

ASOCIACIÓN ENTRE PUDRICIÓN TEXANA (*Phymatotrichopsis omnivora*) E INSECTOS BARRENADORES DEL NOGAL (*Carya illinoensis*)^{*}

ASSOCIATION BETWEEN COTTON ROOT ROT (*Phymatotrichopsis omnivore*) AND BORER INSECT OF PECAN TREE (*Carya illinoensis*)

José Alfredo Samaniego-Gaxiola^{1§}, Manuel Ramírez-Delgado¹, Aurelio Pedroza-Sandoval² y Urbano Nava-Camberos¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, km 17.5 carretera Torreón-Matamoros, Apartado Postal 247, Matamoros, Coahuila, México C. P. 27000; ²Universidad Autónoma de Chapingo, Unidad de Zonas Áridas. [§]Autor para correspondencia: samaniego.jose@inifap.gob.mx

RESUMEN

Euplatypus segnis (Chapuis) (Coleoptera: Platypodidae) causa daño severo a las plantaciones de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en Coahuila, México. Este estudio se llevó a cabo en una huerta de nogal de 90 ha dividida en ocho lotes, durante 1999-2001. Se contaron y clasificaron todos los árboles en cuatro categorías: 1) los atacados por insectos barrenadores y con síntomas de pudrición texana (*Phymatotrichopsis omnivora*), 2) los atacados por barrenadores, 3) los que presentaron síntomas visibles de la enfermedad y 4) los que no mostraron ataque de barrenadores ni síntomas de la enfermedad. La frecuencia de ataque de los barrenadores fue significativamente más alta en los árboles con síntomas de pudrición texana. La dispersión de la plaga se ajustó al modelo logístico, con valores de 0.871, 0.788 y 0.803 de r^2 en 1999-2001, respectivamente. Se utilizó la velocidad instantánea de dispersión por lote y año, para obtener la tasa de dispersión 2000-1999 y 2001-2000. La mayor tasa de dispersión observada coincidió con el déficit de humedad en la huerta, aunque la prueba de t para los valores de las dos series de tasas se obtuvo un valor de $p=0.0623$. Los resultados indican que la frecuencia de ataque de los barrenadores de nogal se incrementa significativamente en árboles con síntomas de *P. omnivora* y déficit de humedad en el suelo.

Palabras clave: Adicionales, pudrición texana, insectos barrenadores, nogal.

ABSTRACT

Euplatypus segnis (Chapuis) (Coleoptera: Platypodidae) causes severe damage to pecan (*Carya illinoensis*) trees at Coahuila, Mexico. The present study was carried out during 1999-2001 in a 90 ha pecan orchard, divided in eight lots, during 1999-2001. The trees were counted and classified in four categories: attacked by borer insects and with symptoms of cotton root rot (*Phymatotrichopsis omnivora*); only attacked by borer insects: only with symptoms of *P. omnivora*; and without pest neither disease. The attack by borer insects was significantly more frequent in pecans showing symptoms of *P. omnivora* than in those without symptoms. The dispersion of the pest adjusted to a Logistic model, with r^2 values of 0.871, 0.788 and 0.803 in 1999-2001, respectively. The absolute rate of dispersion of the borers was estimated at 2000-1999, 2001-2000 for each lot and year. The highest dispersion rates were observed in coincidence with a soil moisture deficit in the orchard. The results indicate that frequency of attack of the borers increases in trees with *P. omnivora* and irrigation deficit.

Key words: Cotton root rot, borer insect, pecan tree.

* Recibido: Enero de 2006
Aceptado: Diciembre de 2007

INTRODUCCIÓN

El insecto *Euplatypus segnis* (Chapuis) (Coleoptera: Platypodidae), también conocido como barrenador del tronco y ramas, ataca a los árboles de: nogal pecanero, *Carya illinoensis* K; aguacatero, *Persea americana* Mill; manzano, *Malus* spp; quince, *Cydonia oblonga* Mill; duraznero *Prunus persica* L; granado, *Punica granatum* L; chabacano, *Prunus armeniaca* L; álamo *Populus* spp; mora, *Morus micophylla* Buck; y fresno, *Fraxinus uhdei* (Wenzig.). El barrenador se encuentra en México en los estados de Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Jalisco y Chihuahua (Equihua y Atkinson, 1987; Galván, 2000; García, 1999). Los árboles debilitados por sequía, daño mecánico, incendios y heladas intensas son atacados por *E. segnis*. En la Comarca Lagunera, México, la presencia de barrenadores del tronco y ramas en nogal pecanero se detectó a principios de la década de los noventa. *E. segnis* fue identificado como el responsable de la muerte de nogales adultos. Recientemente se detectaron otros insectos barrenadores de las familias Buprestidae y Cerambycidae que causan daño severo y muerte de árboles jóvenes y adultos, estos provienen de arbustos nativos o de huertas infestadas cercanas a la plantación. En la Comarca Lagunera se observaron nogales atacados por barrenadores y con síntomas de pudrición texana (*Phymatorichopsis omnivora* (Duggar) Hennebert (García, 1999). El foco de infestación de los barrenadores inicia en un área definida dentro de la huerta y posteriormente se disemina al resto de la plantación. Por lo tanto, el número de nogales atacados por barrenadores en un sitio dentro de la huerta está relacionado con la distancia al foco primario de infestación. El objetivo de este trabajo fue determinar la frecuencia de ataque de los barrenadores a nogales con síntomas de *P. omnivora* y estrés por déficit de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se efectuó durante 1999-2001, en una huerta de nogal nombrada Hormiguero, localizada en Matamoros, Coahuila, México. El área de estudio fue en una huerta de 90 ha, dividida en ocho lotes, cuyas características se muestran en el Cuadro 1. Los principales factores de manejo que variaron durante el estudio fueron: i) suministro de agua, se aplicaron seis, cinco y siete riegos durante 1999-2001, respectivamente, y ii) poda de los árboles fuertemente atacados por barrenadores, es decir, se eliminó de 50 a 90% de las ramas. Este tipo de poda se había implementado antes de 1999 únicamente en el lote uno, y desde ese año en adelante, se efectuó en los lotes en los que se detectaron árboles con ataque severo de barrenadores. El manejo agronómico se llevó a cabo de acuerdo a lo recomendado para el cultivo de nogal por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Arreola y Reyes, 2002). La huerta fue establecida con las variedades Western y Wichita en 65 y 20%, respectivamente y el resto con otras variedades.

Conteo de árboles. El conteo se realizó de octubre a noviembre de cada año de 1999-2001. Los árboles de cada lote se clasificaron en cuatro categorías: i) número de árboles con ataque de barrenadores y con síntomas de pudrición texana; ii), sólo atacados por barrenadores, iii) sólo con síntomas de pudrición texana, y iv) sin síntomas de pudrición texana ni ataque de barrenadores. Se consideraron atacados por barrenadores los árboles que mostraron síntomas visibles de daño causado por *E. segnis* en forma de agujeros circulares de 0.3 a 1 mm de diámetro en troncos y ramas. El ataque de barrenadores de las familias Buprestidae y Cerambycidae se identificó con los siguientes síntomas en

Cuadro 1. Características de la plantación de nogal en los lotes de la huerta Hormiguero. La Laguna, México. 1999.

Características	Núm. de lote							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Superficie (ha)	15	15	15	15	10	5	5	10
Distancia entre árboles (m)	16x14	16x14	8x14	8x14	8x14	8x14	8x14	8x14
Total de árboles plantados*	810	810	1590	1590	860	480	530	890
Edad de la plantación (año)	24	24	10	10	9	9	9	9

*En algunos casos sin árbol por muerte causada por *P. omnivora* o barrenadores.

ramas y troncos: agujeros irregulares mayores a 0.5 cm de diámetro, exudado gomoso en ramas vivas, pérdida total de follaje en el transcurso de una semana. En observaciones previas realizadas en 1995, se detectaron los primeros nogales atacados por barrenadores en el lote uno, por lo que fue considerado como el foco inicial de infestación en la huerta.

Árboles enfermos. Se verificó la presencia de *P. omnivora* o de las lesiones características que provoca el hongo en la raíz de los nogales con síntomas de pudrición texana en el follaje (Samaniego *et al.*, 2001). En cada lote se seleccionaron diez árboles al azar de las categorías i) y iii) descritos en la sección anterior; adicionalmente, se inspeccionó la raíz de los nogales muertos que mostraron síntomas de haber muerto a causa de la pudrición texana y de aquellos que no mostraron síntomas de la enfermedad pero que murieron como consecuencia del ataque masivo de barrenadores.

Asociación nogal con ataque de barrenadores y síntomas de pudrición texana. Se elaboró una tabla de contingencia para cada lote con el número de árboles correspondiente a las cuatro categorías y se aplicó la prueba de χ^2 para determinar la diferencia estadística entre las categorías.

Tasa de dispersión de los barrenadores. Tasa absoluta. Cada año se cuantificó el número de nogales atacados por barrenadores en cada lote y se relacionó con la distancia al foco inicial de infestación en la huerta (lote uno). El número se expresó como porcentaje acumulado con relación al total de nogales en la huerta, es decir, el número acumulado de nogales con barrenador en cada lote se dividió entre 7 557, que fue el total de árboles cuantificados en 1999. La distancia al foco inicial de infestación se expresó en km. Con los datos del porcentaje de nogales atacados por barrenadores para cada año, se probaron los siguientes modelos de dispersión propuestos por Campbell y Madden (1990): exponencial, doble exponencial (power law), logístico, monomolecular y Gompertz. A los tres últimos modelos se aplicó logaritmo natural en la variable distancia y se les denominó con su nombre respectivo seguido del adjetivo ajustado. De cada modelo se obtuvo la tasa de dispersión con respecto a la distancia (r), el intercepto b y su coeficiente de determinación r^2 . Los modelos se ejecutaron con los siguientes datos: todos los árboles atacados por barrenadores, nogales atacados por barrenadores y con síntomas de pudrición texana y nogales con síntomas de la enfermedad. Además los modelos se aplicaron en las siguientes modalidades: lote 2 al 8 y del 2 al 4. La finalidad de probar los modelos a partir de diferentes

lotes, fue estimar el comportamiento de dispersión de la plaga en los lotes que no se efectuó la poda antes de 1999 y estimar la dispersión en distancias cortas en donde se cuantificó la mayor cantidad de nogales con ataque de barrenadores (lotes 2 al 4).

Tasa instantánea. Se utilizó la tasa de dispersión (r) para calcular la velocidad instantánea de dispersión de los barrenadores (VID) para los años 1999-2001; la r fue seleccionada del modelo de dispersión más consistente en los tres años y mostró el segundo mayor valor de r^2 de todos los modelos evaluados. Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$VID = (r) * (y/1) * (1-y) \text{ (Campbell y Madden, 1990).}$$

donde:

VID= velocidad instantánea de dispersión y considera los nogales que adquieren barrenadores en cada lote y año específico

r = tasa de dispersión obtenida del modelo más consistente

Ey = porcentaje de nogales con barrenadores correspondiente a ese lote y año en particular.

Tasa entre años. La tasa de dispersión entre 1999-2001 para lotes similares se calculó como el cociente entre el valor de la velocidad instantánea del año posterior y el anterior. La tasa de velocidad de dispersión (VID) para 2000-1999 y 2001-2000 se comparó mediante la prueba de t . También se calculó la VID a partir de los datos provenientes de los lotes dos al ocho de nogales atacados por barrenadores y con síntomas de pudrición texana y sin síntomas. En ambos casos, los valores de r se tomaron del modelo, que tuvo año tras año los mayores valores de r^2 . Finalmente, se obtuvo la tasa VID para nogales con barrenador y síntomas de pudrición texana; así como para nogales con barrenador pero sin síntomas de la enfermedad, esto para cada distancia (lote) y año.

RESULTADOS

Número de nogales con barrenadores. En la huerta se observaron 144 árboles atacados por barrenadores en 1999. El número de nogales que adquirieron barrenadores durante el 2000 y 2001 fueron 138 y 111, respectivamente para alcanzar un acumulado de 282 y 393, respectivamente (Cuadro 2). En 1999, los lotes con mayor número de árboles

atacados por barrenadores fueron el 2, 1 y 3 con 73, 33 y 29 respectivamente; en los lotes 5 y 6 se observó un nogal atacado por barrenadores, mientras que el 7 y 8 no se detectaron árboles con la plaga (Cuadro 2). Un importante incremento de nogales atacados por barrenadores se observó en 2000, con valores acumulados de 94, 85 y 73 nogales en los lotes 2, 3 y 1, respectivamente; en este año, el lote 7 registró el primer nogal atacado por barrenadores. Para 2001, se contabilizaron 122, 113 y 82 nogales atacados en los lotes 2, 3 y 1, respectivamente.

Verificación de nogales con pudrición texana. En todas las raíces inspeccionadas se observó la presencia

de “cordones” de *P. omnivora*, lo mismo en árboles con síntomas de la enfermedad como en los asintomáticos pero con ataque evidente de barrenadores. De igual manera, en todos los casos las raíces mostraron cordones de *P. omnivora* en los nogales que fueron atacados y muertos por barrenadores.

Relación entre barrenadores y pudrición texana. La prueba de χ^2 aplicada para detectar diferencias entre valores acumulados del número de nogales de las cuatro categorías (con o sin barrenadores y con o sin síntomas de pudrición texana), indica que hay significancia estadística ($p \leq 0.001$) en todos los lotes (Cuadro 3).

Cuadro 2. Número acumulado de nogales atacados por barrenadores con y sin síntomas de pudrición texana en lotes de la huerta Hormiguero, La Laguna, México, 1999-2001.

Núm. de lote	Año								
	1999			2000			2001		
	Síntomas de pudrición texana			Síntomas de pudrición texana			Síntomas de pudrición texana		
	Con	Sin	Subtotal	Con	Sin	Subtotal	Con	Sin	Subtotal
1	11	22	33	34	39	73	43	39	82
2	57	16	73	72	22	94	87	35	122
3	27	2	29	63	22	85	91	22	113
4	6	1	7	9	1	10	22	1	23
5	1	0	1	9	0	9	21	0	21
6	0	1	1	4	2	6	18	2	20
7	0	0	0	1	0	1	4	0	4
8	0	0	0	3	1	4	7	1	8
Total	102	42	144	195	87	282	293	100	393

Cuadro 3. Prueba de χ^2 para valores acumulados de nogales con y sin ataque de barrenadores y con sin síntomas de pudrición texana, en La Laguna, México, 2001.

Núm. de lote	Síntomas de pudrición texana	Síntomas de barrenadores			
		Sin	Con	χ^2	$p \leq$
1	sin	589	1	10.87	0.001
	con	283	7		
2	sin	457	0	26.31	0.001
	con	66	4		
3	sin	362	2	58.93	0.001
	con	91	20		
4	sin	694	0	57.76	0.001
	con	237	21		
5	sin	999	1	35.95	0.001
	con	542	22		
6	sin	884	22	101.51	0.001
	con	562	91		
7	sin	460	35	67.21	0.001
	con	218	87		
8	sin	629	39	85.65	0.001
	con	89	43		

Tasa absoluta de dispersión de los barrenadores. El número de nogales con barrenadores disminuyó conforme se incrementó la distancia al foco inicial de infestación (Figura 1). Si bien, el lote 1 considerado el foco de infestación mostró menor número de nogales infestados durante 1999-2001 que la distancia más próxima lote 2 (0.14 km).

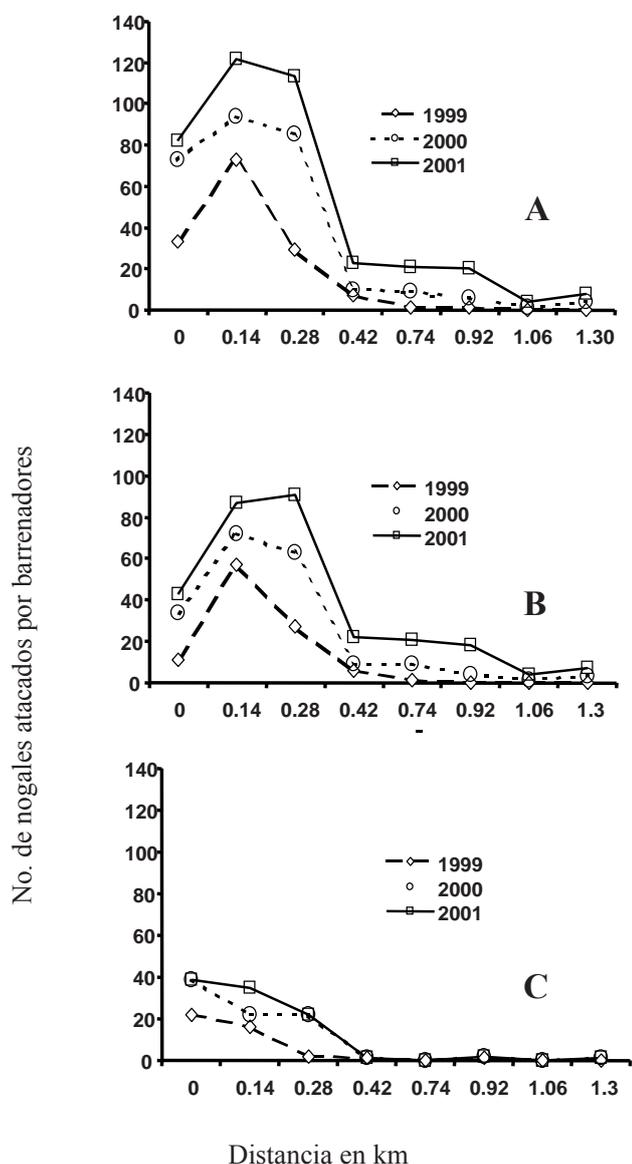


Figura 1. Número de nogales atacados por barrenadores en relación a la distancia al foco de inicio. (0): A, totales; B, con síntomas de pudrición texana; C, sin síntomas de pudrición texana, huerta Hormiguero, La Laguna México. 1999-2001.

Para el total de nogales con barrenador. Al incluir los datos que representan el total de lotes (1-8), los modelos exponencial, logístico y Gompertz fueron los que obtuvieron mayor r^2 , para el año 1999 y la diferencia entre los valores de los coeficientes fue menor al 4% (Cuadro 4). En los años 2000 y 2001, los modelos exponencial y logístico mostraron valores de r^2 con diferencia menor al 1%. Con los datos derivados de los lotes 2-8, el modelo Gompertz ajustado fue el que mayor r^2 manifestó en los años de estudio en comparación con los otros modelos, aunque el valor de r^2 disminuyó del primer al último año de evaluación; no obstante, en todos los casos la r^2 obtenida de los lotes 2-8 fueron mayores que los derivados de datos de los lotes 1-8. Los datos de los lotes 2-4, para el modelo monomolecular ajustado el valor de r^2 fue de 0.9983 en 1999, le siguió el modelo Gompertz con r^2 de 0.9958; en años subsecuentes el modelo con mejor ajuste fue el monomolecular, seguido del Gompertz.

Para nogales con barrenadores y síntomas de pudrición texana. Con los datos de los lotes 1-8, el modelo exponencial fue el que alcanzó los mayores r^2 , aunque con una diferencia menor de 1% con respecto al modelo logístico, en estos casos los coeficientes fueron menores a 0.80 y mayores a 0.75 (Cuadro 5). En 1999 se presentó mayor r^2 y disminuyó en 2000 y 2001. Al utilizar los datos de los lotes 2-8, los r^2 más altos durante 1999-2001 consistentemente correspondieron al modelo Gompertz ajustado, con un valor de 0.9549 para 1999, el modelo continuó con mayor valor de r^2 , aunque disminuyó en 2001. Datos de los lotes 2-4, en 1999, permitieron obtener 0.9977 de r^2 para el modelo monomolecular ajustado, y para el 2000, la r^2 más alta fue el modelo monomolecular. En 2001 únicamente se obtuvieron r^2 menores a 0.75.

Para nogales con barrenadores y sin síntomas de pudrición texana. El Cuadro 6 muestra estos resultados. Con datos de los lotes 1-8 durante 1999 y 2000, los valores más altos de r^2 correspondieron al modelo monomolecular ajustado, mientras que en 2001 al modelo monomolecular, para este último año, el valor de r^2 fue 0.70, el más bajo de todos. En 1999, con datos de los lotes 2-8 se obtuvieron valores altos de r^2 con los modelos exponencial y

Cuadro 4. Modelos que relacionan el total de nogales atacados por barrenadores y la distancia al foco de la plaga para el total de lotes o de algunos, La Laguna México. 1999-2001.

Año	Modelo								
	xp	Doble exp	Mono	Mono ln	Logístico	Log ln	Gompertz	Gompertz ln	
Datos de lotes 1-8									
1999	r	-0.0039	-0.5489	0.0000	-0.0007	-0.0039	-0.5496	-0.0006	-0.0784
	b	-5.0105	-4.3313	0.0058	0.0064	-5.0048	-4.3249	-1.6277	-1.5304
	r ²	0.8722	0.4450	0.5674	0.2502	0.8722	0.4447	0.8432	0.4310
2000	r	-0.0031	-0.4552	0.0000	-0.0014	-0.0032	-0.4566	-0.0005	-0.0754
	b	-4.4008	-3.7971	0.0106	0.0126	-4.3902	-3.7845	-1.4982	-1.3948
	r ²	0.7881	0.4193	0.6980	0.3842	0.7882	0.4194	0.7951	0.4324
2001	r	-0.0024	-0.3186	0.0000	-0.0015	-0.0024	-0.3201	-0.0004	-0.0576
	b	-4.1562	-3.8481	0.0135	0.0147	-4.1427	-3.8334	-1.4402	-1.3841
	r ²	0.8034	0.3626	0.6865	0.2896	0.8034	0.3625	0.8021	0.3631
Datos de lotes 2-8									
1999	r	-4.1335	-2.3222	-0.0064	-0.0041	-4.1399	-2.3263	-0.5926	-0.3393
	b	-4.7685	-9.0218	0.0066	-0.0003	-4.7619	-9.0221	-1.5906	-2.2041
	r ²	0.8601	0.9615	0.5823	0.8257	0.8598	0.9617	0.8292	0.9628
2000	r	-3.2911	-1.8107	-0.0103	-0.0061	-3.3014	-1.8168	-0.5373	-0.3003
	b	-4.2647	-7.6285	0.0111	0.0003	-4.2536	-7.6281	-1.4775	-2.0295
	r ²	0.7513	0.8055	0.6561	0.8146	0.7514	0.8060	0.7576	0.8382
2001	r	-2.6173	-1.4051	-0.0131	-0.0076	-2.6305	-1.4127	-0.4742	-0.2589
	b	-3.9455	-6.5998	0.0150	0.0014	-3.9305	-6.5984	-1.4006	-1.8840
	r ²	0.7977	0.8142	0.7006	0.8366	0.7978	0.8150	0.7989	0.8437
Datos de lotes 2-4									
1999	r	-0.0084	-2.0477	0.0000	-0.0080	-0.0084	-2.0558	-0.0015	-0.3604
	b	-3.3845	5.6131	0.0136	0.0494	-3.3709	5.6624	-1.3225	0.2647
	r ²	0.9852	0.9278	0.9639	0.9983	0.9855	0.9284	0.9958	0.9545
2000	r	-0.0080	-1.8356	0.0000	-0.0093	-0.0080	-1.8449	-0.0015	-0.3387
	b	-2.9267	4.9998	0.0196	0.0598	-2.9071	5.0595	-1.2111	0.2521
	r ²	0.7836	0.6492	0.8297	0.7039	0.7838	0.6495	0.7911	0.6579
2001	r	-0.0060	-1.3671	0.0000	-0.0109	-0.0060	-1.3781	-0.0012	-0.2787
	b	-3.0394	2.8644	0.0247	0.0720	-3.0147	2.9364	-1.1971	0.0069
	r ²	0.7844	0.6501	0.8180	0.6897	0.7846	0.6504	0.7905	0.6572

Exp= Exponencial; Mono= monomolecular; Log= logístico; ln= A la variable x se le aplicó ln; r= Tasa de dispersión; b= Intercepto; r²= Coeficiente de determinación.

Cuadro 5. Modelos que relacionan nogales con síntomas de pudrición texana atacados por barrenadores y distancia al foco de la plaga del total de lotes o de algunos, durante 1999 -2001, La Laguna México.

Año		Modelo							
		Exp	Doble exp	Mono	Mono ln	Logístico	Log ln	Gompertz	Gompertz ln
Datos de lotes 1-8									
1999	<i>r</i>	-0.0034	-0.4004	0.0000	-0.0003	-0.0034	-0.4007	-0.0005	-0.0527
	b	-5.5390	-5.3829	0.0039	0.0033	-5.5350	-5.3796	-1.7190	-1.7097
	<i>r</i> ²	0.7903	0.2810	0.4160	0.0643	0.7899	0.2807	0.7447	0.2440
2000	<i>r</i>	-0.0029	-0.3704	0.0000	-0.0007	-0.0029	-0.3711	-0.0004	-0.0566
	b	-4.8181	-4.5311	0.0070	0.0070	-4.8111	-4.5241	-1.5865	-1.5465
	<i>r</i> ²	0.7821	0.3250	0.5841	0.1729	0.7819	0.3247	0.7726	0.3120
2001	<i>r</i>	-0.0021	-0.2320	0.0000	-0.0007	-0.0021	-0.2327	-0.0004	-0.0391
	b	-4.5419	-4.5117	0.0094	0.0087	-4.5325	-4.5030	-1.5250	-1.5248
	<i>r</i> ²	0.7539	0.2429	0.5785	0.1277	0.7536	0.2425	0.7433	0.2288
Datos de lotes 2-8									
1999	<i>r</i>	-4.0019	-2.2494	-0.0052	-0.0033	-4.0071	-2.2527	-0.5627	-0.3215
	b	-4.9674	-9.0860	0.0054	-0.0002	-4.9620	-9.0862	-1.6281	-2.2103
	<i>r</i> ²	0.8515	0.9529	0.6146	0.8498	0.8513	0.9529	0.8260	0.9549
2000	<i>r</i>	-0.0033	-1.7745	0.0000	-0.0046	-0.0033	-1.7791	-0.0005	-0.2829
	b	-4.4816	4.4558	0.0085	0.0321	-4.4731	4.4879	-1.5286	-0.0983
	<i>r</i> ²	0.7951	0.8347	0.6758	0.8341	0.7951	0.8350	0.7949	0.8612
2001	<i>r</i>	-0.0025	-1.2895	0.0000	-0.0055	-0.0025	-1.2950	-0.0004	-0.2287
	b	-4.1809	2.2569	0.0115	0.0396	-4.1694	2.2965	-1.4573	-0.3109
	<i>r</i> ²	0.8160	0.8003	0.7227	0.8197	0.8161	0.8008	0.8195	0.8280
Datos de lotes 2-4									
1999	<i>r</i>	-0.0080	-1.9446	0.0000	-0.0061	-0.0081	-1.9508	-0.0014	-0.3298
	b	-3.6354	4.8844	0.0108	0.0379	-3.6246	4.9223	-1.3815	0.0666
	<i>r</i> ²	0.9637	0.8877	0.9895	0.9977	0.9640	0.8882	0.9798	0.9167
2000	<i>r</i>	-0.0074	-1.7097	0.0000	-0.0070	-0.0075	-1.7167	-0.0013	-0.3044
	b	-3.3118	4.0787	0.0148	0.0451	-3.2970	4.1238	-1.3008	0.0160
	<i>r</i> ²	0.7979	0.6659	0.8550	0.7351	0.7982	0.6662	0.8071	0.6767
2001	<i>r</i>	-0.0049	-1.1097	0.0000	-0.0070	-0.0049	-1.1167	-0.0010	-0.2165
	b	-3.5328	1.2390	0.0175	0.0474	-3.5152	1.2863	-1.3138	-0.3831
	<i>r</i> ²	0.7255	0.5835	0.7038	0.5597	0.7254	0.5834	0.7218	0.5794

Exp= exponencial; Mono= monomolecular; Log= logístico; ln= A la variable x se le aplicó ln; *r*= Tasa de dispersión; b= Intercepto; *r*²= Coeficiente de determinación.

logístico ajustado, con una diferencia menor a 1% entre ellos. En los años posteriores, el modelo con mayor r^2 fue el monomolecular ajustado seguido del Gompertz ajustado. Los datos obtenidos de los lotes 2-4 en 1999, proyectaron al modelo logístico ajustado con el mayor valor de r^2 (0.98), que fue similar al modelo exponencial;

en el siguiente año (2000), los modelos exponencial, logístico, monomolecular y Gompertz manifestaron un r^2 similar, que en este caso, fue mayor al resto de los modelos, con un valor de 0.7500. En 2001, el modelo monomolecular tuvo el r^2 más alto (0.98), seguido del monomolecular ajustado r^2 de 0.9200.

Cuadro 6. Modelos que relacionan nogales atacados por barrenadores sin síntomas de pudrición texana y la distancia al foco de la plaga del total de lotes o de algunos. La Laguna, México. 1999-2001.

Año		Modelo							
		Exp	Doble exp	Mono	Mono ln	Logístico	Log ln	Gompertz	Gompertz ln
Datos de lotes 1-8									
1999	r	-0.0025	-0.5099	0.0000	-0.0004	-0.0025	-0.5103	-0.0003	-0.0692
	b	-6.7222	-5.3997	0.0018	0.0031	-6.7204	-5.3966	-1.8936	-1.7094
	r^2	0.6655	0.7268	0.5412	0.8093	0.6655	0.7269	0.6449	0.7388
2000	r	-0.0030	-0.5541	0.0000	-0.0007	-0.0030	-0.5549	-0.0004	-0.0796
	b	-5.8430	-4.6226	0.0036	0.0056	-5.8395	-4.6170	-1.7560	-1.5750
	r^2	0.6763	0.5747	0.6757	0.8161	0.6763	0.5750	0.6857	0.6083
2001	r	-0.0032	-0.5611	0.0000	-0.0008	-0.0032	-0.5618	-0.0005	-0.0809
	b	-5.6986	-4.5261	0.0041	0.0060	-5.6946	-4.5202	-1.7303	-1.5578
	r^2	0.6789	0.5397	0.6999	0.6796	0.6790	0.5399	0.6889	0.5615
Datos de lotes 2-8									
1999	r	-0.0019	-1.2169	0.0000	-0.0007	-0.0019	-1.2176	-0.0002	-0.1580
	b	-7.2335	-0.8741	0.0012	0.0050	-7.2323	-0.8691	-1.9682	-1.1408
	r^2	0.5412	0.7833	0.3771	0.6206	0.5411	0.7832	0.5134	0.7588
2000	r	-0.0027	-1.5902	0.0000	-0.0014	-0.0027	-1.5916	-0.0004	-0.2186
	b	-6.1775	2.0091	0.0026	0.0100	-6.1749	2.0192	-1.8109	-0.6855
	r^2	0.5602	0.7062	0.5903	0.7442	0.5602	0.7063	0.5687	0.7168
2001	r	-0.0029	-1.7523	0.0000	-0.0020	-0.0029	-1.7544	-0.0004	-0.2475
	b	-5.9499	3.0990	0.0035	0.0141	-5.9464	3.1131	-1.7703	-0.4910
	r^2	0.5718	0.7407	0.5861	0.8065	0.5719	0.7408	0.5809	0.7577
Datos de lotes 2-4									
1999	r	-0.0099	-2.5750	0.0000	-0.0019	-0.0099	-2.5769	-0.0013	-0.3471
	b	-5.0024	6.4877	0.0028	0.0114	-4.9996	6.4991	-1.6668	-0.1158
	r^2	0.9231	0.9829	0.7997	0.9046	0.9230	0.9829	0.9037	0.9729
2000	r	-0.0110	-2.5106	0.0000	-0.0023	-0.0110	-2.5129	-0.0015	-0.3451
	b	-3.7785	7.0365	0.0048	0.0145	-3.7737	7.0510	-1.4814	0.0051
	r^2	0.7500	0.6108	0.7500	0.6108	0.7500	0.6108	0.7500	0.6108
2001	r	-0.0127	-2.9599	0.0000	-0.0039	-0.0127	-2.9638	-0.0018	-0.4252
	b	-3.1594	9.6796	0.0071	0.0243	-3.1523	9.7040	-1.3709	0.4768
	r^2	0.8461	0.7239	0.9820	0.9212	0.8463	0.7242	0.8686	0.7523

Exp= Exponencial; Mono= monomolecular; Log= logístico; ln= A la variable x se le aplicó ln; r= Tasa de dispersión; b= Intercepto; r^2 = Coeficiente de determinación.

Velocidad instantánea de dispersión. La VID obtenida de todos los datos (lotes 1-8) se presenta en el Cuadro 7. Para cada lote se generó una tasa de VID entre los años 2000-1999 y 2001-2000, los resultados indican que, las tasas con valores más altos se presentaron durante los años 1999-2000 con relación al ciclo 2000-2001, excepto a la distancia 0.42 km (lote 4) en donde en el período 2000-2001 obtuvo una tasa de 1.72 comparada con 1.17 para el período 1999-2000. Al aplicar la prueba de *t* a la serie de valores que representan las tasas obtenidas (lotes 1-5) durante el ciclo 1999-2000 con sus correspondientes en el período 2000-2001 se obtuvo un valor $p=0.06$. Las VID entre nogales con barrenadores y síntomas de pudrición texana o sin ellos,

así como las tasas obtenidas al dividir sus respectivos valores de VID, se presentan en el Cuadro 8. En 1999 los valores de VID en los nogales con síntomas de pudrición texana fueron de 16 a 60 veces más altos que sus correspondientes para nogales con la plaga y sin síntomas de la enfermedad (Cuadro 8). En años subsecuentes, ocurrió algo similar, aunque las diferencias entre los valores de VID de los nogales con y sin síntomas de la enfermedad fueron menos acentuadas, de tal forma que la tasa mayor fue de 11.63 (distancia 0.42 km) en el año 2000 y para el 2001 la tasa mayor es de 25.61 (distancia 0.74 km), en comparación a la máxima tasa de 62.69 (distancia 0.28 km) en 1999.

Cuadro 7. Velocidad instantánea de dispersión VID de barrenadores a partir del foco inicial de la plaga y tasas de valores de VID entre años en la huerta Hormiguero, La Laguna México. 1999-2001.

Núm. de lote	Distancia km	VID			Tasa	
		1999	2000	2001	2000-1999	2001-2000
1	0.00	-0.000017	-0.000031	-0.000026	1.82	0.84
2	0.14	-0.000037	-0.000039	-0.000038	1.05	0.97
3	0.28	-0.000015	-0.000036	-0.000035	2.39	0.99
4	0.42	-0.000004	-0.000004	-0.000007	1.17	1.72
5	0.74	-0.000001	-0.000004	-0.000007	7.38	1.75
6	0.92	-0.000001	-0.000003	-0.000006	4.92	2.50
7	1.06	-	0.000004	-0.000001	-	3.00
8	1.30	-	-0.000002	-0.000003	-	1.50

Cuadro 8. Velocidad instantánea de dispersión de barrenadores a partir de 0.14 km del foco inicial de infestación de la plaga y lotes subsecuentes, en la huerta Hormiguero, La Laguna México. 1999-2001.

Distancia km	VID								
	1999			2000			2001		
	Sspt	Cspt	Tasa Sspt/Cspt*	Sspt	Cspt	Tasa Sspt/Cspt	Sspt	Cspt	Tasa Sspt/Cspt
0.14	-	-	16.51	-	-	4.21	-	-	2.28
0.28	0.00015	0.00241	62.69	0.00063	0.00267	3.68	0.00114	0.00260	2.28
0.42	0.00002	0.00114	62.69	0.00063	0.00234	3.68	0.00072	0.00272	3.79
0.74	0.00001	0.00026	27.94	0.00003	0.00034	11.63	0.00003	0.00066	20.27
0.92	-	-	-	-	-	-	0.00002	0.00063	25.61
1.06	-	-	-	0.00006	0.00015	2.59	0.00007	0.00054	8.30
1.30	-	-	-	-	-	-	0.00002	0.00012	4.89
	-	-	-	0.00003	0.00011	3.88	0.00003	0.00021	6.46

Sspt= Sin síntomas de pudrición texana; Cspt= Con síntomas de pudrición texana; -= No se tiene registro de nogales atacados por barrenadores durante 1999 o 2000.

DISCUSIÓN

Registros históricos de la huerta en estudio, indican que antes de su establecimiento los terrenos se cultivaban con algodón y que éste fue atacado por pudrición texana. La prueba de "ji" cuadrada utilizada para comparar frecuencia de nogales con y sin síntomas de la enfermedad y árboles atacados o no con barrenadores fue altamente significativa $p \leq 0.001$ en todos los lotes. Es decir, las frecuencias de árboles con y sin pudrición texana son diferentes en relación a la frecuencia de árboles que manifiestan ataque o no de barrenadores. Debido que el ataque de barrenadores al nogal es relativamente reciente, la frecuencia de nogales con la plaga es menor a la frecuencia de árboles con pudrición texana; sin embargo, en todos los lotes se observaron más nogales atacados por barrenadores y síntomas de la enfermedad que con la plaga y sin síntomas de pudrición texana.

Tasa absoluta de dispersión de los barrenadores.

Antes de 1999, en el lote 1 se podaron de manera severa nogales fuertemente atacados por barrenadores; dichas prácticas tienden a disminuir la población de insectos y en consecuencia la tasa de dispersión; por esta razón, es posible que a través de los años el lote uno mostrará menos árboles atacados que el lote dos. Por tanto, es posible que los datos de los lotes 2-8 utilizados en los modelos de dispersión se ajusten mejor a la dispersión observada de los barrenadores en nogales no podados, si bien, desde 1999 la poda (lote 1) de nogales fuertemente atacados por los insectos también influyó en su propia dispersión.

Total de nogales con barrenador. A partir de datos obtenidos de los lotes 1-8 de nogales con barrenadores, el modelo logístico obtuvo los mas altos valores de r^2 ; este modelo indica que las plagas y enfermedades tienen varios ciclos de reproducción y dispersión, lo que concuerda con la forma de reproducción y dispersión de insectos barrenadores de la madera (García, 1999). En contraste, los modelos derivados de datos de los lotes 2-8 (poseen altos valores de r^2), el logaritmo de la distancia sí tuvo un efecto inversamente proporcional a la dispersión (modelos ajustados y doble exponencial), si bien, estos modelos también denotan varios ciclos de reproducción del insecto. Datos de los lotes 2-4 representan modelos de reproducción del insecto de un sólo ciclo, que es de esperarse, debido que se incluyeron lotes de una distancia corta, y donde posiblemente la dispersión de la plaga dependa de una gran cantidad de insectos concentrada resultó en los lotes 1 y 2. El hecho de que se

presentara en 1999 el modelo monomolecular ajustado con alto valor de r^2 en los lotes 2-4 y que en los años subsiguientes cambiará a monomolecular, podría interpretarse por aumento en la cantidad de nogales con barrenadores, de tal forma que después de 1999, los nogales adquirieran en mayor proporción la plaga, lo cual se reflejaría en pasar de un modelo que representa una dispersión del logaritmo inversamente proporcional a la distancia (monomolecular ajustado) a otro en donde la distancia no influye de esta manera, como el modelo monomolecular mostrado en el 2000 y 2001.

Nogales con barrenadores y síntomas de pudrición texana.

Los modelos de dispersión conformados con este tipo de datos procedentes de los lotes 1-8, 2-8 ó 2-4, fueron semejantes a los obtenidos de los datos de nogales totales con barrenador. Las semejanzas son esperadas, debido que los porcentajes de nogales con la plaga son muy similares, es decir, los barrenadores invadieron consistentemente nogales con síntomas de la enfermedad.

Nogales con barrenadores y sin síntomas de pudrición texana.

En la mayoría de los casos, el modelo con mejor ajuste fue el monomolecular, el cual relaciona la dispersión de la plaga en forma inversamente proporcional al logaritmo de la distancia del origen del foco del inóculo. Los modelos de mejor ajuste correspondieron a la dispersión de la plaga de un solo ciclo (monomolecular), excepto para el año 1999 y datos procedentes de los lotes 2-8 y 2-4. No obstante, que el manejo de los datos de nogales con barrenadores y síntomas o no de pudrición texana utilizados para conformar los modelos son sustancialmente artificiales, esto podría ayudarnos a interpretar el comportamiento de la plaga simulando un manejo diferente, como fue con la poda de árboles previamente (lote 1) y la dispersión de la plaga en lotes fuertemente infestados y distancia corta (lote 2-4). Los resultados indican que los barrenadores tienen una predilección por atacar árboles debilitados por algún factor de estrés, incluso nogales con síntomas de *P. omnivora*, aún cuando antes del ataque no se hayan observado síntomas visibles de la enfermedad. Esto último se deriva del hecho de que se encontraron las raíces colonizadas por cordones de *P. omnivora* de árboles sin síntomas visibles de la enfermedad pero atacados por barrenadores. En la actualidad se han detectado árboles de manzano con pudrición texana mediante medición de la temperatura del follaje con detector de calor por rayos infrarrojos, método que resultó ser más sensible que la detección visual de síntomas en el follaje (Watson *et al.*, 2000).

Velocidad instantánea de dispersión. La tasa de dispersión instantánea por distancia obtenida de la relación 2000-1999, fue mayor que el ciclo 2001-2000, aunque la prueba de t derivada de las serie de datos provenientes de las tasas 2000-1999 contra 2001-2000 sólo fue significativa al 0.062. Estos resultados apoyan la hipótesis de que los barrenadores atacan preferentemente nogales estresados por déficit de agua, ya que durante el año 2000 se aplicaron cinco riegos lo cual provocó más estrés por agua que durante el año 2001 cuando se aplicaron siete riegos. En el cultivo de nogal en La Laguna se recomienda aplicar por lo menos siete riegos para no causar estrés por déficit de agua (Faz *et al.*, 1989; Stein y Worthington, 1997). Por tanto, el estrés hídrico en nogales favorece el ataque de barrenadores y la expresión de síntomas de pudrición texana. En varios cultivos agrícolas, se tiene evidencia de que bajo condiciones favorables de manejo se reduce la expresión de síntomas de pudrición texana (Medina y Aguilar, 1985; Smith y Hallmark, 1987; Matocha y Hopper, 1995; Samaniego *et al.*, 2001).

Insectos barrenadores y enfermedades se asocian atacando árboles forestales estresados en cientos de miles de hectáreas establecidas con Sissoo (*Dalbergia sissoo* Roxb.) en Bangladesh, Nepal y Pakistan (Baksha y Basak, 2000; Joshi y Baral, 2000; Khan y Khan, 2000).

Indudablemente, la dispersión de los barrenadores a través de la huerta no es únicamente influenciada por la distancia, la poda, los árboles atacados por *P. omnivora*, y el número de riegos, seguramente influyen otros factores como la distancia entre árboles, tamaño del árbol, edad y mezcla genética de la población de nogales e insectos barrenadores.

De hecho, la mayoría de las plagas y enfermedades son mezclas de poblaciones de hospedantes y de organismos dañinos (Garrett y Mundt, 1999). Sin embargo, los modelos aplicados en este trabajo y los coeficientes de determinación obtenidos sugieren que, al menos durante el período de este estudio, a) la distancia es un factor que influye en la dispersión de los barrenadores, b) la plaga tiene un comportamiento de varios ciclos de reproducción y c) la dispersión del insecto se atenúa posiblemente por el efecto de la poda, la cual provoca una disminución en la población del insecto. Esto último como consecuencia de su eliminación parcial al destruir ramas y troncos infestados por el insecto. Estas tendencias de comportamiento se reflejan en el modelo Gompertz ajustado, derivado de los datos totales de los lotes 2-8, nótese que este modelo fue el de mejor ajuste de 1999 al 2001.

Debido a su agresividad de ataque y rápida dispersión, se considera que estas plagas son muy dañinas para el cultivo de nogal, por tanto, es indispensable implementar y evaluar además de la poda medidas adicionales para su control, y considerar el efecto acumulativo o sinérgico que pudiera establecerse entre las plagas y *P. omnivora* bajo condiciones de estrés hídrico en el cultivo de nogal. También es necesario determinar con mayor precisión si la edad de los nogales es un factor que está relacionado con la incidencia y dispersión de la plaga en el cultivo. Seguramente el estudio de la edad es relevante, debido a que plantaciones nuevas de nogal en donde pudiese establecerse la plaga podrían llegar a ser en extremo afectadas. De acuerdo a datos obtenidos de la huerta, más de 90% de los nogales que fueron podados para controlar el ataque severo de barrenadores sobrevivieron, siempre y cuando se encontraran en los lotes 1 y 2 (edad de los nogales en 1999 de 24 años); en contraste, con una sobrevivencia menor a 20% de los nogales podados en el resto de los lotes, en donde la edad de los árboles fue de 12 años o menos en 1999.

En particular el nogal es señalado como un árbol que es más susceptible a estrés en función de la edad, de tal manera que sobreviven menos árboles entre más jóvenes sean, tanto por deficiencia de agua como por pudrición texana (Herrera y Samaniego, 2002). Al parecer, los nogales de menor porte son más fácilmente atacados por los barrenadores, por lo que se requeriría menor cantidad de insectos para atacarlos en comparación a nogales de más porte, por ello sería importante estimar la cantidad de insectos necesarios para atacar a un árbol en función del volumen de su madera. En 1998 en la Comarca Lagunera se determinó que 1% de árboles de nogal eran atacados por *E. segnis*, lo cual significa que de los 400 000 nogales establecidos en la región, 4 000 estaban ya infestados (García, 1999).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos al Sr. Alfredo Esparza Villalobos administrador de la huerta Hormiguero, por las facilidades que otorgó para la realización de este trabajo, sin las cuales no hubiese sido posible esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Arreola, A. A. y Reyes, J. I. 2002. Tecnología de producción del nogal pecanero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México. 239 p.
- Baksha, M. W., and Basak, A. C. 2000. Mortality of sissoo (*Dalbergia sissoo* Roxb.) in Bangladesh. *In: Proceedings of the Sub-Regional Seminar. "Die-Back of Sissoo (Dalbergia sissoo)"* Kathmandu, Nepal, 25-28 April 2000. (Ed.) S. Appanah., G. Allard., and S. M. Amatya. Department of Forest Research and Survey Ministry of Forest and Soil Conservation Forestry Research Support Programme for Asia and the Pacific (FORSPA) FAO. ONU. Bangkok. p. 1-4.
- Campbell, C. L., and Madden, L. D. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Son. 532 p.
- Equihua, M. A. y Atkinson, T. H. 1987. Catálogo de Platypodidea (Coleoptera) de Norte y Centroamérica. *Folia Entomológica Mex.* 72:5-31.
- Galván, L. O. A. 2000. *Euplatypus segnis* (Chapuis): Fluctuación poblacional y magnitud de daño a nogales en Parras, Coahuila. *In: Vázquez N. J. M. (ed.). Memoria del II Curso de actualización fitosanitaria en nogal. 10 y 11 de marzo. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Campus Laguna, Torreón, Coahuila. p. 45-47.*
- García, M. O. 1999. El barrenador ambrosial *Euplatypus segnis* (Chapuis) del tronco y ramas del nogal (*Carya illinoensis*). *Memorias del Séptimo Simposium Internacional Nogalero NOGATEC. 23, 24 y 25 de septiembre. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Campus Laguna, Torreón, Coahuila. p. 39-42.*
- Garrett, K. A., and Mundt, C. C. 1999. Epidemiology in mixed host populations. *Phytopathology* 89:984-990.
- Faz, C. R.; Medina, M. C.; DePaul, R. V.; Godoy, A. C. y Lagarda, M. A. 1989. Respuesta del cultivo del nogal (*Carya illinoensis* Koch) a diferentes calendarios de riego. *Agric. Téc. Méx.* 15:129-138.
- Herrera, P. T. y Samaniego, G. J. A. 2002. Enfermedades del nogal. *In: Arreola, A. A. y Reyes, J. I. (eds.). Tecnología de producción del nogal pecanero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México. p. 177-206.*
- Joshi, R. B., and Baral, S. R. 2000. A report on die-back of *Dalbergia sissoo* in Nepal. *In: Proceedings of the Sub-Regional Seminar. "Die-Back of Sissoo (Dalbergia sissoo)"* Kathmandu, Nepal, 25-28 April 2000. (Ed.) S. Appanah., G. Allard., and S. M. Amatya. Department of Forest Research and Survey Ministry of Forest and Soil Conservation Forestry Research Support Programme for Asia and the Pacific (FORSPA) FAO. ONU. Bangkok. p. 17-22.
- Khan, M. M., and Khan, M. H. 2000. Die-back of *Dalbergia sissoo* in Pakistan. *In: Proceedings of the Sub-Regional Seminar. "Die-Back of Sissoo (Dalbergia sissoo)"* Kathmandu, Nepal, 25-28 April 2000. (Ed.) S. Appanah., G. Allard., and S. M. Amatya. Department of Forest Research and Survey Ministry of Forest and Soil Conservation Forestry Research Support Programme for Asia and the Pacific (FORSPA) FAO. ONU. Bangkok. p. 51-56.
- Matocha, J. E., and Hopper, F. L. 1995. Influence of soil properties and chemical treatments on *Phymatotrichum omnivorum*. Vol. 2. Pages 224-229. *In: Ritcher, D. A., and Armour, J. (eds.). Proceedings Beltwide Cotton Conferences. San Antonio, Texas, USA.*
- Medina, M. E. y Aguilar, P. J. 1985. Características del suelo asociadas con pudrición texana (*P. omnivorum*) en huertas nogaleras del norte de Coahuila. Informe de Investigación Agrícola en Fruticultura. Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Agrícola Experimental Zaragoza-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Matamoros, Coahuila, México. p. 506-520.
- Samaniego, G. J. A.; Herrera, P. T.; Pedroza, S. A. y Santamaría, C. J. 2001. Relación entre las condiciones de suelo y manejo de las huertas de nogal pecanero con la dinámica de la pudrición texana. *Rev. Mex. Fitopatol.* 19:10-18.
- Smith, R. B., and Hallmark, C. T. 1987. Selected chemical and physical properties of soil manifesting cotton root rot. *Agronomy Journal* 79:155-159.
- Stein, L. A., and Worthington, J. W. 1997. Water Management. *In: McEachern, G. R., and Stein, L. A. (eds.). Texas Pecan Handbook. Texas A&M University. College Station, Texas. P. Irrigation V - 9-20.*
- Watson, W. T.; 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.