

Desarrollo del biotipo B de *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Homoptera: Aleyrodidae) en tres variedades de pimiento a temperaturas constantes

M. MUÑIZ

Se han elaborado modelos fenológicos del biotipo B de *Bemisia tabaci* en tres variedades de pimiento (Morrón, Piquillo y Yolo-Wonder) mediante el ajuste a diferentes funciones matemáticas de los tiempos de desarrollo observados a siete temperaturas constantes (17, 20, 23, 26, 30, 33 y 35 °C), y se ha estimado el número de generaciones en Almería, una de las zonas de mayor interés hortícola en España. Excepto a 35 °C, los tiempos de desarrollo disminuyeron cuando se incrementó la temperatura, con valores diferentes en las tres variedades, obteniéndose los más elevados en Yolo-Wonder. De los modelos utilizados, la modificación 2 del modelo de Logan: $r(T) = e^{\rho T} - e^{\rho T_m} \frac{(T_m - T)^b}{b} + \lambda$ proporcionó las mejores estimaciones de las tasas de desarrollo. La temperatura óptima fue próxima a 32 °C en las tres variedades y la temperatura máxima varió entre 37,5 °C (huevo y ninfa en Morrón) y 41,2 °C (huevo y ninfa en Yolo y adulto-adulto en Morrón). Las estimaciones más precisas del cero de desarrollo (c) y de la constante térmica (K) se obtuvieron mediante regresión lineal con la expresión $tT = K + ct$ y con el Programa IMPACT-DDU, respectivamente. El valor más bajo de c se obtuvo en Piquillo (8,7 °C) y la constante térmica varió entre 93 y 108 °C-día para huevo y entre 288 y 302 °C-día para ninfa. Para el período completo (adulto-adulto) se requiere mayor número de grados-día en Yolo-Wonder (437) que en Morrón (402) y en Piquillo (404). El número estimado de generaciones acumuladas del insecto en Almería durante el período comprendido entre enero de 1998 y diciembre de 1999 fue 19 en Morrón y en Piquillo y 18 en Yolo-Wonder.

M. MUÑIZ. Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC). Serrano, 115 Dpdo. 28006 Madrid.

Palabras clave: *Bemisia tabaci*, biotipo B, pimiento, fenología, desarrollo, umbrales térmicos, constante térmica, generaciones.

INTRODUCCIÓN

Bemisia tabaci (Gennadius, 1889) (Homoptera: Aleyrodidae) fue descrita por vez primera en España como plaga ocasional en algunos cultivos hortícolas por Gómez Menor (GÓMEZ MENOR, 1943). Aunque en años siguientes se encuentran referencias sobre daños en importantes cultivos como patata, judía, berenjena, tabaco y algodón (ALFARO, 1953; DOMÍNGUEZ GARCÍA-TEJERO, 1961; IZQUIERDO y DURÁN, 1976), es a partir de 1988 cuando este insecto re-

cibe un interés creciente debido a los daños directos e indirectos que causa, estableciéndose como plaga importante en cultivos de invernadero y al aire libre, tanto de la Península como de Canarias y Baleares (CARNERO *et al.*, 1990; GUIRAO *et al.*, 1997a, b; LACASA *et al.*, 1997). El daño que origina en los cultivos es debido, fundamentalmente, a la extracción de floema por los estadios inmaduros y adultos, y a la transmisión de importantes geminivirus (BEDFORD *et al.*, 1994a, b; BIRD y MARA-MOROSCH, 1978; BROWN, 1994; BROWN y

BIRD, 1992, 1996, CENIS, 1997; CENIS *et al.*, 1997; JORDÁ, 1997; MORIONES, 1997; MORIONES *et al.*, 1993). Este aumento de los daños causados en la última década por la presencia de *B. tabaci* en numerosos cultivos de nuestro país, unido a la existencia de biotipos con eficacia biológica diferente, justifica la importancia de estudios básicos y, en especial, de los que se refieren a su fenología. Existen numerosos programas de control, tanto de *Bemisia* como de los virus que transmite, basados fundamentalmente en la aplicación de insecticidas y en métodos de lucha biológica (BEITIA *et al.*, 1997; DELGADO, 1997; DíEZ *et al.*, 1997; GONZÁLEZ-ZAMORA, 1997; REINA y BEJARANO, 1997; RODRÍGUEZ, 1997). Existen también numerosos trabajos sobre la biología de *Bemisia* (ver revisión de DROST *et al.*, 1998) que son fundamentales para que esos métodos de control sean suficientemente eficaces, pero es necesario incrementar aún más las investigaciones para determinar los parámetros del desarrollo (umbrales térmicos, constante térmica, temperatura óptima, etc.) para llegar a comprender mejor su dinámica poblacional. En este sentido, a pesar de que la temperatura es uno de los factores limitantes en el desarrollo de cualquier organismo, es importante considerar también otros de naturaleza biótica, que puedan influir en las tasas de crecimiento de una población (MARCO *et al.*, 1997).

Con objeto de analizar esos aspectos, se han utilizado en este trabajo diferentes modelos matemáticos para estimar los parámetros del desarrollo del biotipo B de *B. tabaci* en tres variedades de pimiento (Morrón, Piquillo y Yolo-Wonder), partiendo de la observación en laboratorio de los tiempos de desarrollo del insecto a 7 temperaturas constantes.

Por otra parte Almería es la más importante provincia española en cuanto al cultivo de pimiento se refiere. Según datos del Anuario de Estadística Agraria para 1995, la superficie dedicada al cultivo del pimiento en invernadero fue de 7.090 ha (95% del

total en Andalucía y 73% del total en España), y la producción representó el 87% de la andaluza y el 50% del total en España, con 400.000 t (MAPA, 1997). Por ello se ha considerado de gran interés determinar en esta zona el número de generaciones de *B. tabaci* durante el período comprendido entre enero de 1998 y diciembre de 1999 en función de las temperaturas medias mensuales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Desarrollo

Para observar la duración del período de prepuesta, se introdujo una pareja de 0 a 4 h de edad, procedente de una población criada en pimiento (variedad Morrón) en 60 pequeñas cajas-pinza tronco-cónicas de plástico transparente de 3,6 cm de diámetro máximo, 2,6 cm de diámetro mínimo y 4 cm de altura (MUÑIZ y NOMBELA, 1997) que se ajustaron a las hojas a razón de 4 cajas por planta y 5 plantas por variedad. Una vez que las hembras copularon se determinó el tiempo transcurrido hasta la primera puesta bajo las siguientes condiciones: temperatura de 17, 20, 23, 26, 30, 33 y 35 °C, con variación de ± 1 °C en todos los casos, fotoperíodo de 16 horas y humedad relativa del 68-75%. Para determinar la duración de los diferentes estadios se introdujeron 5 hembras de 7 días de edad procedentes de la misma población en 60 cajas-pinza (4 cajas por planta, 5 plantas por variedad) con iguales características que las utilizadas anteriormente. Las cajas con las hembras se mantuvieron para la puesta de huevos durante 4 horas en una cámara climática bajo las mismas condiciones que en el experimento anterior. Una vez que los huevos eclosionaron y que las larvas de primera edad se fijaron, se marcaron y numeraron éstas y se observó el tiempo transcurrido hasta la fase siguiente. Los datos definitivos correspondieron a los huevos que alcanzaron la fase de adulto.

Cuadro 1.-Duración observada (días) del desarrollo de *B. tabaci* (biotipo B) a diferentes temperaturas (°C) en tres variedades de *C. annuum* (Media ± EEM). M = Morrón, P = Piquillo, Y = Yolo-Wonder. Ninfa = L1+L2+L3+L4 (Pupa)

	17 °C			20 °C			23 °C			26 °C		
	Huevo	Ninfa	Adulto-adulto	Huevo	Ninfa	Adulto-adulto	Huevo	Ninfa	Adulto-adulto	Huevo	Ninfa	Adulto-adulto
M	11,71 ± 0,02 a (n = 36)	33,28 ± 0,09 a (n = 36)	48,61 ± 0,09 a (n = 36)	9,06 ± 0,02 a (n = 32)	26,93 ± 0,06 a (n = 32)	38,35 ± 0,08 a (n = 32)	6,93 ± 0,02 a (n = 37)	18,99 ± 0,05 a (n = 37)	27,80 ± 0,06 a (n = 37)	5,06 ± 0,02 a (n = 37)	15,95 ± 0,09 a (n = 37)	22,18 ± 0,11 a (n = 37)
P	12,21 ± 0,03 b (n = 42)	33,83 ± 0,09 b (n = 42)	49,75 ± 0,12 b (n = 42)	9,26 ± 0,02 b (n = 44)	27,11 ± 0,07 a (n = 44)	38,88 ± 0,08 b (n = 44)	7,23 ± 0,02 b (n = 46)	19,10 ± 0,06 a (n = 46)	28,33 ± 0,07 b (n = 46)	5,19 ± 0,03 b (n = 48)	16,05 ± 0,10 a (n = 48)	22,44 ± 0,13 a (n = 48)
Y	12,61 ± 0,02 c (n = 50)	36,31 ± 0,06 c (n = 50)	52,76 ± 0,07 c (n = 50)	9,32 ± 0,01 c (n = 52)	28,67 ± 0,05 b (n = 52)	40,65 ± 0,06 c (n = 52)	7,28 ± 0,01 b (n = 54)	19,83 ± 0,07 b (n = 54)	29,26 ± 0,08 c (n = 54)	5,49 ± 0,02 c (n = 53)	17,31 ± 0,10 b (n = 53)	24,20 ± 0,12 b (n = 53)

	30 °C			33 °C			35 °C		
	Huevo	Ninfa	Adulto-adulto	Huevo	Ninfa	Adulto-adulto	Huevo	Ninfa	Adulto-adulto
M	4,45 ± 0,01 a (n = 52)	13,17 ± 0,06 a (n = 52)	18,75 ± 0,07 a (n = 52)	4,10 ± 0,02 a (n = 43)	12,49 ± 0,06 a (n = 43)	17,67 ± 0,08 a (n = 43)	4,83 ± 0,02 a (n = 39)	14,87 ± 0,07 a (n = 39)	20,94 ± 0,08 a (n = 39)
P	4,81 ± 0,01 b (n = 42)	13,10 ± 0,06 a (n = 42)	19,10 ± 0,07 b (n = 42)	4,31 ± 0,01 b (n = 51)	12,43 ± 0,06 a (n = 51)	17,83 ± 0,07 a (n = 51)	4,72 ± 0,02 b (n = 36)	15,01 ± 0,06 b (n = 36)	20,96 ± 0,08 a (n = 36)
Y	5,08 ± 0,02 c (n = 54)	13,95 ± 0,07 b (n = 54)	20,34 ± 0,08 c (n = 54)	4,73 ± 0,01 c (n = 50)	13,43 ± 0,08 b (n = 50)	19,37 ± 0,09 b (n = 50)	5,05 ± 0,02 c (n = 44)	14,98 ± 0,07 c (n = 44)	21,41 ± 0,08 b (n = 44)

Las medias seguidas por la misma letra para cada temperatura y período o fase no difieren significativamente al 95%.

Cuadro 2.-Parámetros y coeficientes de correlación estimados con el modelo no lineal $r(T)=e^{\rho T}-\exp^{\rho T_m-(T_m-T)^b}+\lambda$. Medias (EEM). Ninfa = L1+L2+L3+L4 (Pupa)

Fase o período	Variedad	n	ρ	T_m	b	λ	R^2
Huevo	Morrón	276	0,009492 a (0,000014)	40,157096 a (0,033599)	1,873319 a (0,013225)	-1,093327 a (0,000373)	0,981860
	Piquillo	309	0,009461 a (0,000022)	43,583674 b (0,074308)	2,969071 b (0,031246)	-1,095788 b (0,000532)	0,975550
	Yolo-Wonder	357	0,009864 b (0,000027)	47,707084 c (0,081047)	4,751864 c (0,039048)	-1,103207 c (0,000513)	0,984320
Ninfa	Morrón	276	0,003483 b (0,000005)	41,425333 a (0,036965)	1,762726 a (0,010848)	-1,032091 a (0,000117)	0,984470
	Piquillo	309	0,003553 b (0,000006)	41,021648 b (0,030931)	1,666692 b (0,009130)	-1,033489 b (0,000104)	0,982540
	Yolo-Wonder	357	0,003387 c (0,000005)	43,491649 c (0,051290)	2,245109 b (0,014761)	-1,032687 c (0,000116)	0,979640
Adulto-adulto	Morrón	276	0,100010 a (0,000987)	40,947200 a (0,076118)	9,957670 a (0,059846)	-0,035934 a (0,004944)	0,959100
	Piquillo	309	0,101938 a (0,000682)	41,660500 b (0,043643)	9,779490 b (0,011768)	-0,024822 b (0,000478)	0,978656
	Yolo-Wonder	357	0,094949 b (0,000297)	41,407800 c (0,026916)	10,481800 c (0,035994)	-0,038123 a (0,000247)	0,943800

Las medias seguidas por la misma letra para cada temperatura y período o fase no difieren significativamente al 95%.

Cuadro 3.-Estimaciones del cero de desarrollo (c, en °C), temperatura óptima (°C), duración a esta temperatura (días) y temperatura máxima (°C) de *B. tabaci* (biotipo B) en tres variedades de pimiento con el modelo no lineal. (Medias \pm EEM). M = Morrón, P = Piquillo, Y = Yolo-Wonder. Ninfa = L1+L2+L3+L4 (Pupa)

Var.	c			Temp. óptima (duración)			Temp. máxima		
	Huevo	Ninfa	Ad.-ad.	Huevo	Ninfa	A.-ad.	Huevo	Ninfa	Ad.-ad.
M	9,4	9,0	10,5	32,4; 4,1	31,8; 12,8	31,0; 18,0	37,5	36,5	39,2
P	9,7	9,4	8,7	32,7; 4,5	32,3; 12,5	31,7; 18,2	39,3	37,0	40,1
Y	10,0	9,5	10,6	32,5; 4,8	32,5; 13,3	31,2; 19,4	41,2	38,1	39,4

Cuadro 4.-Estimaciones del cero de desarrollo (c, °C) y de la constante térmica (K, °C-día) de *B. tabaci* (Media ± EEM). (1) modelo lineal $tT=K+ct$; (2) Programa IMPACT-DDU. Ninfa=L1+L2+L3+L4 (Pupa)

Huevo	n	c ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	R ⁽¹⁾	K ⁽²⁾
M	237	9,30 ± 0,11 a	92,61 ± 0,81 a	0,98284	92,61 ± 0,31 a
P	252	9,10 ± 0,12 a	98,22 ± 0,94 b	0,97810	98,20 ± 0,35 b
Y	300	8,37 ± 0,13 b	107,82 ± 1,00 c	0,96768	107,85 ± 0,35 c
Ninfa					
M	237	8,57 ± 0,13 a	287,62 ± 2,70 a	0,97383	287,65 ± 0,98 a
P	252	8,87 ± 0,12 a	282,98 ± 2,62 a	0,97766	283,06 ± 0,94 b
Y	300	8,83 ± 0,12 a	302,38 ± 2,86 b	0,97204	302,47 ± 1,03 c
Ad.-ad.					
M	237	8,91 ± 0,11 a	401,58 ± 3,40 a	0,97931	401,48 ± 1,26 a
P	252	9,06 ± 0,11 a	403,54 ± 3,34 ab	0,98158	403,68 ± 1,22 a
Y	300	8,79 ± 0,11 a	436,88 ± 3,59 b	0,97518	436,93 ± 1,29 b

R es significativo al 99,99% en todos los casos. Las medias seguidas por la misma letra para cada temperatura y período o fase no difieren significativamente al 95%.

Modelos matemáticos

La variación de la tasa de desarrollo (r, en días⁻¹) con la temperatura (T, °C) se ajustó por regresión no lineal (SPSS, 1999) al modelo de LACTIN *et al.* (1995): $r(T) = e^{\rho T} - e^{[\rho T_m - (T_m - T)/b]} + \lambda$ (modificación 2 del de LOGAN *et al.*, 1995), siendo ρ , b , λ y T_m parámetros a estimar. Los umbrales térmicos inferior (cero de desarrollo) y superior (temperatura letal máxima) se determinaron en los puntos de corte de la parte ascendente y descendente de la curva con el eje de abscisas, respectivamente. La temperatura óptima de desarrollo corresponde al punto de intersección del máximo de la curva con el eje de abscisas.

Para obtener los valores de la constante térmica (K) y otras estimaciones del cero de desarrollo (c), las tasas de desarrollo se ajustaron a la recta $tT=K+ct$ (MUÑIZ y GIL, 1984), siendo t la duración de cada período o fase del desarrollo. Con las mejores estimaciones de c se calcularon también los valores de la constante térmica, utilizando el programa IMPACT (DDU) de la Universidad de California, Davis y se contrastaron los resultados en todos los casos (IMPACT, 1993).

Número de generaciones

A partir de las estimaciones de c y K para el período completo adulto-adulto con el modelo lineal $tT=K+ct$, de los días de cada mes (d) y de las temperaturas medias mensuales (T) de Almería durante el período 1998-1999, se calculó el número de generaciones del insecto para las tres variedades con la expresión: $N = d/t = d(T-c)/K$. Los valores obtenidos se ajustaron a la recta $y = a+bT$, siendo $a = -dc/K$ y $b = d/K$ (MUÑIZ y GIL, 1984).

RESULTADOS

Desarrollo

El biotipo B de *B. tabaci* se desarrolló en las siete temperaturas seleccionadas, no pudiéndose utilizar los datos obtenidos a 15 °C porque las hembras pusieron un número variable y escaso de huevos en las tres variedades de pimiento. El Cuadro 1 muestra los valores medios observados de la duración de la fase de huevo, de la de ninfa (suma de los estadios larvarios L1, L2, L3 y L4) y del período completo adulto-adulto. Se observa

Cuadro 5.-Número de generaciones de *B. tabaci* (biotipo B) en función de las temperaturas medias mensuales en Almería durante 1998-1999

Mes (días)	T (°C)	N.º generaciones/mes			N.º generaciones acumuladas		
		Morrón	Piquillo	Yolo-Wonder	Morrón	Piquillo	Yolo-Wonder
1998							
Ene. (31)	14	0,393	0,379	0,370	0,393	0,379	0,370
Feb. (28)	14	0,355	0,343	0,334	0,748	0,722	0,704
Mar. (31)	16	0,547	0,533	0,512	1,295	1,255	1,216
Abr. (30)	18	0,679	0,664	0,632	1,974	1,919	1,848
May. (31)	20	0,856	0,840	0,795	2,830	2,759	2,643
Jun. (30)	24	1,127	1,110	1,044	3,957	3,869	3,687
Jul. (31)	27	1,396	1,378	1,292	5,353	5,247	4,979
Ag. (31)	29	1,551	1,531	1,434	6,904	6,778	6,413
Sep. (30)	25	1,202	1,185	1,113	8,106	7,963	7,526
Oct. (31)	19	0,779	0,763	0,724	8,885	8,726	8,250
Nov. (30)	17	0,604	0,590	0,564	9,489	9,316	8,814
Dic. (31)	14	0,393	0,379	0,370	9,882	9,695	9,184
1999							
En. (31)	13	0,316	0,303	0,299	10,198	9,998	9,483
Feb. (28)	13	0,285	0,273	0,270	10,483	10,271	9,753
Mar. (31)	15	0,470	0,456	0,441	10,953	10,727	10,194
Abr. (30)	18	0,679	0,664	0,632	11,632	11,391	10,826
May. (31)	21	0,933	0,917	0,866	12,565	12,308	11,692
Jun. (30)	24	1,127	1,110	1,044	13,692	13,418	12,736
Jul. (31)	26	1,319	1,301	1,221	15,011	14,719	13,957
Ag. (31)	26	1,319	1,301	1,221	16,330	16,020	15,178
Sept. (30)	24	1,127	1,110	1,044	17,457	17,130	16,222
Oct. (31)	21	0,933	0,917	0,866	18,390	18,047	17,088
Nov. (30)	16	0,530	0,516	0,495	18,920	18,563	17,583
Dic. (31)	14	0,393	0,379	0,370	19,313	18,942	17,953

Cuadro 6.-Parámetros de las rectas de regresión: $N=a+bT$, con $a=-dc/K$ y $b=d/K$, siendo d el número de días, c el cero de desarrollo y K la constante térmica para el período completo adulto-adulto

Variedad	a ± EE	b ± EE	R***
Morrón	-0,69559 ± 0,01378	0,07696 ± 0,00069	0,99912924
Piquillo	-0,70381 ± 0,01348	0,07651 ± 0,00067	0,99915903
Yolo-Wonder	-0,63163 ± 0,01283	0,07075 ± 0,00064	0,99910728

(***) Significativo al 99,99%.

que, excepto a 35 °C, los tiempos de desarrollo en todos los casos decrecieron a medida que se incrementó la temperatura. El desarrollo fue diferente en las tres variedades, con una duración media significativamente mayor ($p < 0,05$) en Yolo-Wonder que en Morrón y Piquillo.

A juzgar por los valores elevados del coeficiente de determinación R^2 (en general, el porcentaje de varianza explicado fue superior al 95%), el modelo no lineal utilizado ajusta bien las tasas de desarrollo observadas en el rango de temperaturas de los ensayos (Cuadro 2). Conviene observar que en numerosos casos se obtuvieron diferencias significativas entre los valores medios de los parámetros para las tres variedades de pimiento. El cero de desarrollo de la fase de huevo estimado con este modelo varió entre 9,4 y 10 °C, el de ninfa entre 9 y 9,5 °C y el del período adulto-adulto entre 8,7 y 10,6 °C, con los valores más altos en Yolo-Wonder (Cuadro 3, Fig. 1). La temperatura óptima a la cual la tasa de desarrollo es máxima (mínimo tiempo de desarrollo), fue similar en las tres variedades, oscilando entre 31,0 °C (adulto-adulto en Morrón) y 32,7 °C (huevo en Piquillo). La temperatura letal máxima varió entre 36,5 °C para ninfa en Morrón y 41,2 para huevo en Yolo-Wonder (Cuadro 3, Fig.1).

La estimación del cero de desarrollo (c) y la constante térmica (K) con la función lineal $tT = K + ct$ en el rango de temperaturas 17-33 °C proporcionó coeficientes de regresión (R) significativos al 99,99% en todos los casos y valores bajos de los errores estándar de los parámetros; los valores medios de c y K difirieron significativamente en las tres variedades de pimiento. Introduciendo en el programa IMPACT (DDU) estas estimaciones de c , las 7 temperaturas seleccionadas en los experimentos y los tiempos de desarrollo, se obtuvieron valores prácticamente idénticos de K (Cuadro 4). Las medias de las estimaciones del cero de desarrollo obtenidas con el modelo no lineal (Cuadro 3) se encuentran dentro del intervalo de confianza de las halladas con el lineal.

Número de generaciones

Como puede observarse en el Cuadro 5 y en la Fig. 2, aunque las diferencias no son notables, el número de generaciones en los meses más cálidos (julio y agosto) para los dos años es menor en Yolo-Wonder que en Morrón y en Piquillo. Para el período 1998-1999 el número estimado de generaciones acumuladas fue 19 en Morrón y en Piquillo y 18 en Yolo-Wonder. La relación entre el número de generaciones estimadas con la expresión $N = d/t = d(T-c)/K$ y la temperatura se ajusta muy bien a la recta $N = a + bT$, siendo $a = -dc/K$ y $b = d/K$, a juzgar por los elevados valores de los coeficientes de regresión (Cuadro 6, Fig. 3). Considerando una temperatura de 30 °C, próxima a la óptima para las tres variedades de pimiento, se observa que el número estimado de generaciones es mayor para Morrón (1,61) y Piquillo (1,59) que para Yolo-Wonder (1,49).

DISCUSIÓN

Desde los estudios de DAVIDSON (1944) y ANDREWARTA y BIRCH (1954) se han propuesto numerosos modelos con diferente grado de complejidad para estudiar la fenología de insectos (CAMPBELL *et al.*, 1974; HILBERT y LOGAN, 1983; LACTIN *et al.*, 1995; LIU y HUGHES, 1984, 1987; LOGAN, 1988; LOGAN *et al.*, 1976; LOGAN y HILBERT, 1983; MUÑIZ y GIL, 1984; MUÑIZ y ZALOM, 1997; SHARPE y DEMICHELE, 1977; WAGNER, 1995; WANG *et al.*, 1982; WANG y TSAL, 1996). Es importante la elección de modelos sencillos, con parámetros de claro significado biológico y fáciles de manejar matemáticamente, para obtener una mejor comprensión de la biología de las especies que constituyen plaga y, en consecuencia, de su dinámica poblacional. A pesar de que se han determinado los parámetros del desarrollo de diferentes biotipos de *B. tabaci* a temperaturas constantes, apenas existen estudios que analicen las posibles diferencias en su capacidad para establecerse en distin-

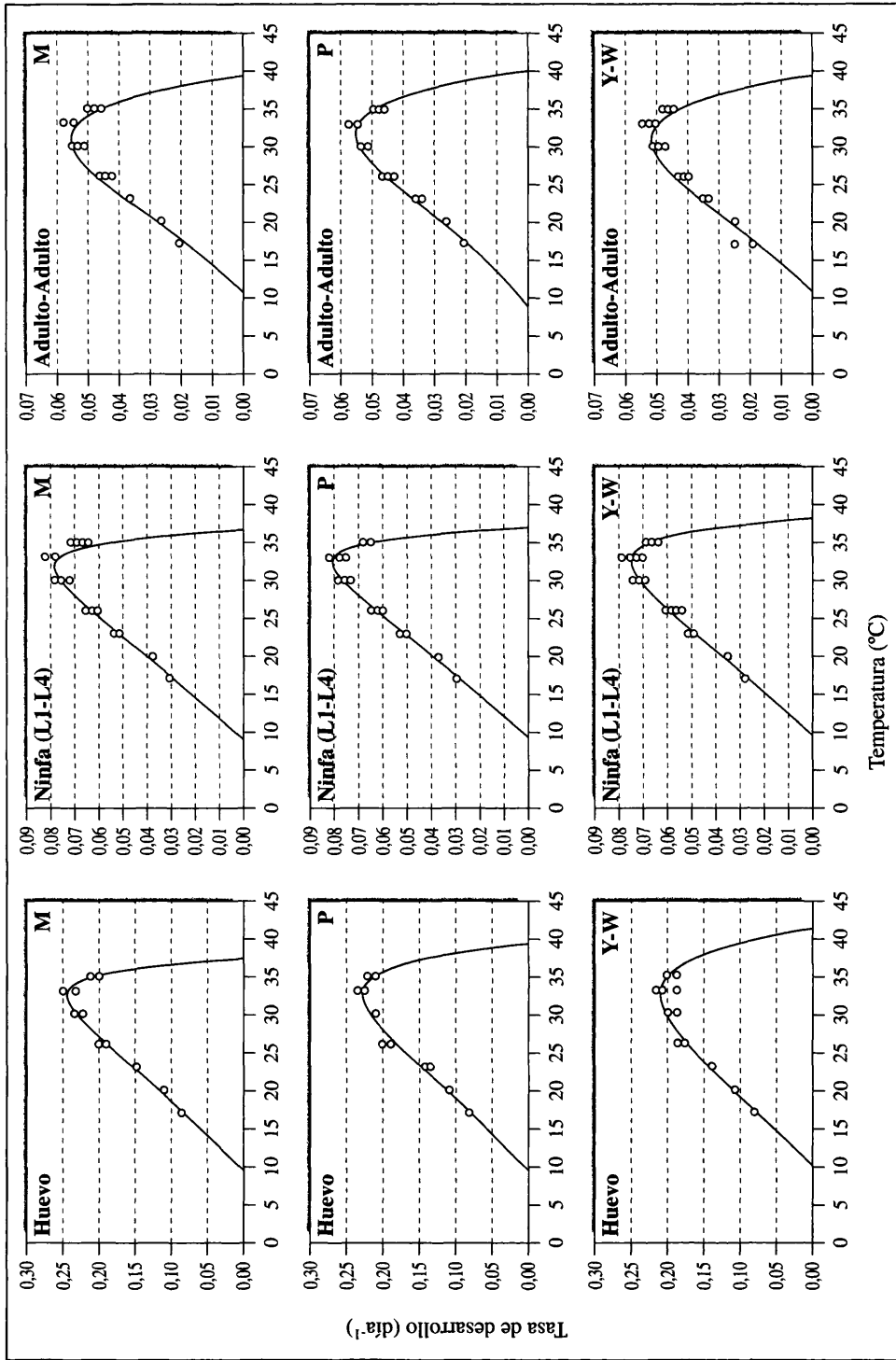


Fig. 1.- Tasas de desarrollo estimadas de *B. tabaci* (biotipo B) en función de la temperatura. Los círculos representan los valores observados de las tasas de desarrollo. M = Morrón; P = Piquillo; Y = Yolo-Wonder.

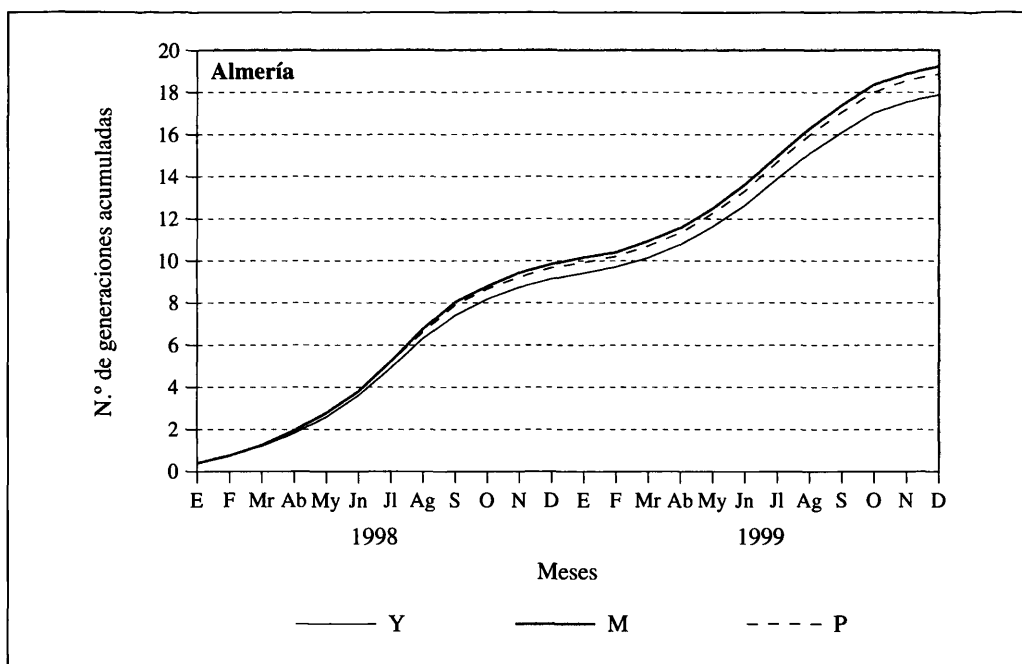


Fig. 2.—Número estimado de generaciones acumuladas de *B. tabaci* (biotipo B) en tres variedades de *Capsicum annuum* durante 1998-1999 en Almería

tas variedades de un mismo cultivo (MUÑIZ y NOMBELA, 1997, 1998). Como ya se ha indicado en la introducción de este trabajo, en muchos casos, la eficacia de ciertos métodos de control (especialmente químico y biológico) depende de la correcta determinación de dichos parámetros en las plantas que se desea proteger. Una buena estimación, tanto de los umbrales térmicos, inferior (cero de desarrollo) y superior, como de la constante térmica y de la temperatura óptima de desarrollo, en la variedad específica del cultivo, favorecerá sin duda la adopción de las medidas de control más adecuadas, dentro de programas de control integrado.

Los parámetros del desarrollo del biotipo B de *B. tabaci* obtenidos en este trabajo son próximos a los estimados por otros autores (BUTLER *et al.*, 1983; CABELLO *et al.*, 1996; WAGNER, 1995; WANG y TSAI, 1996; revisión de DROST *et al.*, 1998, GONZÁLEZ-ZAMORA y GALLARDO, 1999). Las diferencias que existen se deben, probablemente, a las

distintas plantas hospedadoras utilizadas y a la diferente metodología de trabajo. En el rango 17-33 °C, el modelo lineal: $tT=K+ct$ (MUÑIZ y GIL, 1984) proporcionó una estimación directa y más fiable del cero de desarrollo (c) y la constante térmica (K) que el de CAMPBELL *et al.*, (1974): $y = a+bT$, siendo $c=-a/b$ y $K= 1/b$, encontrándose diferencias significativas en algunos casos entre los valores medios obtenidos en las tres variedades de pimiento. El programa IMPACT (DDU) proporcionó las mejores estimaciones de la constante térmica en todos los casos. Con el modelo de LACTIN *et al.* (1995), modificación 2 del de LOGAN *et al.* (1976), se obtuvieron mayores valores del coeficiente de determinación y estimaciones más precisas de la temperatura óptima y el umbral térmico superior que con los más complejos de LOGAN *et al.* (1976) y de SHARPE y DEMICHELE (1977).

En este trabajo se demuestra que la respuesta del insecto a tres variedades de pi-

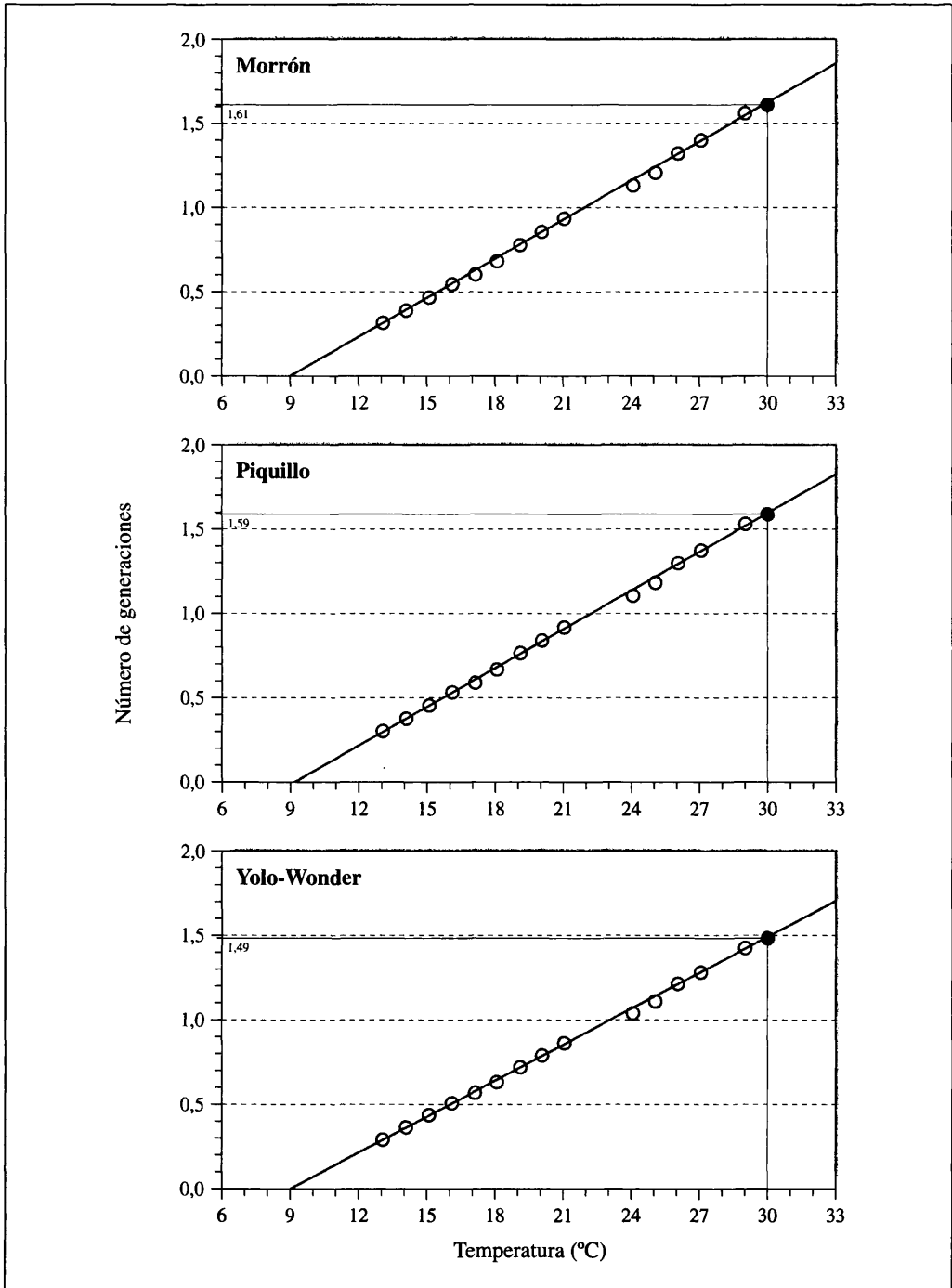


Fig. 3.—Variación del número medio de generaciones de *B. tabaci* (biotipo B) con la temperatura en tres variedades de *C. annuum*

miento en función del cero de desarrollo y de la constante térmica es significativamente diferente. Tomando las mejores estimaciones de la constante térmica, ésta fue significativamente más alta en Yolo-Wonder, lo que significa que, para una temperatura determinada, el número de generaciones es menor en esta variedad. Los valores del umbral térmico inferior presentaron más variabilidad en las tres variedades estudiadas, por lo que para una cierta temperatura, dependiendo de la fase del desarrollo, este biotipo se adaptará mejor a una u otra. Así, la de huevo se verá menos afectada por temperaturas próximas a 8 °C en Yolo-Wonder que en Morrón y en Piquillo, en las que no prosperaría su desarrollo si aquéllas no alcanzan los 9 °C. Aunque los valores estimados del número de generaciones acumuladas durante el período considerado, no son muy diferentes para las variedades de pimiento utilizadas, conviene señalar que, a la luz de los resultados obtenidos, es importante considerar la fluctuación en el desarrollo de los insectos respecto a las plantas hospedadoras. La utili-

zación de variedades distintas de un mismo cultivo, con diferente grado de susceptibilidad a una plaga, podría llevar consigo una disminución de la eficacia de los métodos de control que se apliquen (especialmente químico y biológico), si no se conocen bien los parámetros fenológicos del insecto en cada una de ellas, ya que cada variedad será afectada de distinta forma (en el tiempo) por una especie de insecto-plaga determinada si su tasa de desarrollo es distinta.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), financiadora del Proyecto de Investigación Referencia AGF 95-0253-C02-01. A D^a Laura Barrios, del Centro Técnico de Informática (CSIC) por su ayuda en el tratamiento estadístico de los datos. A D^a Yipsi Rieche por su aportación en la parte experimental. A la Dra. G. Nombela por su valiosa colaboración en la revisión de este trabajo.

ABSTRACT

MUÑIZ, M., 2000: Development of the B-biotype of *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Homoptera: Aleyrodidae) on three varieties of pepper at constant temperatures. *Bol. San. Veg. Plagas*, 26 (Adenda al n° 4): 605-618.

Phenology models for the B-biotype of *Bemisia tabaci* on three varieties of *Capsicum annum* L. (Morrón, Piquillo and Yolo-Wonder) were elaborated by fitting observed developmental times at seven constant temperatures (17, 20, 23, 26, 30, 33 and 35 °C) to different mathematical functions. The number of generations of the B-biotype of *Bemisia tabaci* in Almería, one of the most important horticultural regions in Spain, was also estimated. The observed developmental times decreased as temperature increased, except at 35 °C. The most accurate developmental rates were determined with the Lactin model $r(T) = e^{\rho T} - e^{[\rho T_m - (T_m - T)^b]} + \lambda$ (modification 2 of the Logan model). The optimal temperature on the three varieties was around 32 °C and the maximum lethal temperature ranged from 37.5 °C (for egg and nymph on Morrón) to 41.2 °C (for egg and nymph on Yolo-Wonder). The best lower development threshold (c) and thermal constant (K) estimates were obtained with the linear model $tT = K + ct$, where t = development time in days; T = temperature in °C, and with the IMPACT-DDU Program, respectively. The lowest value of c was determined on Piquillo (8.7 °C). The thermal constant ranged from 93 to 108 Degree-Days (DD) for eggs and from 288 to 302 DD for nymphs. For the complete period (from adult to adult) the thermal requirement estimate was greater on Yolo-Wonder (437 DD) than was on Morrón (401 DD) and Piquillo (404 DD). The number of cumulative generations in Almería (Spain) through 1998-1999 was 19 on Morrón and Piquillo and 18 on Yolo-Wonder.

Key words: *Bemisia tabaci*, Biotype B, pepper, phenology, developmental thresholds, thermal constant.

REFERENCIAS

- AEA, 1997: *Anuario de Estadística Agraria*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- AFIFI, A. A. y AZEN, S. P., 1979: *Statistical Analysis. A Computer Oriented Approach*. Second Edition. Academic Press. New York. 442 pp.
- ALFARO, A., 1995: Aspecto fitopatológico del cultivo algodonoero en Aragón. *Bol. Patol. Veg. Ent. Agric.* **20**: 145-166.
- ANDREWARTHA, H. G. y BIRCH, L. C., 1954: *The distribution and abundance of animals*. Chicago. University of Chicago. 238 pp.
- BEDFORD, I. D.; BRIDDON, R. W.; JONES, P.; ALKAFF, N. y MARKHAM, P. G., 1994a: Differentiation of three whitefly-transmitted geminiviruses from the republic of Yemen. *Eur. J. Plant Pathol.*, **100**: 243-257.
- BEDFORD, I. D.; PINNER, M.; LIU, S. y MARKHAM, P. G., 1994b: *Bemisia tabaci* potential infestation, phytotoxicity and virus transmission within European Agriculture. En: *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference: Pests and Diseases 3*. The British Crop Protection Council, Farnham, UK.: 911-916
- BEITIA, F.; CARNERO, A.; HERNÁNDEZ-SUÁREZ, E.; ONILLÓN, J. C. y GUIRAO, P., 1997: Posibilidades de control biológico de *Bemisia tabaci*: Situación en Canarias. En: *El virus del rizado amarillo (Hoja en cuchara) del tomate (TYLCV) y su vector Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 81-85
- BIRD, J. y MARAMOROSH, K., 1978: Viruses and viruses diseases associated with whiteflies. *Adv. Virus Res.* **22**: 55-110.
- BROWN, J. K., 1994: Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector in agroecosystems world-wide. *FAO Plant Prot. Bull.* **42**: 3-32.
- BROWN, J. K. y BIRD, J., 1992: Whitefly-transmitted geminiviruses and associated disorders in the Americas and the Caribbean Basin. *Plant Disease* **76**: 220-25.
- BROWN, J. K. y BIRD, J., 1996: Introduction of an exotic whitefly (*Bemisia*) vector facilitates secondary spread of jatropha mosaic virus, a geminivirus previously vectored exclusively by the "jatropha" biotype. En: *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and Management*. Intercept (Eds. D.Gerling y R.T.Mayer). Andover, U.K. 351-353.
- BUTLER, G. D. (JR.); HENNEBERRY, T. J. y CLAYTON, T. E., 1983: *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae): Development, oviposition and longevity in relation to temperature. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* **76**: 310-313.
- CABELLO, T.; CARRIONDO, I.; JUSTICIA, L. y BELDA, J., 1996: Biología y control de las especies de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci* (Hom.; Aleyrodidae) en cultivos hortícolas en invernaderos. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Dirección General de Investigación Agraria. 96 pp.
- CAMPBELL, A.; FRAZER, B. D.; GILBERT, N.; GUTIÉRREZ, A. P. y MACKAUER, M., 1974: Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.*, **11**: 431-438.
- CARNERO, A.; MONTESDEOCA, M.; PÉREZ, F.; SILVERIO, A. y RODRÍGUEZ, P., 1990: Presencia de *Bemisia tabaci* (Genn.) en cultivos comerciales de hortícolas y ornamentales en la isla de Tenerife (Islas Canarias). *Cuadernos de Fitopatología*, 4º Trimestre **25**: 176-180.
- CENIS, J. L., 1997: Introducción: Problemática planteada por *Bemisia tabaci*. En: *El virus del rizado amarillo (Hoja en cuchara) del tomate (TYLCV) y su vector Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 9-12.
- CENIS, J. L.; AMORÓS, L.; HITA, I.; REINA, J. y BEJARANO, E. R., 1997: Técnicas de detección del virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV). En: *El virus del rizado amarillo (Hoja en cuchara) del tomate (TYLCV) y su vector Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 23-32.
- DAVIDSON, J., 1944: On the relationship between temperature and rate of development of insects at constant temperatures. *J. Anim. Ecol.*, **13**: 26-38.
- DELGADO, A. M., 1997: El virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV) en la región de Murcia: Aspectos generales para su control. En: *El virus del rizado amarillo (Hoja en cuchara) del tomate (TYLCV) y su vector Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 67-73.
- DÍEZ, M. J.; PICÓ, B. y NÚEZ, F., 1997: Mejora genética para la resistencia al TYLCV. En: *El virus de la hoja en cuchara del tomate y su vector, Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 91-98.
- DOMÍNGUEZ GARCÍA-TEJERO, F., 1961: *Plagas y enfermedades de las plantas cultivadas*. Ed. Dossat. Madrid. 929 pp.
- DROST, Y. C.; VAN LENTEREN, J. C. y VAN ROERMUND, H. J. W., 1998: Life-history parameters of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in relation to temperature and host plant: a selective review. *Bull. Entomol. Res.*, **88**: 219-229.
- GÓMEZ-MENOR, J., 1943: Contribución al conocimiento de los Aleyrodidos de España. (Hem. Homoptera). 1ª notas. *Eos* **19**: 173-209.
- GONZÁLEZ-ZAMORA, J. E., 1997: Posibilidades de control biológico de *Bemisia tabaci*: Situación en Almería. En: *El virus de la hoja en cuchara del tomate y su vector, Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 75-79.
- GONZÁLEZ-ZAMORA, J. E. y GALLARDO, J. M., 1999: Desarrollo y capacidad reproductiva de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) en pimiento a tres temperaturas. *Bol. San. Veg. Plagas* **25**: 3-11.
- GUIRAO, P.; BEITIA, F. y CENIS, J. L., 1997a: Biotype determination of Spanish populations of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Bull. Entomol. Res.* **87**: 587-593.
- 1997b: Biotipos de *Bemisia tabaci* presentes en España. En: *El virus del rizado amarillo (Hoja en cuchara) del tomate (TYLCV) y su vector Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 47-54.
- HILBERT, D. W. y LOGAN, J. A., 1983: Empirical model of nymphal development for the migratory grasshopper, *Melanopus sanguinipes* (Orthoptera: Acrididae). *Environ. Entomol.* **12**: 1-5.

- IMPACT, 1993: *User's Manual. A guide to the use of the Statewide IPM Project's Computer System and Impact Program*. UC IPM Publication 15. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California.
- IZQUIERDO, A. y DURÁN, M., 1967: Enfermedades y parásitos del tabaco en España. *Bol. Patol. Veg. Ent. Agric.* **30**:155-214.
- JORDÁ, C., 1997: *Aspectos generales del Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) y los geminivirus. En: El virus del rizado amarillo (Hoja en cuchara) del tomate (TYLCV) y su vector Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 13-22.
- LACASA, A.; SÁNCHEZ, J. A.; GUTIÉRREZ, L.; CONTRERAS, J.; GUIRAO, P.; ROS, C.; MOLINA, J.; LORCA, M. e HITA, I., 1997: Dinámica poblacional de *Bemisia tabaci* (Gennadius) y evolución de la incidencia del TYLCV en cultivos de tomate de Murcia. En: *El virus del rizado amarillo (Hoja en cuchara) del tomate (TYLCV) y su vector Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 35-46.
- LACTIN, D. J.; HOLLIDAY, N. J.; JOHNSON, D. L. y CRAIGEN, R., 1995: Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environ. Entomol.*, **24**(1): 68-75.
- LIU, S. S. y HUGHES, R. D., 1984: The relationships between temperature and rate of development in two geographic stocks of *Aphidius sonchi*. *Entomol. Exp. et Appl.*, **36**: 231-238.
- 1987: The influence of temperature and photoperiod on the development, survival and reproduction of the sowthistle aphid, *Hyperpmyzus lactucae*. *Entomol. Exp. et Appl.*, **43**: 31-38.
- LOGAN, J. A., 1988: Toward an expert system for development of pest simulation models. *Environ. Entomol.*, **17**(2): 358-376.
- LOGAN, J. A.; WOLLKIND, D. J.; HOYT, S. C. y TANIGOSHI, L. K., 1976: An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environ. Entomol.*, **5**: 1.133-1.140.
- LOGAN, J. A. y HILBERT, D. W., 1983: *Modeling the effects of temperature on arthropod population systems*. En: *Analysis of ecological systems: State-of-the art in ecological modeling*. (Eds. W.K. Laenorth, G.V. Skogerboe y M. Flug). Elsevier, Amsterdam. 112-113.
- MARCO, V.; TABERNER, A. y CASTAÑERA, P., 1997: Development and survival of immature *Aubeonymus mariafranciscae* (Coleoptera: Curculionidae) at constant temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, **90**(2): 169-176.
- MORIONES, E., 1997: *El virus del rizado amarillo del tomate (Tomato Yellow Leaf Curl Virus, TYLCV): Una nueva virosis en España*. En: *El virus del rizado amarillo (Hoja en cuchara) del tomate (TYLCV) y su vector Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 19-22.
- MORIONES, E.; ARNÓ, J.; ACCOTTO, G. P.; NORIS, E. y CAVALLARIN, L., 1993: First report of Tomato yellow leaf curl virus in Spain. *Plant Disease* **77**: 953.
- MUÑIZ, M. y GIL, A., 1984: Desarrollo y reproducción de *Ceratitis capitata* (Wied.) en condiciones artificiales. *Bol. Serv. Plagas*. Fuera de serie, **2**: 133-139.
- MUÑIZ, M. y NOMBELA, G., 1997: Development, oviposition and female longevity of two biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on three varieties of *Capsicum annum*. *IOBC/WPRS Bull.* **20**(4): 143-146.
- MUÑIZ, M. y NOMBELA, G. 1998: Host preference, pupal production and sex ratio of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on three varieties of *Capsicum annum*. En: *Integrated Production and Protection (IPP) in horticultural crops*. (Ed. A. Hanafi). 473-479.
- MUÑIZ, M. y ZALOM, F. G., 1997: Developmental rate and number of generation estimates for *Ceratitis capitata* (Wiedemann) in fruit growing regions of California. *IOBC/WPRS Bull.* **20**(8): 55-66.
- REINA, J. y BEJARANO, E. R., 1997: *Perspectivas en la obtención de resistencia transgénica para TYLCV*. En: *El virus de la hoja en cuchara del tomate y su vector, Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 87-89.
- RODRIGUEZ, M. D., 1997: Incidencia de *B. tabaci* en un sistema de protección integrada: Experiencia en Almería. En: *El virus de la hoja en cuchara del tomate y su vector, Bemisia tabaci*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Murcia. 71-79.
- SHARPE, P. J. H. y DEMICHELE, D. W., 1977: Reaction kinetics of poikilotherm development. *J. Theor. Biol.*, **64**: 649-670.
- SPSS INC, 1999: SPSS Microsoft Corporation, version 9.0 for Windows 95. Chicago.
- WAGNER, T., 1995: Temperature effect on development and reproduction of silverleaf whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, **24**: 1.179-118.
- WANG, R. S.; LAN, Z. X. y DING, Y. Q. 1982: Studies on mathematical models of the relationship between insect development and temperature. *Acta. Ecol. Sinic.*, **2**: 47-67.
- WANG, K. y TSAI, J. H., 1996: Temperature effect on development and reproduction of silverleaf whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) on cotton. *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, **89**: 375-384.

(Recepción: 05 noviembre 1999)
(Aceptación: 04 octubre 2000)

