

Epidemiología de la mancha vellosa (*Mycosphaerella caryigena*) y su impacto en la defoliación del nogal pecanero

Epidemics caused by *Mycosphaerella caryigena* and their impact in defoliation pecan tree

José Alfredo Samaniego-Gaxiola^{1§}, Heriberto Aguilar-Pérez², Aurelio Pedroza-Sandoval³. ¹Centro de Investigación Regional Norte Centro-INIFAP, km 17 carretera Torreón-Matamoros, Coahuila. C. P. 27440 Tel: 871 82-30-81. ²Junta Local de Sanidad Vegetal de Zaragoza, del Estado de Coahuila Km 12 Carretera Zaragoza Cd. Acuña. Cp. 26450, Zaragoza, Coah. Tel. 01 (862) 621-25-11, 626-04-50. ³Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Gómez Palacio-Cd. Juárez, Chihuahua, km 38.5, C. P. 35230. Tel: (872) 77-60-190. Fax. (872) 77-600-43. Bermejillo, Durango. [§]Autor para correspondencia: samaniego.jose@inifap.gob.mx.

Recibido: Marzo 30, 2015.

Aceptado: Junio 29, 2015.

Samaniego-Gaxiola JA, Aguilar-Pérez H y Pedroza-Sandoval A. 2015. Epidemiología de la mancha vellosa (*Mycosphaerella caryigena*) y su impacto en la defoliación del nogal pecanero. Revista Mexicana de Fitopatología 33: 211-218.

Resumen. En el nogal pecanero, el hongo *Mycosphaerella caryigena* es el agente causal de la mancha vellosa, el cual induce lesiones en el follaje hasta causar la defoliación. En los años 1998, 1999 y 2014, se evaluaron nueve modelos epidemiológicos de lesión/hoja vs tiempo. En 1992, se ensayaron modelos epidemiológicos para la captura de esporas vs tiempo. En 1998, también se evaluó lesiones/hoja vs defoliación y defoliación vs tiempo. Las epidemias de 1998, 1999 y 2014 ajustaron a los modelos Logístico Ln, Gompertz y Logístico Ln, respectivamente. La defoliación del nogal por *M. caryigena* en 1998 inició en agosto y culminó con 95 % en septiembre. Los modelos Gompertz y Log₁₀ tuvieron el mejor ajuste para defoliación vs

Abstract. In the pecan tree, the fungus *Mycosphaerella caryigena* is the causal agent of the pecan downy spot, which causes injury on foliage and defoliation. In the years 1998, 1999 and 2014, ten epidemiological models of lesion/leaf vs time were evaluated. In 1992, epidemiological models were tested for the capture of spores vs. time. In 1998, lesions / leaf defoliation and defoliation vs time was also evaluated. The epidemics of 1998, 1999 and 2014 fitted the models of Logistic Ln, Gompertz and Logistic Ln, respectively. Defoliation of pecan tree by *M. caryigena* began in August 1998 and ended with 95 % in September. The Gompertz and Log₁₀ models were the best fit for defoliation vs time and lesions/leaf vs defoliation with R^2 0.924 and 0.937, respectively. The capture of spores of *M. caryigena* was > 50 % from April to May; the monomolecular model was the best fit to the capture of spores (R^2 0.948). The lesions/leaf appeared in June and were > 100 in September, just when the defoliation reached > 90 %. The models lesions/leaf vs time, suggest prolonged periods to

tiempo y lesiones/hoja vs defoliación con R^2 0.924 y 0.937, respectivamente. La captura de esporas de *M. caryigena* fue > 50 % de abril a mayo; el modelo monomolecular fue el que mejor ajustó a la captura de esporas (R^2 0.948). Las lesiones/hoja aparecieron en junio y fueron > 100 en septiembre justo cuando la defoliación alcanzó > 90 %. Los modelos lesiones/hoja vs tiempo, sugieren períodos prolongados para producir el inóculo y de incubación del hongo en la hoja, lo cual coincide con lo que se conoce del ciclo de la enfermedad.

Palabras clave: Hongos, follaje, enfermedades.

El norte de los estados de Coahuila y de Nuevo León, México, son zonas húmedas y cálidas donde se cultiva el nogal pecanero (*Carya illinoensis*) (Wangenh.) K.Koch en una superficie aproximada de 10 mil ha (SAGARPA, 2013). Ambas zonas son favorables para patógenos foliares del nogal, entre los que destacan *Fusicladium effusum* G. Winter, agente causal de la costra o roña; *Cercospora fusca* F.V. Rand, mancha café; *Gnomonia dispersa* Demaree & Cole, mancha de las venas de la hoja; *Colletorichum* spp., antracnosis; *Microsphaera penicillata* (Wallr.) Lév. y *Trichothecium roseum* (Pers.) Link, moho o mildiu; y la mancha vellosa por *Mycosphaerella caryigena* Demaree & Cole, respectivamente (Aguilar-Pérez, 2014).

La mancha vellosa junto con la roña son las enfermedades foliares más importantes del nogal en México y en Estados Unidos de Norteamérica (Aguilar-Pérez, 2014; Latham, 1982; Sparks, 1995).

Las especies de *Mycosphaerella*, que atacan el follaje de los cultivos agrícolas, afectan negativamente su fisiología y en el caso particular del nogal prematuramente lo defolian, lo que afecta el rendimiento y calidad de la nuez durante el mismo

produce the inoculum and the incubation of the fungus on the leaf, which coincides with what is known of the disease cycle.

Key words: Fungi, foliage, diseases.

The northern areas of the states of Coahuila and Nuevo León, Mexico, are humid and warm areas in which the pecan tree (*Carya illinoensis* Wangenh. K.Koch) is grown in a surface of approximately 10,000 ha (SAGARPA, 2013). Both areas are favorable for foliar pathogens of the pecan tree, the most prominent being *Fusicladium effusum* G. Winter, causal agent of scabs; *Cercospora fusca* F.V. Rand, brown spot; *Gnomonia dispersa* Demaree & Cole, stains in the veins of the leaf; *Colletorichum* spp., anthracnose; *Microsphaera penicillata* (Wallr.) Lév. and *Trichothecium roseum* (Pers.) Link, mildew; and the downy spot caused by *Mycosphaerella caryigena* Demaree & Cole, respectively (Aguilar-Pérez, 2014).

Downy spots, along with scabs, are the most important foliar diseases of the pecan tree in Mexico and the United States (Aguilar-Pérez, 2014; Latham, 1982; Sparks, 1995).

The species of *Mycosphaerella* that attack the foliage of agricultural crops affect their physiology in a negative manner. In the case of the pecan tree, *Mycosphaerella* causes premature defoliation affecting the yield and quality of the nut throughout that year and the following one (Andersen *et al.*, 1990; Pinkard y Mohammed, 2006; Rodríguez-Gaviria and Cayón, 2008).

In Northern Coahuila, it has been confirmed that the leaves of the pecan tree can have spots or lesions caused by *M. caryigena* that, when ripe, cause the leaves to fall (Aguilar-Pérez, 2014). The study of the epidemiology of the disease will contribute to improve its management, particularly the levels of inoculum and seasons in which the

y siguiente año (Andersen *et al.*, 1990; Pinkard y Mohammed, 2006; Rodríguez-Gaviria y Cayón, 2008).

En el norte de Coahuila, se ha consignado que las hojas del nogal pueden tener manchas o lesiones provocadas por *M. caryigena*, que al madurar provocan la caída del follaje (Aguilar-Pérez, 2014). El estudio de la epidemiología de la enfermedad contribuirá a su mejor manejo, particularmente los niveles de inóculo y época en los que la enfermedad causa daño (defoliación) al nogal. Los objetivos del presente se encaminan al análisis de epidemias de la mancha vellosa en nogal (lesiones/hoja), la captura de esporas a través del tiempo y el uso potencial de ambas para estimar la defoliación prematura del cultivo.

El estudio se efectuó en las huertas de nogal: SEZAR-INIFAP (1998), Santo Cristo (1999) y el Caracol (2014) localizadas en los municipios de Zaragoza, Villa Unión y Zaragoza, Coahuila, respectivamente. En cada huerta se seleccionaron cinco árboles en las áreas con antecedentes de mancha vellosa. En cada árbol se contabilizaron las lesiones provocadas por *M. caryigena* (manchas/hoja) en las hojas de 10 brotes seleccionados al azar. Para cada año (1998, 1999 y 2014), los recuentos de lesiones se realizaron de abril hasta finales de septiembre. Los datos del recuento de las lesiones se procesaron para determinar el modelo epidemiológico (lesiones vs tiempo) con mejor ajuste. Los modelos ajustados fueron Monomolecular, Gompertz, Logístico, Exponencial, \log_{10} y los primeros cuatro en donde a la variable tiempo se le aplicó el logaritmo natural (Ln) (Campbell y Madden, 1990). Asimismo, en el follaje de los árboles de la huerta SEZAR-INIFAP se cuantificó la defoliación en una escala visual 1, 2, 3, 4 y 5 en donde el follaje en el árbol fue > 90, 90-50, < 50-25, < 25-10 y 0 %, respectivamente. Los modelos epidemiológicos mencionados, se corrieron para los datos de

disease causes damage (defoliation) to the tree. The aims of this investigation lead us to the analysis of downy spot epidemics in the pecan tree (lesions/leaf), the capture of spores in time and the potential use of both to estimate the premature defoliation of the crop.

The study was carried out in the pecan tree orchards in SEZAR-INIFAP (1998), Santo Cristo (1999), and el Caracol (2014) located in the municipal areas of Zaragoza, Villa Unión, and Zaragoza, Coahuila, respectively. In each orchard, five trees were selected in the areas with downy spot backgrounds. The lesions caused by *M. caryigena* (spot/leaf) in each tree were counted in the leaves of 10 sprouts randomly chosen. For each year (1998, 1999, and 2014), the lesions were counted between April and late September. The data of the lesion count were processed to determine the epidemiological model (lesions vs time) with a better adjustment. The adjusted models were Monomolecular, Gompertz, Logistic, Exponential, \log_{10} , and in the first four the natural logarithm (Ln) (Campbell and Madden, 1990) was applied to the variable of time. Likewise, in the foliage of the trees in the orchard SEZAR-INIFAP, defoliation was quantified on a visual scale 1, 2, 3, 4, and 5, where the foliage in the tree was > 90, 90-50, < 50-25, < 25-10, and 0 %, respectively. The epidemiological models mentioned were run for the data on defoliation vs time and lesions. In 1992, in the orchard of Santo Cristo, the spores of *M. Caryigena* were captured. This capture was carried out using a vane-style spore trapper with a hygrothermograph cylinder, where the spores were counted for 24 h on a sheet of graph paper containing Vaseline. The base of the trapper contained an inverted fan for air suction, which entered the cylinder through an orifice located approximately 60 cm from the floor. This trapper worked with a car battery, and was placed in the

defoliación vs tiempo y lesiones. En 1992, en la huerta Santo Cristo, se capturaron las esporas de *M. caryigena*. La captura de esporas se realizó con un trampeador de esporas tipo veleta con un cilindro de higrotermógrafo, donde se contabilizaron las capturas durante 24 h en un papel milimétrico impregnado con vaselina. El trampeador contenía en la base un ventilador invertido para la succión de aire, el cual entraba al cilindro por un orificio ubicado aproximadamente a 60 cm del suelo. Este trampeador funcionaba con una batería de automóvil y se colocó al centro del área de goteo de un árbol en el centro de la huerta; las capturas de 1992, se realizaron de marzo a septiembre y se expresan como esporas/día. Los datos de las esporas capturadas se ajustaron a los modelos señalados.

La dinámica de lesiones/hoja a través del ciclo del cultivo, en las tres huertas y años correspondientes, se indican en la Figura 1. Las lesiones se caracterizaron por ser manchas cloróticas circulares con aspecto aceitoso y diámetro de 3 a 6 mm, que se tornan plateadas y posteriormente café claro. En las tres huertas la defoliación después de la mitad del mes de septiembre fue mayor al 90 %. Las lesiones en la hoja siempre aparecieron a finales del mes de junio y más de 100 lesiones/hoja se contabilizaron hacia mediados de septiembre Cuadro 1. Al ajustar los datos de la Figura 1 a los modelos epidemiológicos, resultó que para las epidemias de 1998, 1999 y 2014 los modelos con mejor ajuste fueron Logístico Ln, Gompertz y Logístico Ln, respectivamente (Cuadro 2).

La defoliación prematura provocada por *M. caryigena* en los nogales durante 1998 de la huerta SEZAR-INIFAP inició a mediados de agosto y alcanzó un máximo de 95 % a finales de septiembre. Los modelos Gompertz y modelo Log_{10} fueron los de mejor ajuste para defoliación vs tiempo y lesiones/hoja vs defoliación con R^2 0.924 y 0.937, respectivamente.

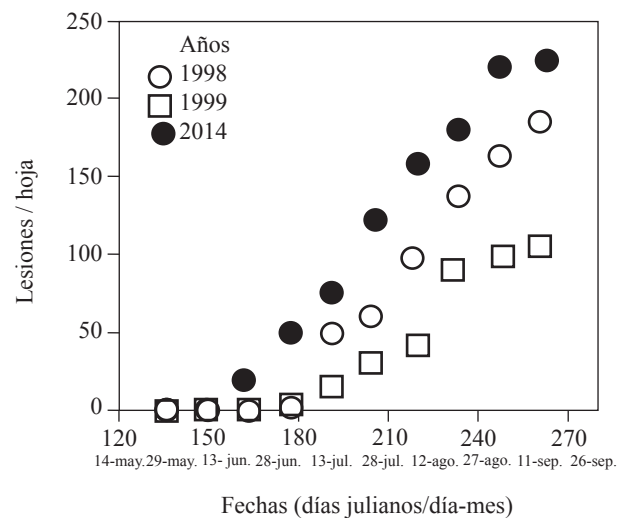


Figura 1. Dinámica de lesiones/hoja por fecha durante los años 1998, 1999 y 2014.

Figure 1. Dynamics of lesions/leaf by date in 1998, 1999, and 2014.

middle of a tree's dripping area in the middle of the orchard; the 1992 captures were carried out between March and September and are expressed as spores/day. The data of the spores captured were adjusted to the models pointed out.

The dynamics of lesions/leaf throughout the plating cycle in the three orchards in the corresponding years are presented in Figure 1. The lesions are round chlorotic spots with an oily appearance and a diameter of 3 to 6 mm that turn silvery and then light brown. In all three orchards, defoliation after mid September was over 90 %. The lesions always appeared on the leaves in late June and over 100 lesions/leaf were counted towards mid-September (Table 1). When adjusting the data of Figure 1 to the epidemiological models, it turned out that for the epidemic of 1998, 1999, and 2014, the best-adjusted models were Logistic Ln, Gompertz, and Logistic Ln, respectively (Table 2).

Premature defoliation caused by *M. caryigena* in pecan trees during 1998 in the orchard of

Cuadro 1. Fechas de inicio de las primeras lesiones/hoja provocadas por *M. caryigena*, y fecha final en la que se alcanzan más de 100 lesiones/hoja durante distintos años.

Table 1. Starting dates of the first lesions/leaf caused by *M. caryigena*, and final date in which more than 100 lesions/leaf are reached in different years

	Fechas en:		Lesiones por años		
	Días julianos	Mes-días	1998	1999	2014
Inicio	177	25-jun	2	5	49
Final	261	17-sep	185	105	225

En la huerta Santo Cristo, la captura de esporas de *M. caryigena* de mediados de abril a mediados de mayo fue más del 50 % del total de esporas capturadas (Figura 2); el modelo monomolecular fue el que mejor ajustó a la captura de esporas vs tiempo, con una R^2 0.948, lo que sugiere que la fuente de inóculo proviene de la descarga de esporas a partir de un solo punto.

Los datos presentados en el Cuadro 1, indican que la enfermedad inicialmente se manifiesta durante junio y que al alcanzar 100 o más manchas/hoja en agosto provocará por lo menos 90 % de defoliación.

Los modelos de predicción para las enfermedades provocadas por *Mycosphaerella* spp. son útiles para el manejo de las enfermedades en los cultivos

SEZAR-INIFAP began in mid-August and reached a maximum of 95 % towards the end of September. The models Gompertz and model Log_{10} had the best adjustments for defoliation vs time and lesions/leaf vs defoliation with R^2 0.924 y 0.937, respectively.

In the orchard of Santo Cristo, the capture of *M. caryigena* spores, from mid-April to mid-May accounted for over 50 % of the total of spores captured (Figure 2); the monomolecular model was the best adjusted to the capture of spores vs time, with a R^2 0.948, suggesting that the source of inoculum comes from the discharge of spores from one point.

The data in Table 1 indicate that the disease initially manifested itself in June, and that after reaching 100 or more spot/leaf in August, the disease will cause a defoliation of at least 90 %.

The prediction models for the diseases caused by *Mycosphaerella* spp. are useful. The model developed by Salam *et al.* (2009) determined that when capturing more than 40 % of *Mycosphaerella pinodes* ascospores, cause significant damage to pea (*Pisum sativum* L) plantations. The data on Figure 2 suggest that around 50 % of the *M. caryigena* spores are produced in April-May and cause significant damage (defoliation) three months later. When measuring the effects of the downy spot on the pecan tree, foliage discoloration,

Cuadro 2. Modelos epidemiológicos y su ajuste a las epifitias (lesiones/hoja) en distintos años, números en negritas modelo con mejor ajuste (R^2).

Table 2. Epidemiological models and their adjustment to the epifitias (lesions/leaf) in different years, numbers in bold with better adjustment (R^2).

Año	Modelos [‡]								
	Exp	Exp Ln	Mono	Mono Ln	Logis	Logis Ln	Gomp	Gomp Ln	Log_{10}
1998	0.811	0.873	0.811	0.744	0.971	0.977	0.938	0.899	0.954
1999	0.765	0.823	0.854	0.794	0.929	0.954	0.968	0.943	0.944
2014	0.747	0.796	0.826	0.782	0.930	0.947	0.940	0.919	0.912

[‡] Los modelos: Exp, Mono, Logis, Gomp y Log_{10} , corresponden a Exponencial, Monomolecular, Logístico y Gompertz, respectivamente. Los primeros cuatro modelos se les aplicaron logaritmo natural (Ln) / [‡]The models: Exp, Mono, Logis, Gomp, and Log_{10} , correspond to Exponential, Monomolecular, Logistic and Gompertz, respectively. The first four models were applied a natural logarithm (Ln).

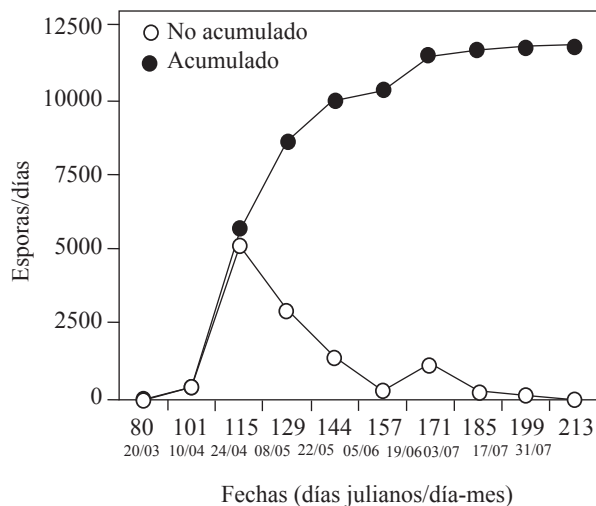


Figura 2. Captura de esporas de *M. caryigena* durante el año 1992 en la huerta Santo Cristo, municipio de Villa Unión Zaragoza, Coahuila. Acumulado, o suma de esporas capturadas; no acumulado, esporas capturadas en la fecha de muestreo.

Figure 2. Capture of *M. caryigena* spores in 1992 in the Santo Cristo orchard, in the municipal area of Villa Unión Zaragoza, Coahuila. Accumulated, or amount of spores captured; not accumulated, spores captured in the date of sampling.

agrícolas, destaca el modelo desarrollado por Salam *et al.* (2009) en donde determinaron que al capturar más del 40 % de ascosporas de *Mycosphaerella pinodes* causa daño significativo al cultivo de chícharo (*Pisum sativum* L). Los datos de la Figura 2 sugieren que alrededor del 50 % de las esporas de *M. caryigena* se producen durante abril-mayo, lo que causa un daño significativo (defoliación) tres meses después. Al medir los efectos de la mancha vellosa en el nogal pecanero, también podría tomarse en cuenta la decoloración del follaje, su necrosis y defoliación para integrarse en un mejor modelo de daño, semejante al desarrollado para el *Eucalyptus* spp. en Australia (Stone *et al.*, 2003).

Ambos modelos, Logístico Ln y Gompertz son variante del modelo logístico. En el primero, el tiempo se ajusta logarítmicamente, en el segundo, la parte exponencial de la epifitias se adelanta o retrasa

its necrosis, and defoliation could also be taken into account in a better damage model, similar to the one developed for *Eucalyptus* spp. in Australia (Stone *et al.*, 2003).

Both models, Logistic Ln and Gompertz, are variants of the logistic model; in the first one, the exponential part of the epidemic comes early or late in time compared to the logistic model. In this investigation, the two models that predominated in lesions/leaf vs time, along with the periods of latency, weeks long, allocated for *M. caryigena* (Goff *et al.*, 1987) suggest that the appearance of the symptoms is delayed in time, if we consider that the spores in the environment are abundant between March and May (Figure 2). The inoculum of *M. caryigena* is known to be produced in the leaves that fall to the ground and hibernate (months), where pseudothecia form, grow, and finally release ascospores (Goff *et al.*, 1987).

Downy spots have a wide variability, both in the manifestation of lesions/leaf and in defoliation. For example, in the years 2000 and 2005, a variation of 50 to more than 300 lesions/lea was recorded, respectively (data not shown).

Downy spots are currently handled using preventive, curative, and unconventional (plant extract) fungicides, as well as with the use of pecan trees that are resistant to the disease (Aguilar-Pérez, 2014).

The use of fungicides in *Mycosphaerella* spp. has caused a resistance to the fungus (Aguilar-Barragán *et al.*, 2014); to avoid a possible resistance of *M. caryigena*, plant extracts was evaluated for their use on the pecan tree (Aguilar-Pérez, 2008; Patiño *et al.*, 2007).

Being able to record weather factors such as temperature, humidity, and wind inside the orchards, related to downy spots in the pecan tree, will undoubtedly help to optimize and predict the disease-environment-time models.

en el tiempo al compararlo con el modelo logístico. En este trabajo, los dos modelos que predominaron en lesiones/hoja vs tiempo, aunado a los períodos de latencia de semanas consignado para *M. caryigena* (Goff *et al.*, 1987) nos sugieren que la aparición de los síntomas se retarda en el tiempo, si consideramos que las esporas en el ambiente son abundantes desde marzo a mayo (Figura 2). Se sabe que el inóculo de *M. caryigena* se produce en el follaje que cae al suelo e inverna (meses), en donde se forman y maduran pseudotecios que finalmente liberan ascosporas (Goff *et al.*, 1987).

La mancha vellosa tiene una variabilidad amplia tanto en la manifestación de lesiones/hoja como en la defoliación. Por ejemplo, durante los años 2000 y 2005 se registró una variación de 50 a más de 300 lesiones/hoja, respectivamente (datos no mostrados).

El manejo de la mancha vellosa actualmente se hace con fungicidas preventivos, curativos y no convencionales (extractos de plantas) y con el uso de variedades de nogal resistentes a la enfermedad (Aguilar-Pérez, 2014).

El manejo de las enfermedades provocadas por *Mycosphaerella* spp. usando fungicidas ha ocasionado resistencia del hongo (Aguilar-Barragán *et al.*, 2014), para evitar una posible resistencia de *M. caryigena*, se evaluaron extractos de plantas para su control en el nogal pecanero (Aguilar-Pérez, 2008; Patiño *et al.*, 2007).

El poder registrar factores del estado del tiempo como temperatura, humedad y viento dentro de las huertas de nogal asociados a la mancha vellosa en el nogal, sin duda ayudarían a optimizar y predecir modelos de enfermedad-ambiente-tiempo. Otra asignatura pendiente lo es la parte taxonómica de *Mycosphaerella* en el nogal pecanero, pues al respecto no se tienen estudios en México. Las especies de *Mycosphaerella* constantemente se están reubicando taxonómicamente, debido a que el

Another unresolved theme is the taxonomic part of *Mycosphaerella* in the pecan tree, since there is no study on this in Mexico. The *Mycosphaerella* species are constantly being taxonomically relocated, since the genus has a polyphyletic origin, anamorphic states and species encrypted, all in relation to its pathogenesis in susceptible agricultural crops (Crous, 2009; Crous *et al.*, 2004 and 2007).

In short, the *M. caryigena* epidemics in pecan trees become evident as of June. If the lesions/leaf are 100 or more by September, defoliation will be at least 90 %.

Acknowledgements

The authors wish to thank the SAGARPA-COANCYT Fund for funding investigation and publication of this work, which was performed through the project code 2011-13-175247.

~~~~~ End of the English version ~~~~~

género tiene origen polifilético, estados anamorfos y especies encriptadas, todo ello relacionado con su patogénesis en los cultivos agrícolas susceptibles (Crous, 2009; Crous *et al.*, 2004 y 2007).

En suma, las epidemias de *M. caryigena* en el nogal pecanero se hacen evidentes a partir del mes de junio, si las lesiones/hoja son 100 o más para el mes de septiembre, la defoliación será de por lo menos un 90 %.

#### Agradecimientos

Los autores, agradecen al Fondo SAGARPA-CONACYT por el financiamiento de la investigación y publicación de este trabajo, el que se realizó a través del proyecto clave 2011-13-175247.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Barragán, A., García-Torres, A. E., Odriozola-Casas, O., Macedo-Raygoza, M., Tetsuya Ogura., Manzo-Sánchez, G., James, C. A., Islas-Flores, I. and Beltrán-García, M. I. 2014. Chemical management in fungicide sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* collected from banana fields in México. *Brazilian Journal of Microbiology* 45: 359-364.
- Aguilar-Pérez, H. 2008. Fungicidas orgánicos para el control de la mancha vellosa del nogal. Ficha tecnológica por sistema producto. Páginas 75-76. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/815/289.pdf?sequence=1>.
- Aguilar-Pérez, H. 2014. Manual para el Manejo Orgánico del Nogal Pecanero. Palibrio. Estados Unidos. 274 p.
- Andersen PC, Aldrich JH and Gould AB. 1990. Impact of pecan leaf blotch on gas exchange of pecan leaves. *Plant Disease* 74: 203-207.
- Campbell CL and Madden LD. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Son. 532 p.
- Crous PW. 2009. Taxonomy and phylogeny of the genus *Mycosphaerella* and its anamorphs. *Fungal Diversity* 38: 1-24.
- Crous PW, Groenewald JZ, Pongpanich K, Himaman W, Arzanlou M and Wingfield MJ. 2004. Cryptic speciation and host specificity among *Mycosphaerella* spp. occurring on Australian Acacia species grown as exotics in the tropics. *Studies in Mycology* 50: 457-469.
- Crous PW, Braun U. and Groenewald, J. Z. 2007. *Mycosphaerella* is polyphyletic. *Studies in Mycology* 58: 1-32.
- Goff WD, Drye CE and Miller RW. 1987. Ecology and epidemiology of pecan downy spot. *Phytopathology* 77: 491-496.
- Latham AJ. 1982. Effects of some weather factors and *Fusicladium effusum* conidia dispersal on pecan scab occurrence [*Carya illinoensis*]. *Phytopathology* 72: 1339-1345.
- Patiño LF, Bustamante E y Salazar LM. 2007. Efecto de Sustratos Foliare Sobre la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en Banano (*Musa × paradisiaca* L.) y Plátano (*Musa acuminata* Colla). *Agricultura Técnica* 67: 437-445.
- Pinkard EA and Mohammed CL. 2006. Photosynthesis of *Eucalyptus globulus* with *Mycosphaerella* leaf disease. *New Phytologist* 170: 119-127.
- Rodríguez-Gaviria PA y Cayón G. 2008. Efecto de *Mycosphaerella fijiensis* sobre la fisiología de la hoja de banano. *Agronomía Colombiana* 262: 256-265.
- SAGARPA. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta, 1980-2012. México, DF, 2013.
- Salam MU, Galloway J, MacLeod WJ, Seymour M, Pritchard I, Barbetti MJ and Maling T. 2009. Translating research into the field: meta-analysis of field pea blackspot severity and yield loss to extend model application for disease management in Western Australia. In APPS 2009: Plant Health Management: An Integrated Approach: Abstracts of the 17th Australasian Plant Pathology Conference (pp. 74-74). APPS.
- Sparks D. 1995. A climatic approach to pecan scab control. *Hort-Technology* 5: 225-230.
- Stone C, Parsons M, Matsuki M and Carnegie AJ. 2003. Pest and disease assessment in young eucalypt plantations: Field Manual for using the Crown Damage Index. Bureau of Rural Sciences. Australia. 30 p.