

## Comportamiento de la Pudrición Texana (*Phymatotrichopsis omnivora*) en Vivero de Nogales

### Behavior of the Cotton Root Rot (*Phymatotrichopsis omnivora*) in a Pecan Plant Nursery

**José Alfredo Samaniego Gaxiola**, INIFAP, Campo Experimental La Laguna, Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte., Col. Centro, Matamoros, Coahuila, CP 27440, México; **Ana Aurora Fontes Puebla**, INIFAP, Campo Experimental Costa de Hermosillo, Blvd. del Bosque No.7 Esq. Paseo de la Pradera, Col. Valle Verde, Hermosillo, Sonora, CP 83200, México; **Socorro Héctor Tarango Rivero**, INIFAP, Campo Experimental Delicias, km 2 Carretera Delicias-Rosales, Delicias, Chihuahua, CP 33000, México; **Aurelio Pedroza Sandoval**, Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, CP 56230, México. Correspondencia: samaniego.jose@inifap.gob.mx

(Recibido: Febrero 07, 2014 Aceptado: Agosto 14, 2014)

Samaniego Gaxiola JA, Fontes Puebla AA, Tarango Rivero SH y Pedroza Sandoval A. 2014. Comportamiento de la pudrición texana (*Phymatotrichopsis omnivora*) en vivero de nogales. Revista Mexicana de Fitopatología 32: 26-37.

**Resumen.** Se establecieron 14 parcelas en suelo con presencia de *Phymatotrichopsis omnivora*. Los objetivos fueron determinar en nogales muertos por el hongo en el 2013: i) mortandad *versus* lluvia; ii) modelos epidemiológicos de la enfermedad; iii) incidencia *versus* población por parcela y tamaño de árboles; iv) diámetro de tallo *versus* crecimiento del brote principal, de acuerdo a los días julianos en las que el árbol murió; v) mortandad de árboles establecidos en parcelas o bolsas con suelo previamente desecados *versus* los establecidos en suelo no desecado. Murieron 93 nogales en 98 días cuando llovió 5.8 mm, pero con 58 mm de lluvia murieron 85 árboles en 48 d. Predominó el modelo monomolecular, lo que sugiere que el inóculo en nogales muertos no se incrementó lo suficiente para contagiar nogales sanos en ese mismo año. El número de árboles por parcelas *versus* mortandad tuvo un coeficiente de determinación de 0.905. La enfermedad mató de manera indistinta a los nogales sin importar su tamaño. El tamaño de brote varió fuertemente para un mismo diámetro de tallo, lo que sugiere que el ataque del hongo a las raíces fue previo a la brotación. Sólo nogales establecidos en suelo desecado no murieron.

Palabras clave adicionales: Hongos fitopatógenos, suelo, control.

El cultivo de nogal pecanero *Carya illinoensis* [(Wangenh.) K. Koch] actualmente tiene en México importancia económica y crecimiento en superficie. En el estado de Chihuahua, se han establecido 20 mil ha de nogal desde el año 2003 al 2013 (SAGARPA, 2013). Un factor limitante del cultivo es la pudrición texana asociada

**Abstract.** Fourteen plots were established in soil with the presence of *Phymatotrichopsis omnivora*. The objectives were to determine in dead pecans by the fungus in 2013: I) tree death rate *versus*; ii) epidemiological models for disease development; iii) disease incidence *versus* population per plot and trees' size; iv) stem diameter *versus* growth of the principal bud, according to the Julian days in which the tree died; v) mortality of the trees established in plots or bags with soil previously dried *versus* the ones established in undried soil. Ninety three pecan trees died in 98 days when it rained 5.8mm, but with 58mm, 85 trees died in 48 d. The monomolecular model predominated, which suggests that the inoculum in dead pecan trees did not increased enough to spread the disease into healthy pecan trees during that year. The number of trees per plot *versus* the mortality had a determination coefficient of 0.905. The disease killed pecan trees regardless their size. Bud's size varied greatly for the same stem's diameter, which suggests that, the attack of the fungus to the roots was previous to bud initiation. Only the pecan trees established in the undried soil did not die.

Additional keywords: Phytopathogenic fungi, soil, control.

Cultivation of pecan *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) in Mexico currently has economic significance and surface growth. In Chihuahua State, from 2003 to 2013, 20 thousand ha of pecan have been established (SAGARPA, 2013). As a limiting factor of this cultivar is the disease known as cotton root rot caused by *Phymatotrichopsis omnivora* (Duggar) Hennebert. In Mexico, it is the most important pecan root disease, its incidence may vary from less than 3 to more than 25% of pecan trees, and the severity ranges from mild symptoms (estimate 90% of foliage affected) to tree death (Samaniego -Gaxiola *et al.*, 2001); roots of the trees invaded by the fungus

al hongo *Phymatotrichopsis omnivora* (Duggar) Hennebert. En México, es la enfermedad más importante de las raíces del nogal, cuya incidencia puede variar de menos del 3 a más del 25% de nogales y la severidad oscila de síntomas leves (estimación de 90% de follaje afectado) a muerte del árbol (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2001). Las raíces invadidas por el hongo mueren con la consecuente reducción del follaje (Streets y Bloss, 1973). Los nogales menores a 13 años son los susceptibles ((Herrera-Pérez y Samaniego-Gaxiola, 2002), pero no se han estudiado aspectos epidemiológicos en viveros con nogales en desarrollo y hasta los cuatro años.

Algunos productores obtienen sus propios nogales a partir de la nuez que siembran, ello les permite un ahorro significativo durante el establecimiento o reposición de árboles dentro de las huertas. Cuando se establecen viveros de nogales dentro de la huerta, se aprovecha la sombra de los nogales adultos, el agua y el mismo espacio. Sin embargo, si el suelo está infestado con *P. omnivora*, las plántulas y nogales de hasta cuatro años de edad pueden morir a causa del hongo (Herrera-Pérez y Samaniego-Gaxiola, 2002).

Por otra parte, la escasa humedad en el suelo no favorece la expresión de síntomas de pudrición texana en el cultivo del algodónero (Rush, 1984; Rush *et al.*, 1984 a); así mismo, los esclerocios de *P. omnivora* empiezan a morir cuando se les deseca (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2010). Lo anterior, sugiere que el inóculo de *P. omnivora* podría disminuir si se deseca el suelo y por ende la incidencia de la enfermedad disminuirá.

La expresión de pudrición texana en nogales de vivero dentro de la huerta de nogal, podría estar en función de factores como lluvia, población de árboles por unidad de área establecida, susceptibilidad de los árboles según su tamaño (alto y diámetro de tallo) y efecto del desecado del suelo. El estudio de todos estos factores, con respecto a la epidemiología de la pudrición texana son los objetivos de este trabajo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización del sitio de estudio.** El trabajo se realizó en la huerta "Hormiguero" ubicada en Matamoros, Coahuila, México a 25° 41.267', -103° 19.879'. En marzo del 2010, en suelo naturalmente infestado por *P. omnivora*, se establecieron catorce parcelas de 120 m de largo por 1 m de ancho, en cada parcela se sembraron cuatro semillas de nuez por metro lineal de la variedad Riverside. Cada parcela se estableció entre dos líneas de nogales de 30 años de edad. Para el año 2013, sólo 1501 nogales sobrevivieron de las 6720 semillas sembradas en 2010.

**Dinámica de la enfermedad versus lluvia.** Durante el 2013, se realizaron siete recuentos de nogales muertos por la enfermedad, el primero a los 120 y los siguientes a los 150, 162, 218, 232, 248 y 267 días julianos. Para el número acumulado de nogales muertos versus precipitación acumulada del día 120 al 267 se obtuvo una línea de tendencia polinómica con su ajuste o coeficiente de determinación ( $R^2$ ). De cada nogal muerto, se extrajo y observó en sus raíces la presencia de cordones de *P. omnivora* para comprobar su muerte asociada al hongo

usualmente die resultando en una reducción de follaje (Streets and Bloss, 1973); pecan trees under 13 years old are particularly susceptible (Herrera-Pérez and Samaniego-Gaxiola, 2002), but there are no epidemiological studies in nurseries with developing up to four year old pecan trees.

Some producers get their own pecan trees from their own seed, this allows them significant savings during the establishment or replacement of trees within the orchards. When pecan nurseries are established within the orchard, the shade by the adult trees, water and the same space are efficiently used. However, if the soil is infested with *P. omnivora*, seedlings and trees up to four years old, may die by the fungus (Herrera-Pérez and Samaniego-Gaxiola, 2002).

Moreover, the low soil moisture does not favor symptom expression of cotton root rot in cotton crop (Rush, 1984, Rush *et al.*, 1984.); additionally, sclerotia of *P. omnivora* start to die when they are dried (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2010). This suggests that the *P. omnivora* inoculum could decrease if soil dries, and therefore, the disease incidence would decrease.

Cotton root rot expression in pecan nurseries within the orchard, could be a function of factors such as rainfall, tree population per established unit area, tree susceptibility according to their size (height and stem diameter) and effect of the desiccated soil. The study of all these factors with respect to the epidemiology of cotton root rot are the aims of the present work.

## MATERIALS AND METHODS

**Location of the study site.** The area where the work was done is known as the "Hormiguero" orchard located in Matamoros, Coahuila, Mexico, at 25° 41.267' and -103° 19.879'. In March 2010, fourteen plots of 120 m long and 1 m wide were established with soil naturally infested with *P. omnivora*; on each of them, four seeds per meter, of Riverside variety were sown.

Each plot was established between two lines of pecan trees 30 years old. During 2013, only 1501 pecan sprouted (survived) out of 6720 seeds that were sown in 2010.

**Disease dynamics versus rainfall.** During 2013, seven counts of dead pecan trees by the disease were done. The first count was carried out after 120 days, then after 150, 162, 218, 232, 248 and 267 Julian days. For the cumulative number of dead trees versus accumulated rainfall from the 120 to 267<sup>th</sup> day, a polynomial trend line was obtained with its coefficient of determination ( $R^2$ ). From every dead tree, roots were observed and *P. omnivora* was isolated from the fungal cords to prove to be the cause of death, as described by Herrera-Pérez and Samaniego-Gaxiola (2002). Data on rainfall, relative humidity and temperature were taken from the report of the weather station at Francisco I. Madero city, about 8 km from the Hormiguero orchard.

**Epidemiological models.** In plots where in 2013 more than nine pecan trees died, the epidemiological model with the best fit was determined; the models evaluated were Monomolecular, Logistic, Gompertz and all of them but adjusting the variable time with the natural logarithm (ln); additionally, the exponential model was evaluated as well as

como se describe por Herrera-Pérez y Samaniego-Gaxiola (2002). Los datos de precipitación pluvial, humedad relativa y temperatura se tomaron del reporte de la estación meteorológica de la Ciudad de Francisco I. Madero, aproximadamente a 8 km de la huerta Hormiguero.

**Modelos epidemiológicos.** En parcelas donde en el 2013 murieron más de nueve nogales, se determinó el modelo epidemiológico con mayor ajuste, los modelos evaluados fueron Monomolecular, Logístico, Gompertz y estos mismos pero ajustando la variable tiempo con logaritmo natural (ln). También se evaluaron los modelos exponencial y éste con ajuste ln y el modelo  $\log_{10}$  (Campbell y Madden, 1990).

**Incidencia de la enfermedad versus población y tamaño de árboles.** En cada parcela se contabilizaron los nogales totales y muertos por pudrición texana hasta el día 267, luego se graficaron ambos y se obtuvo una línea de tendencia polinómica de segundo orden con su  $R^2$ . Asimismo, el tamaño de todos los nogales se midió por altura conformando siete categorías: <15, 15-29, 30-44, 45-59, 60-74, 75-89 y > 89 cm. Entre el número de nogales muertos por la enfermedad versus número de árboles por categorías se obtuvo una gráfica polinómica con su  $R^2$ .

**Relación diámetro de tallo versus largo de brote en nogales muertos por fecha.** El diámetro de tallo y el largo del brote principal se midió de cada nogal que murió por la enfermedad. Las mediciones se hicieron en las fechas de recuento de árboles muertos, luego se conformó una línea de tendencia entre el diámetro de tallo contra largo de brote de los árboles que murieron en cada fecha de muestreo.

**Sanidad de nogales en suelo no desecado versus desecado.** En marzo del 2012, se establecieron ocho parcelas de 1.8 x 3 m, en cada una fueron sembradas doce nueces de la variedad Riverside. Cuatro de las parcelas se usaron como testigo (suelo naturalmente infestado con *P. omnivora*). De las otras cuatro parcelas se extrajo el suelo (la parcela de 1.8 x 3 m a profundidad de 0.6 m) en capas de 5 cm y se desecó al ambiente por dos semanas, después el suelo se volvió a reincorporar a sus sitios. En ambos tipos de parcela, se determinó el contenido de humedad justo antes de sembrar las nueces. También durante el mismo año, fue desecado suelo naturalmente infestado con *P. omnivora* y se mezcló 1:1 (v/v) con arena desecada. Cien bolsas de plástico con 15 kg se rellenaron con la mezcla de este suelo arena y se sembraron con nueces de la variedad Riverside.

En frascos de vidrio de 1 L, se colocaron 400 g de suelo desecado, se enterraron e incubaron esclerocios de *P. omnivora* por períodos de 0, 1, 2, 4 y 8 h a 28 °C. Un tratamiento testigo adicional se realizó, enterrando esclerocios en suelo a capacidad de campo por 8 h. Por cada período de incubación se hicieron cuatro repeticiones con 25 esclerocios cada uno y todo el experimento se repitió dos veces. La obtención de los esclerocios, manejo de los mismos y la determinación de su supervivencia en suelo se realizó con la metodología previamente descrita por Samaniego-Gaxiola (2008).

**Análisis de datos.** La prueba de chi-cuadrada se utilizó para determinar diferencias en mortandad entre nogales muertos establecidos en suelo desecado versus no

its adjustment with ln and with  $\log_{10}$  model (Campbell and Madden, 1990).

**Disease incidence versus population and tree size.** In each plot, the total and dead pecan trees by cotton root rot were counted until day 267<sup>th</sup>, then both were plotted and a line of second-order polynomial trend with its  $R^2$  was obtained. Also, the size of all pecan trees was measured by height comprising seven categories: <15, 15- 29, 30- 44, 45- 59, 60-74, 75- 89 and > 89 cm. A polynomial graph of the number of dead trees caused by the disease versus the number of pecan trees by categories was done and the  $R^2$  was obtained.

**Stem diameter correlation versus shoot length in dead pecan ordered by date.** The stem diameter and length of the main shoot were measured in every pecan that died from the disease. Measurements were made at the time of counting the dead trees, then a trend line between the stem diameter against shoot length of the trees that died in each sampling date was done.

**Health of pecan in non- desiccated versus desiccated soil.** In March 2012, eight plots of 1.8 x 3 m were established, in each of them, twelve nuts of the Riverside variety were seeded. Four plots were used as control (soil naturally infested with *P. omnivora*). From the other four plots the soil was extracted (1.8 x 3 m plot at 0.6 m depth) in 5 cm layers and dried at room temperature during two weeks, then the soil was reincorporated to their extraction sites. In both types of plots, the moisture content was determined just before sowing. Also during the same year, soil naturally infested with *P. omnivora* was desiccated and mixed 1: 1 (v/v) with dried sand. One hundred plastic bags with 15 kg each were filled with this mixture of soil and sand, and then nuts of the Riverside variety were sown.

In 1 L glass containers, 400 g of dried soil were placed and *P. omnivora* sclerotia were inserted and incubated for periods of 0, 1, 2, 4 and 8 h at 28°C. An additional control treatment was included by inserting sclerotia in soil at field capacity during 8 h. For each of the incubation periods, another four replicates were done with 25 sclerotia per replication and the entire experiment was repeated twice. Sclerotia isolation, handling and their soil survival determination were carried out using the methodology described by Samaniego-Gaxiola (2008).

**Data Analysis.** The chi-square test was used to determine differences in mortality among dead pecan trees established in desiccated versus non-desiccated soil. A completely randomized design with factorial arrangement of the treatments (A x B) was used to determine differences between humidity of desiccated versus non-desiccated soil, where A was the depth (0-20, 20-40 and 40-60 cm) and B desiccated and non- desiccated soil; mean separation was determined with the Tukey test with  $P= 0.05$ . Also, polynomial trend lines of second order and their determination coefficients were implemented in the experiments outlined in previous sections. SAS statistical software (2003) was used for the analysis.

## RESULTS

**Disease dynamics versus rainfall.** Table 1 shows

desechado. Un diseño completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos (A x B) se utilizó para determinar diferencias entre la humedad de suelo desecado *versus* no desecado, donde A fueron las profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm) y B suelo desecado y no desecado; la separación de medias se determinó con la prueba Tukey con  $P = 0.05$ . Asimismo, líneas de tendencia polinómicas de segundo orden y sus coeficientes de determinación se implementaron en los experimentos señalados en secciones previas. En todos los análisis se utilizó el programa estadístico SAS (2003).

**RESULTADOS**

**Dinámica de la enfermedad *versus* lluvia.** Los datos de precipitación pluvial, humedad relativa y temperatura durante el tiempo que se realizó el recuento de nogales muertos por la enfermedad se aprecia en el Cuadro 1. En el día juliano 120 se detectó el primer nogal muerto por pudrición texana, luego 37, 29, 26, 39, 5 y 42 árboles muertos que corresponden a las fechas de muestreo de 150, 162, 218, 232, 248 y 267 días, respectivamente. La línea de tendencia entre el número de árboles muertos *versus* la precipitación acumulada tuvo un ajuste o  $R^2$  de 0.917 (Figura 1), donde se aprecian 93 nogales muertos a los 98 días del inicio de la epidemia y 85 más que aparecieron entre los días 99 a 147. Hasta el día 98 se acumularon 5.8 mm de lluvia, mientras que del día 99 al 147 fueron 58 mm.

**Modelos epidemiológicos.** En cuatro parcelas con más de 110 árboles aparecieron diez o más nogales muertos.

the rainfall, relative humidity and temperature data during the days when the counting of dead trees was done. At the 120<sup>th</sup> Julian day, the first pecan tree killed by cotton root rot was observed, then 37, 29, 26, 39, 5 and 42 dead trees that corresponded to sampling dates 150, 162, 218, 232, 248 and 267 days, respectively. The trend line between the number of dead trees *versus* accumulated rainfall had a  $R^2 = 0.917$  (Figure 1). In this figure, 93 dead pecan trees were observed after 98 days of the outbreak of the epidemic, and 85 more that appeared between the 99-147<sup>th</sup> day. Until the 98<sup>th</sup> day, 5.8 mm of rain were accumulated whereas from the 99<sup>th</sup> day up to the 147<sup>th</sup> day the accumulation was 58 mm.

**Epidemiological models.** In four plots with more than 110 trees, ten or more pecan trees were dead. In three out of the four plots, the Monomolecular model was the best fitted (Table 2).

**Disease incidence *versus* population and tree size.** The tree population per plot ranged from 36 to 247, meanwhile, dead pecan trees per plot were 0-79 (Figure 2A). The  $R^2$  of the trend line formed between trees per plot and those that died in them was 0.905 (Figure 2B).

As for tree size, the 75-89 cm category was the one with the lowest number of trees (60) and at the same time, it showed the lowest number of dead walnuts (7); in contrast, the 30-44 cm category was the one with the highest number of trees (470) and with the highest number of dead trees (62) (Figure 3A). The trend line obtained between the number of trees per size categories *versus* death caused by cotton root rot gave an adjustment or  $R^2 = 0.933$  (Figure 3B).

Cuadro 1. Lluvia, temperatura y humedad relativa promedio en periodos de días julianos del 2013.

Table 1. Rainfall, temperature and average relative humidity during periods of Julian days in 2013.

Días Julianos	Lluvia en mm	Temperatura °C	Humedad relativa %	Arboles muertos #
120 a 150	3.8	24.4	34.7	38
151 a 162	0.0	26.7	36.2	29
163 a 218	2.0	26.7	48.3	26
219 a 232	17.4	26.4	38.4	39
233 a 248	2.0	24.9	46.6	5
249 a 267	39.0	23.3	61.1	42

En tres de las cuatro parcelas el modelo que mejor ajustó fue el Monomolecular (Cuadro 2).

**Incidencia de la enfermedad *versus* población y tamaño de árboles.** La población de árboles por parcela fluctuó de 36 a 247, entretanto, los nogales muertos por parcela fueron de 0 a 79 (Figura 2 A). El  $R^2$  de la línea de tendencia conformada entre árboles por parcela con respecto a los que murieron en ellas fue de 0.905 (Figura 2 B).

Por tamaño de árbol, la categoría de árboles de 75-89

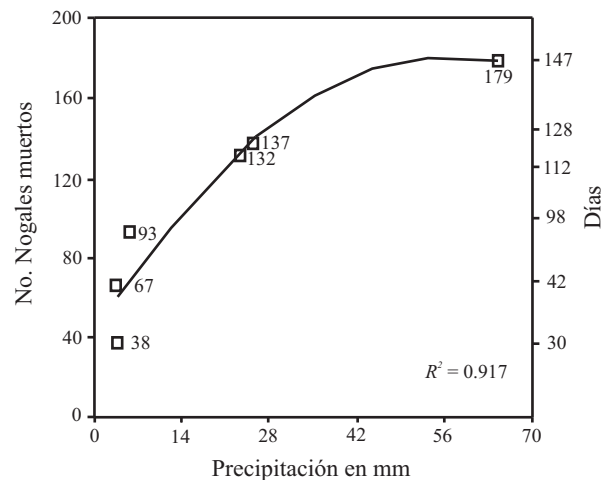


Figura 1. Precipitación pluvial acumulada, acumulado de nogales muertos por pudrición texana y días transcurridos desde el registro del primer nogal muerto (día 120). Los días 30, 42, 98, 112, 128 y 147 corresponden a los días julianos 150, 162, 218, 232, 248 y 267, respectivamente.

Figure 1. Accumulated pluvial precipitation, accumulated dead walnut trees killed by cotton root rot disease and days since the registration of the first dead pecan (day 120). The days: 30, 42, 98, 112, 128 and 147 correspond to the Julian days 150, 162, 218, 232, 248 and 267, respectively.

Cuadro 2. Modelos epidemiológicos para "Putridión texana" en parcelas con diez o más nogales muertos durante el 2013.  
Table 2. Epidemiological models for "Cotton root rot" disease in parcels with more than ten dead walnut trees during 2013.

No. de parcela	No. Nogales por parcela	No. Nogales muertos por parcela	Modelo con mejor ajuste	Ajuste $R^2$
8	122	10	Monomolecular	0.974
11	137	18	Gompertz In	0.973
12	200	22	Monomolecular	0.930
13	247	79	Monomolecular	0.949

cm fue la de menor número de árboles con 60 y coincidió con el menor número de nogales muertos con siete; en contraste, la categoría de 30-44 fue la de mayor número de árboles con 470 y con el mayor número de árboles muertos con 62 (Figura 3 A). La línea de tendencia obtenida entre el número de árboles por categorías de tamaño *versus* muertos por pudrición texana tuvo un ajuste o  $R^2$  de 0.933 (Figura 3 B).

**Relación diámetro de tallo *versus* largo de brote en nogales muertos por fecha.** Los nogales con crecimiento de tallos menores a 1 cm, no sobrepasaron crecimiento de brotes mayores a 80 cm. A partir del tercer recuento los nogales muertos por la enfermedad, se empezó a registrar árboles con tamaño de brote de 100 o más cm. (Figura 4).

En la Figura 4, podemos observar que los puntos (nogales muertos) alrededor de las líneas de tendencia recta tuvieron menor dispersión conforme transcurrieron las fechas de muestreo. Por ejemplo, en la primera y sexta fechas de muestreo encontramos nogales con diámetros de tallo similar de 1.0 - 1.1 cm, pero con tamaños de brotes que oscilaron de 20 - 80 y de 32 - 62 cm, respectivamente. Sin embargo, se encontrarán nogales que independientemente de su diámetro de tallo tuvieron una brotación menor

**Stem diameter correlation *versus* shoot length in dead pecan ordered by date.** The walnuts with stems smaller than 1 cm, did not show shoot length of more than 80 cm. From the third count of dead pecan trees caused by the disease, then trees with 100 cm or more buds size were observed. (Figure 4).

In Figure 4, it is possible to observe that the dots (dead pecan) around the straight tendency lines showed less dispersion as the sampling dates passed. For example, pecan with similar stem diameters (1.0-1.1 cm) were observed during the first and sixth sampling dates, but with buds sizes ranging from 20-80 and 32-62 cm, respectively. However, it also was observed that regardless of pecan stem diameter some sprouts were less than 10 cm.

**Health of pecan in non- desiccated *versus* desiccated soil.** The minimum humidity obtained in desiccated soil was less than 3.16% and in non- desiccated soil it ranged from 6.84 to 10.94% (Table 3). The sclerotia that remained in dried soil during 0, 1, 2, 4 and 8 h survived an average of 100, 76, 32 and 0%, respectively; while the sclerotia incubated during 8 h in soil at field capacity survived completely. The pecan established in desiccated soil were not killed nor showed any cotton root rot symptoms; in contrast, in non- desiccated soil 3 pecan trees

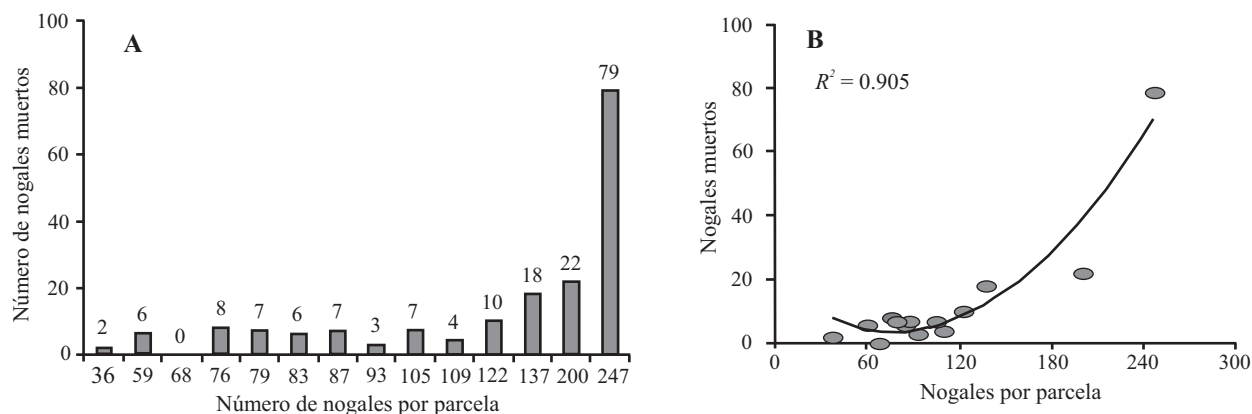


Figura 2 AB. Nogales muertos por pudrición texana del total por parcela durante el 2013. A. Número de nogales por parcela y muertos por la enfermedad, los números sobre las barras indican los nogales muertos. B. Relación entre nogales por parcela contra nogales muertos.

Figure 2 AB. Pecan trees killed by cotton root rot disease from total per parcel during 2013. A. Number of pecan per parcel and killed by the disease, the numbers on the bars are the dead pecan trees. B. Relationship between pecan trees per parcel *versus* dead pecan trees.

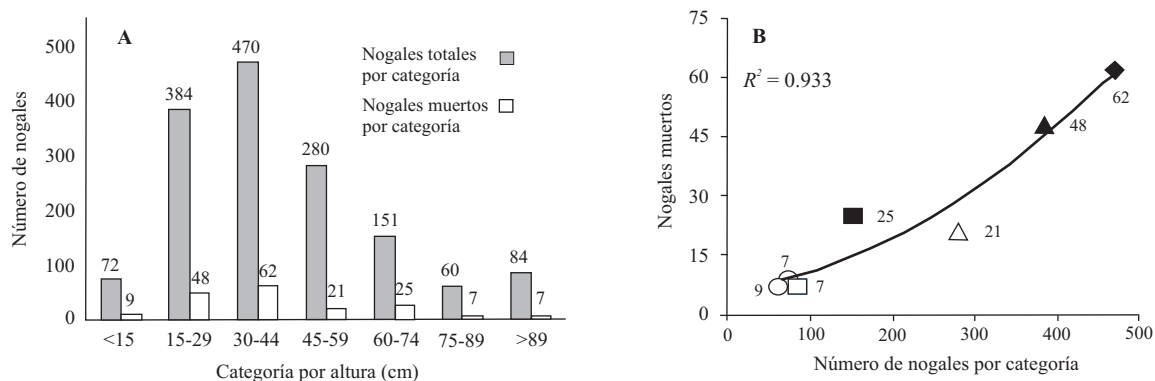


Figura 3 AB. Nogales muertos por pudrición texana con relación a sus categorías por altura. A. Distribución de nogales totales y muertos en cada categoría. B. Relación entre el total de nogales por categoría de altura y muertos en esa categoría. Las categorías de altura son <15 (●), 15-29 (▲), 30-44 (◆), 45-59 (△), 60-74 (■) 75-89 (□) y >89 cm (○). Los números contiguos a cada figura indican los nogales muertos.

Figure 3 AB. Dead pecan trees by cotton root rot disease relative to their height categories. A. Total pecan distribution and dead on each category. B. Relationship between total pecan by height category and dead trees in same category. The height categories are <15 (●), 15-29 (▲), 30-44 (◆), 45-59 (△), 60-74 (■), 75-89 (□) and >89 cm (○). The numbers next to each figure represent the dead pecan trees.

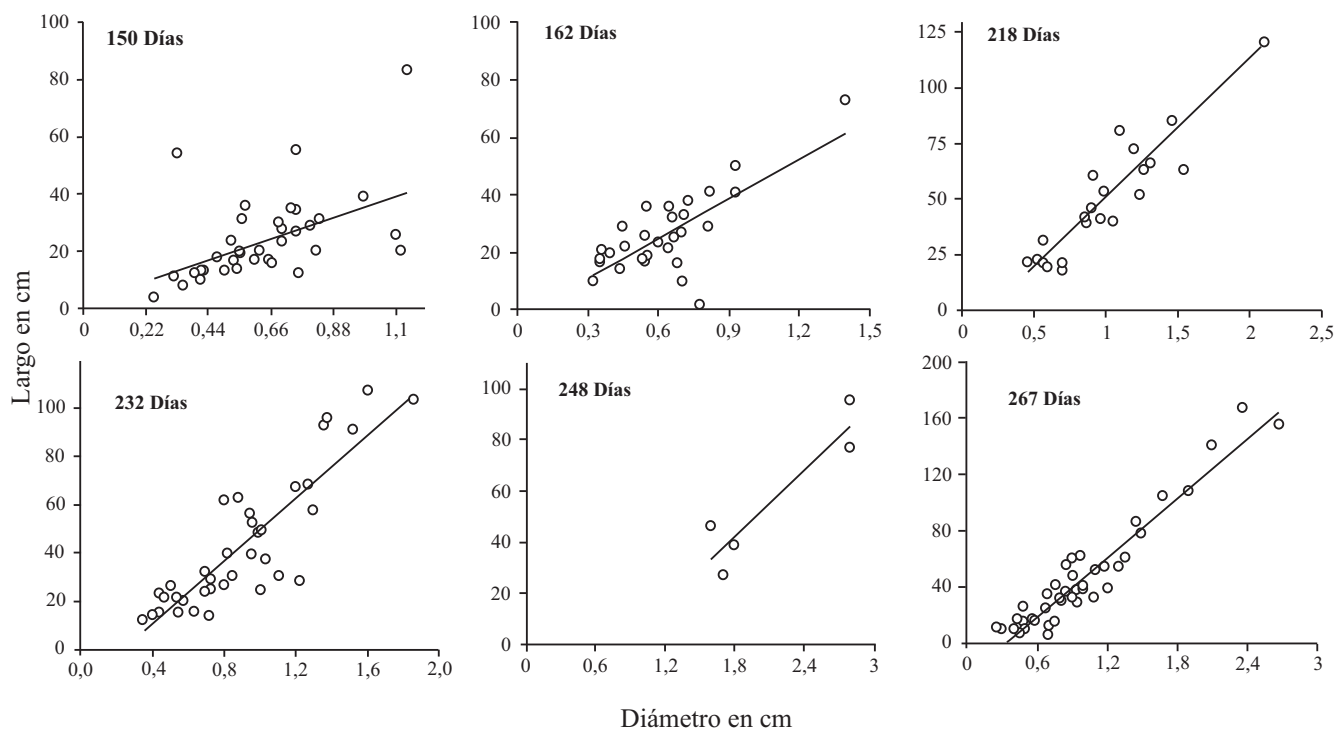


Figura 4. Líneas de tendencia entre diámetros de tallos y largo de brotes en nogales muertos por pudrición texana durante el año 2013. Los registros de los nogales muertos se realizaron en seis fechas (días julianos). En cada fecha se contabilizaron sólo nuevos nogales que aparecieron muertos.

Figure 4. Trend lines between stem diameter and shoot length in dead pecan trees killed by cotton root rot disease during 2013. The counts of dead pecan trees were conducted on six different dates (Julian days). On each date only new dead pecan trees were counted.

a 10 cm.

**Sanidad de nogales en suelo no desecado versus desecado.** La humedad mínima alcanzada en suelo desecado fue menor al 3.16% y en el suelo no desecado varió de 6.84 a 10.94% (Cuadro 3). Los esclerocios que permanecieron en el suelo desecado 0, 1, 2, 4 y 8 h sobrevivieron en promedio 100, 76, 32 y 0 %, respectivamente, mientras que los esclerocios incubados 8 h en suelo a capacidad de campo sobrevivieron en su totalidad. Nogales establecidos en suelo desecado no murieron, ni manifestaron síntomas de pudrición texana, en contraste, en suelo no desecado murieron tres nogales en las parcelas establecidas en el 2012 y 179 en las 14 parcelas establecidas en el 2010 (Cuadro 4); hubo diferencia significativa en mortandad de árboles entre suelo desecado y no desecado, de acuerdo a la prueba de chi-cuadrada ( $\chi^2 = 21.04$ , 2 grados de libertad y  $P < 0.001$ ).

Cuadro 3. Humedad del suelo en almácigo de nogal en la huerta "Hormiguero" en Matamoros, Coahuila, México.  
Table 3. Soil moisture in pecan seedling nursery at "Hormiguero" orchard in Matamoros, Coahuila, Mexico.

Profundidad del suelo	*No desecado	*Suelo desecado
	Promedio	Promedio
0-20	6.48 b	2.82 c
20-40	9.63 ab	3.16 c
40-60	10.94 a	2.65 c

\*Datos promedio de ocho muestras de suelo por cada profundidad y suelo no desecado o desecado.  
Números con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de separación de medias de Tukey  $P = 0.05$

Cuadro 4. Árboles de nogal muertos por pudrición texana durante el 2013, establecidos en suelos desecados o no desecados\*  
Table 4. Dead pecan trees (killed by cotton root rot disease during 2013) established in desiccated or non- desiccated soils.

Tratamiento al suelo	Nogales muertos		Nogales vivos	
	Observado	Esperado	Observado	Esperado
Desecado en parcelas †	0	5	48	43
No desecado en parcelas ‡	3	5	45	43
Desecado en bolsas	0	11	100	89
No desecado en parcelas †	179	161	1322	1340

\*La mortandad entre árboles establecidos en suelo desecado versus no desecado fue significativa chi-cuadrada ( $\chi^2 = 21.04$ , 2 grados de libertad y  $P < 0.001$ ).

†Parcelas establecidas en el año 2012, cada una con 48 nogales.

‡Nogales distribuidos en 14 parcelas, establecidas en el 2010.

## DISCUSIÓN

**Dinámica de la enfermedad versus lluvia.** La humedad en el suelo presenta diferentes papeles en la expresión de la pudrición texana, uno de ellos, se relaciona con la incidencia de la enfermedad. En algodón, las epidemias de pudrición texana registradas durante 17 años fueron más pronunciadas conforme la lluvia se incrementó (Jeger y Lyda, 1984); nuestros resultados en nogales muertos versus lluvia, tuvieron un comportamiento similar al del algodón, al incrementar la tasa de muerte de los nogales en la época de lluvia. El efecto de la lluvia también fue consignado por Rush *et al.* (1984 a) quienes registraron 17 y 80% de incidencia de pudrición texana en algodón en años consecutivos con una precipitación inapreciable y de 138 mm, respectivamente. Aunque, al mantener el suelo a capacidad de campo o más húmedo de manera constante, no favoreció que el micelio, cordón micelial y esclerocios de *P. omnivora* crecieran, sobrevivieran o germinaran (Stapper *et al.*, 1984; Wheeler e Hine, 1972).

Por otra parte, en nogales adultos la incidencia de síntomas del ataque de *P. omnivora* fue menos evidente con seis o más riegos, y más evidente con menos de seis riegos (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2001). Además de la humedad en el suelo, la textura puede estar relacionada con la

died in plots established in 2012 and 179 trees died in the 14 plots established in 2010 (Table 4); there was significant difference in tree mortality between desiccated and non-desiccated soil, according to the chi-square test ( $\chi^2 = 21.04$ , 2 freedom degrees and  $P < 0.001$ ).

## DISCUSSION

**Disease dynamics versus rainfall.** The soil moisture has different roles in the expression of the cotton root rot disease, one of them is related to its incidence. In cotton, the epidemics documented during 17 years were more evident as the rain increased (Jeger and Lyda, 1984); the results of this study regarding dead pecan versus rainfall, showed a similar behavior to cotton, in pecan tree death rate increases in the rainy season. The rainfall effect was also reported by Rush *et al.* (1984 a) who obtained a 17 and 80% incidence of cotton root rot in cotton in consecutive years with negligible precipitation and 138 mm, respectively. Although, the soil was kept at field capacity or steadily wetter, the mycelium, mycelial cord or *P. omnivora* sclerotia growth, survival or germination were not favored (Stapper *et al.*, 1984; Wheeler and Hine, 1972).

On the other hand, in adult pecan trees, the incidence of *P. omnivora* attack symptoms was less evident

podrición texana, de tal manera que, en algodónero establecido bajo condiciones de temporal, la incidencia de pudrición texana fue menos evidente en suelos que tienen buena capacidad de retención de humedad (Smith y Hallmark, 1987).

**Modelos epidemiológicos.** El hecho de que el modelo monomolecular predominó en este trabajo, sugiere que durante el mismo año, el inóculo no se incrementó lo suficiente en las plantas muertas para infectar nuevas plantas. En otros trabajos, el modelo logístico predominó en epidemias de pudrición texana, como en el algodónero establecido a 20 cm (Koch *et al.*, 1987). En este trabajo, la distancia inicial entre plántulas de nogal fue de 25 cm, pero al morir los nogales desde el 2010 hasta el 2013 la distancia entre nogales se incrementó; lo que probablemente disminuyó el contagio entre árboles y se reflejó por el predominio de modelo monomolecular. De acuerdo al estudio de Koch *et al.* (1987), el contagio de la pudrición texana entre plantas de algodónero establecidas a 1 m de distancia no se presenta, lo cual coincide con lo observado en nogal.

En este trabajo, se logró detectar síntomas de pudrición texana en los nogales, excepto una repentina marchitez foliar, es decir, el hongo manifiesta un ataque fulminante que se traduce en muerte de los árboles. Consecuentemente, algunos nogales en el vivero, podrían estar infectados por el hongo, pero no se pudieron detectar, lo que podría sub-evaluar la enfermedad.

En cultivos agrícolas anuales o perenes, la pudrición texana a través de los años, se expande de manera radial, cada área devastada por la enfermedad se le denomina manchón (Jeger *et al.*, 1987; Streets y Bloss, 1973). Cuando la distancia de las plantas entre filas no favorece el contagio entre plantas, la incidencia de la enfermedad estará en función del número de puntos (focos o manchones) de infección, multiplicado por la media de plantas enfermas en cada punto (Jeger *et al.*, 1987).

Con la información obtenida en este trabajo, no se puede determinar si los nogales muertos adquirieron la enfermedad a partir de un foco o inóculo en el suelo o se debe al contagio entre árboles. El inóculo del suelo estaría representado por los esclerocios que germinan en cordones, pueden crecer en el suelo por metros e invadir a plantas conforme encuentra sus raíces; mientras que el contagio entre plantas enfermas a sanas, se haría a través del contacto de raíces con cordones del hongo sobre aquéllas que aún no los tienen (Streets y Bloss, 1973).

**Incidencia de la enfermedad versus población y tamaño de árboles.** No obstante que, en este trabajo, de las 14 parcelas evaluadas tuvieron inicialmente de 36 a 247 árboles, el incremento de árboles por parcela *versus* árboles muertos indica que el hongo se encuentra ampliamente distribuido en el área de estudio, y que conforme hubo más árboles por parcela, también hubo más nogales muertos por la enfermedad. Este resultado concuerda por lo descrito por Koch *et al.* (1987) que señalan que a mayor número de plantas mayor incidencia de pudrición texana en el cultivo de algodónero.

Dentro de las 14 parcelas, ningún nogal adulto murió

six or more irrigations, and more evident with less than six (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2001). Besides the moisture, the soil texture might be related to the cotton root rot disease, so that, in cotton established under rainfed conditions, disease incidence was less evident in soils with good moisture retention capacity (Smith and Hallmark, 1987).

**Epidemiological models.** The fact that the monomolecular model predominated in this study, it suggests that during the same year, the inoculum did not increased enough in dead plants to infect new ones. In other studies, the logistic model predominated in cotton root rot epidemics, such as in the cotton established at 20 cm (Koch *et al.*, 1987). In this work, the initial distance between pecan seedlings was 25 cm, but when pecan trees died from 2010 through 2013, the distance between trees increased; which probably decreased the spread between trees and it was reflected by the dominance of the monomolecular model. According to Koch *et al.* (1987), the spread of cotton root rot among cotton plants established at 1 m distance is not present, which is consistent with that observed in pecan.

In this work, it was not possible to detect cotton root rot in pecan trees, except a sudden leaf wilting, ie, the fungus exhibits a massive stroke resulting in tree death. Consequently, some pecan trees in the nursery might be infected by the fungus, but we had no way of detecting them, which could sub-evaluate the disease.

In annual or perennial crops, disease expands radially through the years, and each devastated area by the disease is called a patch (Jeger *et al.*, 1987; Streets and Bloss, 1973). When the plant distance between rows does not favor the spread between plants, disease incidence will depend on the number of points (patches) of infection multiplied by the average of diseased plants at each point (Jeger *et al.*, 1987).

With the information obtained in this work, it is not possible to affirm if dead pecan trees acquired the disease from a patch or inoculum in soil or due to the contamination among trees. The inoculum in soil would be represented by the sclerotia that germinate in cords, and that can grow in the soil several meters and invade the plants as it finds their roots; while the spread between diseased to healthy plants, would be through contact between roots with fungal cords (Streets and Bloss, 1973).

**Disease incidence versus population and tree size.** Despite that in this study the 14 plot evaluated were initially with only 36-247 trees, the increase of trees per plot *versus* dead trees indicated that the fungus was widely distributed in the area of study, and as the number of trees per plot increased, there were also more pecan trees killed by the disease. These results are in agreement with those described by Koch *et al.* (1987), who indicated that the higher the number of plants, the higher the cotton root rot incidence in cotton cultivation.

Among the 14 plots, no adult pecan died or showed cotton root rot symptoms, which shows the difference in susceptibility between developing pecan trees (179 dead) and adults. As for tree size, no differences in susceptibility (death) were detected, so, the incidence of tree death was based on the number of tree that formed the



o manifestó síntomas de pudrición texana, lo que pone de manifiesto la diferencia de susceptibilidad entre nogales en desarrollo (179 muertos) y adultos. Por tamaño del árbol, no detectamos diferencia en susceptibilidad (muerte) de tal forma que, la incidencia de muerte de los árboles estuvo en función del número de árboles que conformaron la categoría por tamaño, es decir, la incidencia de nogales muertos aumentó conforme lo hizo el número de árboles por categoría de tamaño. Estos resultados nos indican que no hay tolerancia de los nogales en función del tamaño y que el inóculo en el suelo es lo suficiente para matar nogales hasta de 3 m que fueron incluidos en la categoría árboles > 89 cm.

**Relación entre el diámetro de tallo versus largo de brote en nogales muertos por fecha.** Los nogales que murieron por pudrición texana durante el segundo y tercer recuentos (días 150 y 162), seguramente fueron invadidos días antes por el hongo, lo que probablemente no permitió más su crecimiento de brote.

Los nogales con crecimiento de tallos menores a 1 cm, no sobrepasaron crecimiento de brotes mayores a 80 cm. A partir del tercer recuento de los nogales muertos por la enfermedad, se empezó a registrar árboles con tamaño de brote de 100 cm o más. Los nogales con mayores diámetros y tamaño de brotes fueron los que empezaron a morir a partir de la tercera fecha de muestreo (218 d). Estos resultados sugieren que los nogales con más vigor (diámetro de tallo y largo de brote) son los que mueren en fechas más tardías.

En todas las fechas de recuento de nogales muertos por la enfermedad, hubo árboles con diámetro de tallo similar pero, con un rango amplio de tamaño de brote que osciló de 50 a más del 300%, por ejemplo, en el día 267 se encontraron nogales con 5 y 34 cm de crecimiento de brote ambos con 0.7 cm de diámetro de tallo (Figura 4). Nogales con tamaño de brote muy pequeño con respecto al diámetro de tallo, sugiere que han sido atacados por *P. omnivora* en años previos al 2013, o bien, que su tamaño de brote ha estado fuertemente restringido por algún otro factor del suelo. Por lo tanto, la relación tamaño de brote versus diámetro de tallo, podría ser un indicador de factores limitantes o favorables para los nogales en desarrollo, aunque habría que determinar en campo dichos factores y su contribución.

Un factor que reduce el crecimiento de los nogales (tallos y brotes) es la salinidad del suelo (Miyamoto *et al.*, 1986).

**Sanidad de nogales en suelo no desecado versus desecado.** La desecación de los esclerocios de *P. omnivora* induce su muerte (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2010), en contraste a lo que ocurre con otros hongos fitopatógenos que producen esclerocios como *Macrophomina phaseolina* Tassi (Pratt, 2006); *Rhizoctonia solani* Kühn (Sneh *et al.*, 1999); *Sclerotium cepivorum* Vera (Harper *et al.*, 2002); *Sclerotium rolfsii* Sac (Maiti y Sen, 1988) y *Verticillium dahliae* Kleb (Hawke y Lazarovits, 1994).

En este trabajo, los esclerocios murieron en su totalidad al colocarlos en suelo desecado durante ocho horas. Ambos, esclerocios desecados y expuestos a suelo desecado indican que la desecación podría disminuir el inóculo de *P. omnivora* en el suelo. Rush *et al.*

size category, that is, the incidence of trees death increased as the number of trees by size category. These results show that there is no tolerance of walnut trees depending on their size and that the inoculum in soil is enough to kill up to 3 m pecan tree that were included in the trees category > 89 cm.

**Relationship between stem diameter versus shoot length in dead pecan trees in different dates.** Pecan trees killed by cotton root rot during the second and third counts (150 and 162<sup>nd</sup> days), probably were invaded by the fungus days before, which probably prevented shoot growth.

Pecan trees with stems smaller than 1 cm, did not exceeded 80 cm of shoot length. From the third count of dead pecan trees killed by the disease, there were trees with bud size of 100 cm or more. Trees with larger diameters and shoot size were those that started to die from the third sampling date (218 days). These results suggest that the more vigorous trees (stem diameter and shoot length) die at later dates.

In all dates recording pecan trees killed by the disease, there were some with similar stem diameter, but with a wide range of shoot length that varied between 50 to over 300%, for example, on the 267<sup>th</sup> day there were trees with 5 to 34 cm shoot length and both with 0.7 cm stem diameter (Figure 4). Pecan trees with very small bud size relative to their stem diameter, suggest that they have been attacked by *P. omnivora* in years prior to 2013, or that the shoot size has been heavily restricted by another soil factor. Therefore, the shoot length versus stem diameter ratio could be an indicator of limiting or favorable factors for developing walnuts, although it would be necessary to determine in the field which are those and the importance of their contribution. One factor that reduces reduces growth of pecan trees (stems and buds) is soil salinity (Miyamoto *et al.*, 1986).

**Health of pecan in non- desiccated versus desiccated soil.** The drying of *P. omnivora* sclerotia induce their death (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2010) in contrast to other pathogenic fungi that produce sclerotia such as *Macrophomina phaseolina* Tassi (Pratt, 2006); *Rhizoctonia solani* Kühn (Sneh *et al.*, 1999); *Sclerotium cepivorum* Vera (Harper *et al.*, 2002); *Sclerotium rolfsii* Sac (Maiti and Sen, 1988) and *Verticillium dahliae* Kleb (Hawke and Lazarovits, 1994).

In this work, it was found that all sclerotia died when placed in desiccated soil for eight hours. Both, dried sclerotia and exposed to desiccated soil indicate that drying could reduce *P. omnivora* inoculum in soil. Rush *et al.* (1984 a) found that deep chiseling of soil decreased the incidence of cotton plants with cotton root rot symptoms and increased the fiber production, which they attributed to decreased fungal inoculum by the desiccation effect.

The expression of cotton root rot symptoms in agricultural crops also depends on root maturity, such as in cotton (Rush *et al.*, 1984 b); on the distance between the fungus with respect to the root and soil temperature (Rush, 1984); and on the inoculum density and its distribution in the soil (Lyda and Burnett, 1970). However, under field conditions, in adult pecan trees, a severe symptom of cotton root rot such as wilt of the entire tree is sometimes reversed,

(1984 a) encontraron que el cincelado profundo del suelo disminuyó la incidencia de plantas de algodón con síntomas de pudrición texana e incrementó la producción de fibra, lo que atribuyeron a una disminución del inóculo del hongo por efecto de su desecación.

La expresión de síntomas de pudrición texana en los cultivos agrícolas también depende de la madurez de la raíz, como es el caso del algodón (Rush *et al.*, 1984 b); de la distancia del hongo con respecto a la raíz y la temperatura del suelo (Rush, 1984); la densidad de inóculo y su distribución en el suelo (Lyda y Burnett, 1970). Sin embargo, bajo condiciones de campo, un síntoma severo como la marchitez completa del árbol, algunas veces revierte en nogales adultos, de tal manera que paulatinamente recobran su follaje y parecen recobrar su sanidad (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2003). Tanto en pistacho como algodón, la incidencia de la enfermedad fue menor con las dosis más altas de esclerocios inoculados en las raíces que cuando se utilizaron dosis intermedias (Lyda y Burnett, 1970; Tarango-Rivero y Herrera Pérez, 1977); e incluso, en árboles de manzano inoculados con esclerocios mostraron síntomas de la enfermedad, pero los cordones no tuvieron movimiento hacia árboles adyacentes y ningún árbol infectado murió después de 22 meses (Todd-Watson *et al.*, 2007). Todo ello, pone de manifiesto la complejidad de factores que determinan la expresión de síntomas de pudrición texana en los cultivos agrícolas.

Observaciones adicionales que se realizaron en este trabajo, sugieren la interacción de factores biológicos con la expresión de síntomas de pudrición texana en el nogal. Así, se observó la presencia de masas de esporas de *P. omnivora* justo debajo de los nogales adultos en la huerta, sin que estos árboles murieran o mostraran síntomas de la enfermedad, al mismo tiempo, también se detectó que las masas de esporas fueron invadidas por especies de *Trichoderma*, hongo que podría ser parte de un control biológico natural de la pudrición texana. Después del mes de septiembre, se observó que un nogal rebrotó, el cual se había contabilizado como uno de los 179 muertos; lo que sugiere que hay una expresión de una microbiota que restringe que *P. omnivora* mate todas las raíces de los nogales.

Durante el 2013, se encontró variación en la temperatura de folíolos sanos y de aquéllos en proceso o marchitez declarada (datos no mostrados), lo que pudieran indicar nogales asintomáticos con pudrición texana; de acuerdo a Watson *et al.* (2000), en manzanos invadidos en sus raíces por *P. omnivora* pero que son asintomáticos, la temperatura de su follaje muestra una diferencia superior de 1 a 2 °C con respecto a manzanos no invadidos por el hongo.

En suma, la complejidad suelo-hongo-nogal en el campo, se traduce en la expresión de síntomas y muerte de los árboles de múltiples maneras: nogales que podrían estar enfermos pero que no se logran detectar, nogales que pudiesen rebrotar, aquéllos que no son invadidos aún creciendo encima de masas de esporas, niveles de inóculo que no se conocen, entre otros. Prácticas para disminuir la pudrición texana en nogales en desarrollo, podrían ser: cincelado profundo del suelo en la época de secas, restringir los riegos en los períodos de lluvia e incrementar la distancia

so that the pecan gradually regain their leaves and seem to regain their health over the years (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2003). Both in pistachio and cotton crops, disease incidence was lower with higher doses of sclerotia inoculated in the roots than when intermediate doses were used (Lyda and Burnett, 1970; Tarango-Rivero and Pérez Herrera, 1977); and even apple trees inoculated with sclerotia showed symptoms of the disease, but the fungal cords did not move to adjacent trees and none of the infected tree died after 22 months (Todd-Watson *et al.*, 2007). All this highlights the complexity of factors that determine the expression of cotton root rot symptoms in agricultural crops.

Additional observations from this study suggest the interaction of biological factors with the cotton root rot symptoms expression on pecan trees. Thus, the presence of masses of *P. omnivora* spores just below adult pecan trees in the orchard were observed, and trees didn't die or showed any disease symptoms. Also, it was observed that the masses of spores were invaded by *Trichoderma* species, a fungus that could be part of a natural biological control of the cotton root rot disease. After September, it was observed that one pecan tree which was counted as one of the 179 dead trees, showed new growth; this fact suggests that there is an expression of microbiota that restricts *P. omnivora* to kill all the roots of pecan trees.

During 2013, it was observed temperature variation in healthy leaflets and those in the process or with declared wilt (data not shown), which could indicate asymptomatic trees with cotton root rot disease; according to Watson *et al.* (2000), in apple trees with root invasion by *P. omnivora* but asymptomatic, foliage temperature showed a difference of 1-2 °C, above the temperature shown by non-invaded trees.

In short, the complexity of soil-fungus-pecan tree in the field, results in symptom expression and tree death in multiple ways: pecan trees that might be sick but they are not detected, pecan trees that could sprout again, those that are not invaded even growing up over masses of spores, inoculum levels that are unknown, among others. Practices to reduce the cotton root rot disease in developing pecan trees could be: deep soil chiseled during the dry season, restrict watering during rainy periods, and increase the distance between plants.

## CONCLUSIONS

Increasing rainfall favored pecan tree mortality by cotton root rot disease. The monomolecular model of the cotton root rot epidemics, suggests that the inoculum does not increase in dead plants in sufficient quantity to attack new trees. Pecan mortality increased as the number of pecan trees per plot increased, as well as in the case of the tree size, when more pecan trees died among the categories with the highest number of trees.

The stem diameter *versus* shoot growth showed a wide variation in the trend line for each count date of dead trees; such variation could be explained by asymptomatic pecan trees invaded by *P. omnivora*, as well as other soil factors that were not detected.

Sclerotia died after 8 h of incubation in dried soil, and no dead pecan trees or with cotton root rot symptoms were

entre plantas.

## CONCLUSIONES

El incremento de la lluvia favoreció la mortandad de nogales por pudrición texana. El modelo monomolecular de las epidemias de pudrición texana, sugiere que el inóculo no se incrementa en plantas muertas en cantidad suficiente para atacar nuevos árboles. La mortandad de nogales se incrementó conforme se aumentó el número de nogales por parcela. Por categoría de tamaño de árbol, murieron más nogales en las categorías con mayor número de árboles.

El diámetro de tallo *versus* crecimiento de brote mostraron una amplia variación dentro de la línea de tendencia para cada fecha de recuento de árboles muertos, dicha variación podría explicarse por nogales invadidos por *P. omnivora* asintomáticos, así como otros factores de suelo que no se detectaron.

Los esclerocios mueren a las 8 h de incubarse en suelo desecado. No se detectaron nogales muertos o con síntomas de pudrición texana en parcelas o bolsas donde el suelo se desecó previamente. La mortandad entre árboles establecidos en suelo desecado *versus* no desecado fue significativa. ( $\chi^2 = 21.04$ , 2 grados de libertad y  $P < 0.001$ ).

**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. Nuestro agradecimientos a la Ing. Laura Gómez Saavedra por el apoyo en los trabajos de campo en la huerta Hormiguero, así como al Ing. Arturo Esparza, administrador de la huerta.

## LITERATURA CITADA

- Campbell, C. L., and Madden, L. D. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Son. 532 p.
- Harper, G. E., Frampton, C. M., and Stewart, A. 2002. Factors influencing survival of sclerotia of *Sclerotium cepivorum* in New Zealand soils. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 30: 29-35.
- Hawke, M. A., and Lazarovits, G. 1994. Production and manipulation of individual microesclerotia of *Verticillium dahliae* for use in studies of survival. Phytopathology 84: 883-890.
- Herrera-Pérez, T. y Samaniego-Gaxiola, J. A. 2002. Enfermedades del nogal. pp. 177-206. En: Arreola-Ávila, A. y Reyes-Juárez, I. (eds.). Tecnología de Producción del Nogal Pecanero. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. Matamoros, Coahuila, México.
- Jeger, M. J., Kenerley, C. M., Gerik, T. J., and Koch, D. O. 1987. Spatial dynamics of *Phymatotrichum* root rot in row crops in the Black region of north central Texas. Phytopathology 77: 1647-1656.
- Jeger, M. J., and Lyda, S. D. 1984. Comparisons of annual *Phymatotrichum* root rot epidemics in cotton for the years 1965-1982. Phytopathology 74:839. (Abstract).
- Koch, D. O., Jeger, M. J., Gerik, T. J., and Kenerley, C. M. 1987. Effects of plant density on progress of *Phymatotrichum* root rot in cotton. Phytopathology 77: 1657-1662.
- detected in plot or bags where soils had been previously desiccated. The mortality among established trees in desiccated *versus* non-desiccated soil was significant. ( $\chi^2 = 21.04$ , 2 freedom degrees and  $P < 0.001$ ).
- Acknowledgements.** The authors wish to thank the SAGARPA-CONACYT Fund for funding the research and publication of this work, which was carried out through the 2011-13-175247 project. Thanks to Eng. Laura Gomez Saavedra for support in the field work at the Hormiguero orchard and to Eng. Arturo Esparza, orchard manager.
- Lyda, S. D., and Burnett, E. 1970. Sclerotial inoculum density of *Phymatotrichum omnivorum* and development of *Phymatotrichum* root rot. Phytopathology 60:729-731.
- Maiti, S., and Sen, C. 1988. Effect of moisture and temperature on the survival of sclerotia of *Sclerotium rolfii* in soil 121: 175-180.
- Miyamoto, S., Riley, T., Gobran, G., and Petticrew, J. 1986. Effects of saline water irrigation on soil salinity, pecan tree growth and nut production. Irrigation Science 7: 83-95.
- Pratt, G. R. 2006. A direct observation technique for evaluating sclerotium germination by *Macrophomina phaseolina* and effects of biocontrol materials on survival of sclerotia in soil. Mycopathologia 162: 121-131.
- Rush, C. M. 1984. Evaluation of deep-chiseled anhydrous ammonia as a control for *Phymatotrichum* root rot of cotton. Plant Disease 74: 291-293.
- Rush, C. M., Gerik, T. J., and Lyda, S. D. 1984 a. Factors affecting symptom appearance and development of *Phymatotrichum* root rot of cotton. Phytopathology 74:1466-1469.
- Rush, C. M., Lyda, S. D., and Gerik, T. J. 1984 b. The relationship between time of cortical senescence and foliar symptom development of *Phymatotrichum* root rot of cotton. Phytopathology 74: 1464-1466.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura. Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2013. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta, 1980-2012. México, DF. www.siapsagarpa.gob.mx.
- Samaniego-Gaxiola, J. A. 2008. Efecto del pH en la sobrevivencia de esclerocios de *Phymatotrichopsis omnivora* (Dugg.) Hennebert expuestos a Tilt y *Trichoderma* sp. Revista Mexicana de Fitopatología 26: 32-39.
- Samaniego-Gaxiola, J. A., Herrera-Pérez, T., Pedroza-Sandoval, A., Jiménez-Díaz, F. y Chew-Madinaveitia, Y. 2003. Fluctuación de la severidad de pudrición texana *Phymatotrichopsis omnivora* (Dugg.) Hennebert en nogal pecanero (*Carya illinoensis* K.) bajo las condiciones de la Comarca Lagunera, México. Revista Mexicana de Fitopatología 21: 143-151.
- Samaniego-Gaxiola, J. A., Herrera-Pérez, T., Pedroza-Sandoval, A. y Santamaría-Cesar, J. 2001. Relación entre las condiciones de suelo y manejo de las huertas de nogal pecanero con la dinámica de la pudrición texana. Revista Mexicana de Fitopatología 19: 10-18.

- Samaniego-Gaxiola, J. A., Ordóñez-Meléndez, H. J., Pedroza-Sandoval, A. y Cueto-Wong, C. 2010. Relationship between the drying of the sclerotia of *Phymatotrichopsis omnivora* and its survival. *Revista Mexicana de Micología* 32: 49-58.
- SAS Institute. 2003. Version 9.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 1028 p.
- Smith, R. B., and Hallmark, C. T. 1987. Selected chemical and physical properties of soil manifesting cotton root rot. *Agronomy Journal* 79:155-159.
- Sneh, B., Burpee, L. y Ogoshi, A. 1999. Identification of *Rhizoctonia* species. American Phytopathological Society Press, Minnesota USA. 135 pp.
- Sneh, B., Burpee, L., and Ogoshi, A. 1999. Identification of *Rhizoctonia* species. American Phytopathological Society Press, Minnesota USA. 135 pp.
- Stapper, M. F., Lyda, S. D., and Jordan, W. R. 1984. Temperature x water potential interactions on growth and sclerotial germination of *Phymatotrichum omnivorum*. *Phytopathology* 74: 509-513.
- Streets, R. B., and Bloss, H. E. 1973. *Phymatotrichum* Root Rot. *Phytopathological Monograph* 8, American Phytopathological Society. St. Paul, MN, USA. 38 p.
- Tarango-Rivero, S. H. y Herrera-Pérez, T. 1997. Efecto de la cantidad de inóculo y tiempo de incubación de *Phymatotrichum omnivorum* (Shear) Dugg. en el daño radical de pistachero *Pistacia atlantica* (Def.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 15:48-51.
- Todd-Watson, W., Nye-Appel, D., Aloysius-Arnold, M., Miller-Kenerley, C., Lester-Starr, J., y Martínez-Trinidad, T. 2007. Inoculación, síntomas, y colonización en árboles de manzano en contenedor por *Phymatotrichopsis omnivora* (Duggar) Hennebert. *Agrociencia* 41: 459-468.
- Watson, T. W., Kenerley, C. M., and Appel, D. N. 2000. Visual and infrared assessment of root colonization of apple trees by *Phymatotrichopsis omnivora*. *Plant Disease* 84: 539-543.
- Wheeler, J. E., and Hine, R. B. 1972. Influence of soil temperature and moisture on survival and growth of strands of *Phymatotrichum omnivorum*. *Phytopathology* 62: 828-832.