, la dispersión de los residuos, la desviación estándar de la regresión lineal y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

En las campañas 1986/87 y 1988/89 el mejor ajuste se obtuvo con el modelo Exponencial seguido por el Logístico, y en el ciclo 1987/88 esta relación ocurrió con los modelos Logístico y Gompertz.

**Palabras clave:** Viruela del maní - Epifitología - Modelos matemáticos.

## ABSTRACT

The incidence of leafspot on peanut (*Arachis hypogaea* L. cv. Runner) caused by a complex of *Cercospora arachidicola* Hori and *Cercosporidium personatum* (Berk. & Curt.) Deighton, was evaluated during the 1986/87, 1987/88 and 1988/89 growing seasons. Three non-linear models were used for describing disease progress in time. The models evaluation criteria include significant estimated parameters, randomness of the residuals, the standard deviation about the regression line and the coefficient of determination ( $R^2$ ).

The fits were better for Exponential and Logistic models in 1986/87 and 1988/89, and for Logistic and Gompertz models in 1987/88.

A. Marinelli y M. Alcalde, Fitopatología. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC); G.J. March, Terapéutica Vegetal. Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC.

## INTRODUCCION

El maní, *Arachis hypogaea* L. es un cultivo que se realiza casi exclusivamente en la provincia de Córdoba. Entre las enfermedades que afectan a esta oleaginosa en nuestro país la más importante es la viruela

causada por *Cercospora arachidicola* Hori y *Cercosporidium personatum* (Berk. y Curt.) Deighton (Frezzi, 1960; Giorda *et al.*, 1984; Marinelli *et al.*, 1987).

La falta de estudios epifitiológicos sobre esta enfermedad en nuestra zona productora, es la causa principal por la cual no se han logrado elaborar adecua-

das estrategias para su manejo. La cuantificación del desarrollo de una enfermedad en el tiempo es la base para la ejecución de estos estudios (Berger, 1980; Freedman y MacKenzie, 1987; Madden, 1986), existiendo excelentes modelos matemáticos que pueden emplearse con este objetivo (Campbell and Madden, 1990; Hau y Kranz, 1977; Jeger, 1984; Jowett *et al.*, 1974; Madden, 1980, 1986; Madden y Campbell, 1986; Zadoks y Schein, 1979).

Si bien los modelos empleados en la descripción de epifitias son simplificaciones de la realidad (Berger y Jones, 1985; Jowett *et al.*, 1974; Kranz y Hau, 1980; Madden, 1980; Shrum, 1978), proporcionan elementos que utilizados racionalmente permiten analizar y comprender dicho fenómeno natural (Jeger, 1986). Todo ello conduce a un mejor manejo sanitario del cultivo (Kranz y Hau, 1980).

Con el objetivo de determinar qué modelos matemáticos se ajustan mejor a la curva epifítica de la viruela del maní, se compararon los modelos Exponencial, Logístico y Gompertz.

## MATERIALES Y METODOS

Los estudios se llevaron a cabo durante las campañas agrícolas 1986/87, 1987/88 y 1988/89, en lotes comerciales de maní cultivar Florunner pertenecientes a un mismo productor del área rural de Carnerillo (Departamento Río Cuarto, Córdoba). En los tres ciclos el cultivo predecesor fue maíz y se sembró en la última semana de noviembre, efectuándose los muestreos sobre una superficie de aproximadamente una hectárea en la que no se aplicaron fungicidas.

### Evaluación de la enfermedad

A fin de cuantificar la incidencia de la viruela en función del tiempo, los muestreos se efectuaron desde la aparición de los primeros síntomas hasta la cosecha. En cada muestreo se obtuvieron al azar veinte

ramificaciones laterales sobre una diagonal del área en estudio. Estos se realizaron cada siete días aproximadamente, pues el periodo de latencia oscila entre las dos y tres semanas (Alderman *et al.*, 1989; Frezzi, 1960 y Jensen y Boyle, 1965).

La incidencia en cada rama se evaluó según Jensen y Boyle (1965), considerando: a) número de folíolos producidos, b) número de folíolos desprendidos y c) número de folíolos enfermos, asimilando la incidencia a la proporción de folíolos enfermos y desprendidos. Considerando los valores medios de incidencia en proporción para cada fecha de realización de los muestreos, se obtuvieron las curvas de desarrollo de la enfermedad en cada una de las campañas agrícolas en que se efectuaron los estudios.

### Análisis de los datos

Para describir las curvas epifíticas de la enfermedad se consideraron tres modelos no lineales: 1) Exponencial, 2) Logístico y 3) Gompertz.

$$1) \text{ Exponencial: } \frac{dy^*}{dt} = ry; \quad y^* = y \cdot e^{rt}$$

$$2) \text{ Logístico: } \frac{dy^*}{dt} = ry(1-y); \quad y^{**} = \frac{1}{(1+e^{-(a+rt)})}$$

$$3) \text{ Gompertz: } \frac{dy^*}{dt} = ry(-\ln(y)); \quad y^{**} = e^{-Be^a}$$

\* Maden (1980)

\*\* Berger (1980)

A los fines de ajustar los modelos a los datos de incidencia mediante la técnica de regresión lineal simple, el Exponencial fue linearizado según la transformación correspondiente (Jowett *et al.*, 1974), recurriéndose a tablas de "logit" (Zadoks y Schein, 1979) y "gompit" (Berger, 1980) para los dos restantes. El

**Tabla 1:** Incidencia inicial y tasa de incremento de la viruela del maní. Parámetros estimados por regresión lineal simple.

Campaña agrícola	Incidencia inicial			Tasa de incremento <sup>4</sup>		
	Exponencial <sup>1</sup>	Logístico <sup>2</sup>	Gompertz <sup>3</sup>	Exponencial	Logístico	Gompertz
1986/87	0,13	-2,18	-1,12	0,007	0,059	0,045
1987/88	0,08	-2,62	-1,50	0,007	0,067	0,053
1988/89	0,10	-2,11	-1,03	0,007	0,051	0,037

1- Proporción

2- Logit

3- Gompit

4- La tasa de incremento corresponde a *r* en los modelos Exponencial y Logístico y a *k* en Gompertz.

**Tabla 2:** Parámetros estadísticos de evaluación de ajustes de modelos matemáticos Desviación estándar y coeficientes de determinación

Campaña agrícola	Exponencial			Logístico			Gompertz		
	S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>A</sub>	S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>A</sub>	S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>A</sub>
1986/87	0,070	0,9477	0,9430	0,086	0,9206	0,9134	0,094	0,9065	0,8980
1987/88	0,090	0,9317	0,9255	0,045	0,9829	0,9813	0,081	0,9451	0,94
1988/89	0,043	0,9773	0,9751	0,049	0,9697	0,9667	0,074	0,9315	0,9246

S- Desviación estándar de la regresión lineal.

R<sup>2</sup> - Coeficiente de determinación.

R<sup>2</sup><sub>A</sub> - Coeficiente de determinación ajustado.

análisis de regresión para cada modelo y conjunto de datos fue realizado empleando el programa existente en el Laboratorio de Informática de la Facultad de Agronomía y Veterinaria (UNRC)

De la información generada en el análisis de regresión de los modelos linearizados se obtuvieron los valores estimados del nivel inicial de incidencia y la tasa de incremento de la enfermedad (Tabla 1). A partir de estos parámetros se desarrollaron las ecuaciones de predicción de los modelos Exponencial, Logístico y Gompertz.

La bondad de ajuste de los distintos modelos fue evaluada considerando la significancia de los parámetros estimados, la dispersión de los residuos graficados respecto al tiempo, la desviación estándar de la regresión lineal y el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), los que constituyen un importante criterio de evaluación (Campbell and Madden, 1990; Madden, 1986).

También se consideraron los correspondientes coeficientes de determinación ajustados (R<sup>2</sup><sub>A</sub>) (Cornell y Berger, 1987)

## RESULTADOS

Las curvas epifíticas de la viruela del maní en las dos primeras campañas son aproximadamente coincidentes en el tiempo, mientras que la tercera se encuentra desplazada alrededor de tres semanas (Fig. 1). Según puede observarse en las tres curvas existen períodos en que se registran tasas epifíticas negativas.

En las tres campañas agrícolas en que se efectuaron los estudios la enfermedad comenzó a evaluarse cuando había alcanzado valores de incidencia relativamente elevados (Fig. 1).

En ninguno de los ciclos la incidencia alcanzó el valor 1 (uno), es decir, el máximo que puede alcanzar la curva epifítica cuando aquélla es expresada como proporción (Fig. 1).

Las tasas de incremento de la viruela del maní calculadas por regresión lineal simple, tuvieron el mismo valor en las tres campañas para el modelo Exponencial, variando para el Logístico y el de Gom-

**Tabla 3:** Ecuaciones de predicción de la viruela del maní.. Modelos Exponencial, Logístico y Gompertz

Campaña agrícola	Exponencial	Logístico	Gompertz
1986/87	$Y=1,14 e^{0,007 t}$	$y = \frac{1}{1+e^{(-2,18+0,059 t)}}$	$y=e^{(-3,08 e^{-(0,045 t)})}$
1987/88	$y=1,08.e^{0,007 t}$	$y = \frac{1}{1+e^{(-2,62+0,067 t)}}$	$y=e^{(-4,47 e^{-(0,053 t)})}$
1988/89	$y=1,10e^{0,007 t}$	$y = \frac{1}{1+e^{(-2,11+0,051 t)}}$	$y=e^{(-2,80 e^{-(0,037 t)})}$

y- Incidencia de la viruela del maní en proporción.

t- Tiempo en días.

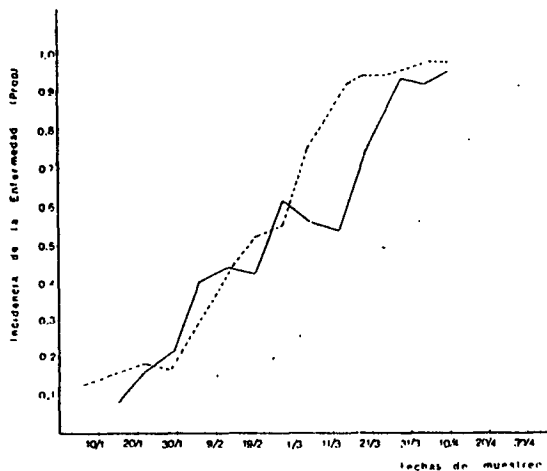


Fig. 1: Curvas epifíticas de la viruela del maní *Arachis hypogaea* L. correspondientes a las campañas agrícolas 1986/87 (—), 1987/88 (.....) y 1988/89 (-·-·-·-·-).

pertz (Tabla 1).

El análisis de regresión dio niveles de probabilidad altamente significativos ( $P < 0.01$ ) para los parámetros estimados de incidencia inicial y tasa de incremento de la enfermedad.

La dispersión de los residuos al ser graficados respecto al tiempo resultó al azar en todos los casos.

En general los valores de desviación estándar de la regresión lineal fueron bajos y los coeficientes de determinación  $R^2$  y  $R^2_A$  elevados (Tabla 2). Es interesante señalar que, mientras en las campañas 1986/87 y 1988/89 los menores valores de la desviación estándar y mayores de los coeficientes de determinación correspondieron al modelo Exponencial seguido por el Logístico, en el ciclo 1987/88 esta relación ocurrió para los modelos Logístico y de Gompertz respectivamente.

En la tabla 3 se encuentran desarrolladas las ecuaciones de predicción de los modelos Exponencial, Logístico y Gompertz.

## DISCUSION

La elección de los modelos matemáticos incluidos en este trabajo, se efectuó considerando que se trata de modelos teóricos que posibilitan una interpretación biológica de las epifitias (Madden, 1980, 1986)

Las epifitias de la viruela del maní en los tres ciclos en estudio estuvieron marcadamente influenciadas por la humedad relativa y las precipitaciones (March, datos no publicados), de allí el desplazamiento de la curva correspondiente al tercer año

A similitud de lo acontecido en los trabajos de Jensen y Boyle (1966), en algunos períodos se registraron tasas epifíticas negativas, lo cual puede atribuirse a una velocidad de crecimiento del cultivo superior al incremento de la incidencia de la enfermedad (Berger y Jones, 1985; Plaut y Berger, 1980).

Los elevados valores iniciales de incidencia registrados, se debieron a que los muestreos recién comenzaron a efectuarse sistemáticamente a partir del momento en que se observaron los primeros síntomas. Es necesario comenzar lo más temprano posible con la ejecución de las evaluaciones, para obtener así estimaciones más realistas de los parámetros epifíticos (Berger, 1977, 1980; Cornell y Berger, 1987).

En general se lograron buenos ajustes con los modelos evaluados. Uno de los factores que puede haber contribuido marcadamente en ello, es la frecuencia con que se realizaron las estimaciones de incidencia (Berger, 1980; Cornell y Berger, 1987). A este respecto es importante destacar que la misma se estableció considerando el período de latencia, el cual no es generalmente considerado por los investigadores (Berger, 1977).

El haber logrado con el modelo Exponencial los mejores ajustes en dos de los ciclos, puede atribuirse a los elevados valores iniciales de incidencia observados como consecuencia del comienzo tardío de los muestreos. También puede haber influido la cosecha anticipada del cultivo, lo cual no permitió alcanzar valores próximos al máximo en un número suficiente de estimaciones como para incidir en los ajustes. La importancia de los datos ubicados en los extremos sobre el ajuste de los modelos ha sido tratada ampliamente por Cornell y Berger (1987).

Si bien el modelo Exponencial no puede emplearse para efectuar predicciones más allá del máximo valor posible de incidencia (Jowett *et al.*, 1974; Madden, 1980; Zadoks y Schein, 1979), puede resultar satisfactorio para secciones limitadas de las epifitias (Madden, 1980).

Considerando que la tasa de incremento de una enfermedad resume la influencia de los diversos factores interactuantes en su desarrollo (Berger, 1977; Madden, 1980), los modelos Logístico y de Gompertz se mostraron más sensibles al mostrar valores diferentes en los tres ciclos. Así, es interesante señalar que en el ciclo 1988/89, caracterizado por una prolongada sequía, las tasas de incrementos en los modelos Logístico y de Gompertz fueron las menores para cada uno

Los resultados obtenidos en este trabajo indican la necesidad de comenzar a realizar los muestreos lo más temprano posible en el ciclo del cultivo, efectuándolos semanalmente hasta que se alcance el valor máximo de incidencia o próximos a él, en por lo menos tres oportunidades consecutivas. Además, las dife-

rencias en el desarrollo de la viruela del maní a lo largo de los años, como consecuencia de las condiciones ambientales particulares en cada uno de ellos, hacen imprescindible su cuantificación en numerosos ciclos para poder analizar adecuadamente el sistema viruela-maní (Johnson *et al.*, 1986)

Es importante reiterar que los modelos matemáticos nunca describirán exactamente la realidad que significa una epifitía (Madden, 1986), pero proporcionan elementos que utilizados racionalmente permiten analizar y comprender dicho fenómeno natural (Jeger, 1986)

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo subsidiado parcialmente a través del Programa 477 de Investigaciones de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) y por CONICOR

## BIBLIOGRAFIA

- Alderman, S.C., F.W. Nutter and J.L. Labrinos, 1989. Spatial and temporal analysis of spread of late leafspot of peanut. *Phytopathology* 79: 837-844
- Berger, R.D., 1977. Applications of epidemiological principles of achieve plant disease control. *Ann. Rev. Phytopathol.* 15: 165-183
- Berger, R.D., 1980. Comparison of the Gompertz and Logistic equations to describe plant disease progress. *Phytopathology* 71: 716-719.
- Berger, R.D. and J.W. Jones, 1985. A general model for disease progress with functions for variable latency and lesion expansion on growing host plants. *Phytopathology* 75: 792-797.
- Campbell, C.L. and L.V. Madden, 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley and Sons, New York, 532 pp.
- Cornell, J.A. and R.D. Berger, 1987. Factors that influence the value of the coefficient of determination in simple linear and nonlinear regression models. *Phytopathology* 77: 63-70.
- Freedman, J. and D.R. MacKenzie, 1987. Disease progress curves, their mathematical description and analysis to formulate predictors for loss equations. Págs. 37-48. En: *Crop loss assessment and pest management* (P.S. Teng, ed.) APS Press, Minnesota, 270 pp.
- Frezzi, M.J., 1960. Enfermedades del maní en la provincia de Córdoba. *RIA XIV*: 113-155.
- Giorda, L.M., E. Martellotto y E. Severina, 1984. Viruela del maní, características y manejo de la enfermedad. *Publicación de Extensión* 116, E.E.A. Manfredi-INTA.
- Hau, B. and J. Kranz, 1977. Ein vergleich verschiedener transformationen von Befallskurven. *Phytopathology Z* 88: 53-68.
- Jeger, M.J., 1984. The use of mathematical models in plant disease epidemiology. *Scientific Horticulture* 35: 11-27.
- Jeger, M.J., 1986. A symptotic behaviour and threshold criteria in model plant disease epidemics. *Plant Pathology* 35: 355-361.
- Jensen, R.E. and L.W. Boyle, 1965. The effect of temperature, relative humidity and precipitation on peanut leafspot. *Plant Disease Repr.* 49: 975-978
- Jensen, R.E. and L.W. Boyle, 1966. A technique for forecasting leafspot on peanuts. *Plant Disease Repr.* 50: 810-814.
- Johnson, C.S., P.M. Phipps and M.K. Beute, 1986. Cercospora leafspot management decisions: uses of a correlation between rainfall and disease severity to evaluate the Virginia leafspot advisory. *Phytopathology* 76: 860-863
- Jowell, D., J.A. Browning and B.C. Maning, 1974. Non-linear disease curves. Págs. 115-136. En: *Epidemics of Plant Diseases: Mathematical Analysis and Modeling* (J. Kranz, ed.) Springer-Verlag, New York, 170 pp.
- Kranz, J. and B. Hau, 1980. Systems analysis in epidemiology. *Ann. Rev. Phytopathol.* 18: 67-83.
- Madden, L.V., 1980. Quantification of disease progression. *Protection Ecology* 2: 159-176
- Madden, L.V., 1986. Statistical analysis and comparison of disease progress curves. Págs. 55-84. En: *Plant Disease epidemiology, population dynamics and management*, vol. 1 (K.J. Leonard and W.E. Fry, eds.) MacMillan Publishing Co., New York
- Madden, L.V. and C.L. Campbell, 1986. Descriptions of virus disease epidemics in time and space. Págs. 273-293. En: *Plant virus Epidemics: monitoring, modeling and predicting outbreaks* (G.D. MacLean, R.G. Garret and W.G. Ruessing, eds.) Academic Press, Australia.
- Marinelli, A.D., S.L. Lenardon y M. Alcalde, 1987. Estudios bioecológicos de la viruela del maní: caracterización macro y microscópica. *II Jornadas Científico-Técnicas de la Facultad de Agronomía y Veterinaria (UNRC)*, Actas de Resúmenes, pág. 69.
- Plaut, J.L. and R.D. Berger, 1980. Development of *Cercosporidium personatum* in three peanut canopy layers. *Peanut Science* 7: 46-49.
- Shrum, R.D., 1978. Forecasting of epidemics. Págs. 223-238. En: *Plant Disease, and advanced treatise*, vol. II (Horsfall y Cowling, eds.) Academic Press, New York, 436 pp.
- Zadoks, J.C. and R.D. Schein, 1979. *Epidemiology and plant disease management*. Oxford University Press, New York, 427 pp.