

## Modelos logísticos aplicados a la fenología de Noctuidos plagas en el Sur de España (Lep.: Noctuidae)

T. CABELLO, R. CARREÑO

Los modelos logísticos, dentro de los analíticos, han sido lo más empleados en la dinámica de población de especies plaga o en la epidemiología de fitopatógenos, destacando las funciones de Verhulst-Pearl, Gompertz, Weibull, Richards y monomolecular. A dichos modelos simples hay que añadir aquellos que combinan dos o más de las funciones antes mencionadas. En este trabajo se han utilizado los datos de capturas de adultos, tanto en trampas de luz, como de feromonas, de las especies: *Spodoptera exigua* (Hübner, 1808), *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808), *Agrotis segetum* (Dennis & Schiffermüller, 1755) y *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1766), en dos localizaciones del Sur de España: Almería y Granada. Como variable de tiempo se ha empleado la suma de grados-día.

Para *Spodoptera exigua*, en la provincia de Almería, se han ajustado las funciones logísticas de Verhulst-Pearl, Gompertz, Richards y Carreño; por el contrario, para Granada el ajuste se realizó a una doble o triple función logística, según año; todo ello con una alta significación estadística. A su vez, la dinámica de población de las otras tres especies fue similar en las dos localizaciones estudiadas, ajustándose a funciones logísticas triples con una alta significación estadística. Los modelos desarrollados en la dinámica de población de estas especies permiten confirmar el carácter migratorio de *S. exigua*, que en la zona costera de Almería actúa como sedentaria; igualmente, se corrobora el comportamiento migratorio facultativo de *H. armigera*; finalmente, se comprueba, dentro de los gusanos grises, el sedentarismo de *A. segetum* y la capacidad migratoria de *A. ipsilon*.

T. CABELLO: Dpto. Biología Aplicada. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería. 04120-Almería. [tcabello@ual.es](mailto:tcabello@ual.es).

R. CARREÑO: Dpto. Estadística y Matemática Aplicada. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Almería. 04120-Almería.

**Palabras clave:** Lepidoptera, Noctuidos plagas, *Helicoverpa armigera*, *Spodoptera exigua*, *Agrotis segetum*, *Agrotis ipsilon*, adultos, ecología, migración, modelos matemáticos, funciones logísticas.

### INTRODUCCIÓN

La utilización de modelos matemáticos en plagas y enfermedades de los cultivos, pueden abarcar aspectos muy variados y amplios. Sin embargo, los mayores esfuerzos se han centrado en los modelos de población en el tiempo y/o en el espacio (Gi-

LLIGAN, 1983; JEGER, 1983; LEONARD y FRY, 1986; RABBINGE y CARTER, 1983; RABBINGE *et al.*, 1989; GOODENOUGH y MCKINION, 1992).

Dentro de los modelos analíticos, los logísticos han sido los más empleados, destacando especialmente las funciones de Verhulst-Pearl, monomolecular, Gompertz,

Weibull y Richards (CAMPBELL, 1986; WAGONER, 1986; CAMPBELL y MADDEN, 1990; MORENO, 1994; CARREÑO, 1996; MARÍN, 1996. Además de los modelos logísticos anteriores, que son de tipo autónomo, se ha desarrollado un modelo no autónomo, con aplicación a especies de insectos (CARREÑO, 1996).

A los modelos logísticos simples, hay que añadir aquellos que combinan dos o más de las funciones anteriormente señaladas, y que se han utilizado para la caracterización del progreso de enfermedades debidas a fitopatógenos (AMORIN *et al.*, 1993; HAU *et al.*, 1993).

El objetivo de este trabajo ha sido aplicar los modelos logísticos a la fenología de Lepidópteros Noctuidos, que constituyen plagas en el sur de España, y establecer una interpretación ecológica de los resultados obtenidos.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

Se han utilizado datos del número de capturas de adultos de Noctuidos, en trampas de luz y de feromonas, de CABELLO y SALMERÓN (1989), CABELLO y VARGAS (1990) y

CABELLO *et al.* (1996), que se acumularon semanalmente. Las especies, localizaciones y años empleados fueron los siguientes: *Spodoptera exigua* (HÜBNER, 1808) en Almería (1992, 1993, 1994 y 1995) y Granada (1986, 1987 y 1988); *Helicoverpa armigera* (HÜBNER, 1808) en Almería (1993, 1994 y 1995) y Granada (1987 y 1988); *Agrotis segetum* (DENIS & SCHIFFERMULER, 1775) en Almería (1993 y 1994) y Granada (1987 y 1988); *Agrotis ipsilon* (HUFNAGEL, 1766). Además como variable tiempo se empleó la suma de grados día (GDA), sobre las temperaturas umbrales: 10°C para *Agrotis segetum*, *A. ipsilon* y *Spodoptera exigua*, y 15°C para *Helicoverpa armigera* (CABELLO *et al.*, 1996).

Los valores acumulados de capturas de adultos se ajustaron a las funciones logísticas simples del Cuadro A.

Además se emplearon las funciones logísticas compuestas, a partir de la de Verhulst-Pearl, según el Cuadro B.

Los valores del número de adultos, para cada año, localización y tipo de trampa empleada, se expresaron en porcentaje acumulados, previamente al cálculo de los valores medios para todos los años estudiados; posteriormente, se ajustaron las funciones logísticas anteriormente indicadas

Cuadro A.—Funciones logísticas simples

Función	Y = F(X)	Y' = dF(X) / dX
Verhulst-Pearl .....	$Y = K / \{1 + [(K/X_0) - 1] \cdot \exp(-r \cdot X)\}$	$Y' = r \cdot X \cdot [1 - (X/K)]$
Gompertz .....	$Y = K \cdot \exp[\text{Ln}(X_0/K) \cdot \exp(-r \cdot X)]$	$Y' = r \cdot X \cdot \text{Ln}(K/X)$
Richards .....	$Y = K / \{1 + [(K/X_0)^\alpha - 1] \cdot \exp(-r \cdot t)\}$	$Y' = (r/\alpha) \cdot X \cdot [1 - (X/K)^\alpha]$
Carreño .....	$Y = [X_0 \cdot (\alpha + 1)^{1/\alpha} \cdot \exp(-\mu \cdot X)] / [1 + \alpha \cdot \exp(-r \cdot X)]^{1/\alpha}$	$Y' = \{(r/\alpha) \cdot X \cdot [\alpha / (\alpha + \exp(r \cdot X))]\} - \{\mu \cdot X\}$

Con: Y = población.  
X = tiempo.  
X<sub>0</sub> = población inicial.  
r = tasa de incremento.

K = capacidad del sistema.  
 $\alpha = [(K/X_0)^\alpha - 1]$   
 $\nu$  = parámetro específico del modelo de Richards.  
 $\mu$  = parámetro específico del modelo de Carreño.

Cuadro B.—Funciones logísticas compuestas

Tipo de función compuesta	Y = F(X)
Doble .....	$Y = K_1 / \{1 + [(K_1/X_{01}) - 1] \cdot \exp(-r_1 \cdot X)\} + K_2 / \{1 + [(K_2/X_{02}) - 1] \cdot \exp(-r_2 \cdot X)\}$
Triple.....	$Y = K_1 / \{1 + [(K_1/X_{01}) - 1] \cdot \exp(-r_1 \cdot X)\} + K_2 / \{1 + [(K_2/X_{02}) - 1] \cdot \exp(-r_2 \cdot X)\} + K_3 / \{1 + [(K_3/X_{03}) - 1] \cdot \exp(-r_3 \cdot X)\}$

Con: K<sub>i</sub>, X<sub>0i</sub> y r<sub>i</sub> = valores de la capacidad del sistema (K), población inicial (X<sub>0</sub>) y tasa de incremento (r), respectivamente, en el tramo i de la función.

Todos los ajustes se realizaron mediante regresión no lineal, para la estimación de parámetros se empleó el algoritmo de MARQUARDT (1963). Los ajustes se realizaron mediante los programas estadísticos Jandel Scientific, Table Curve 2D, versión 2.02, y Statgraphics, versión 7.1.

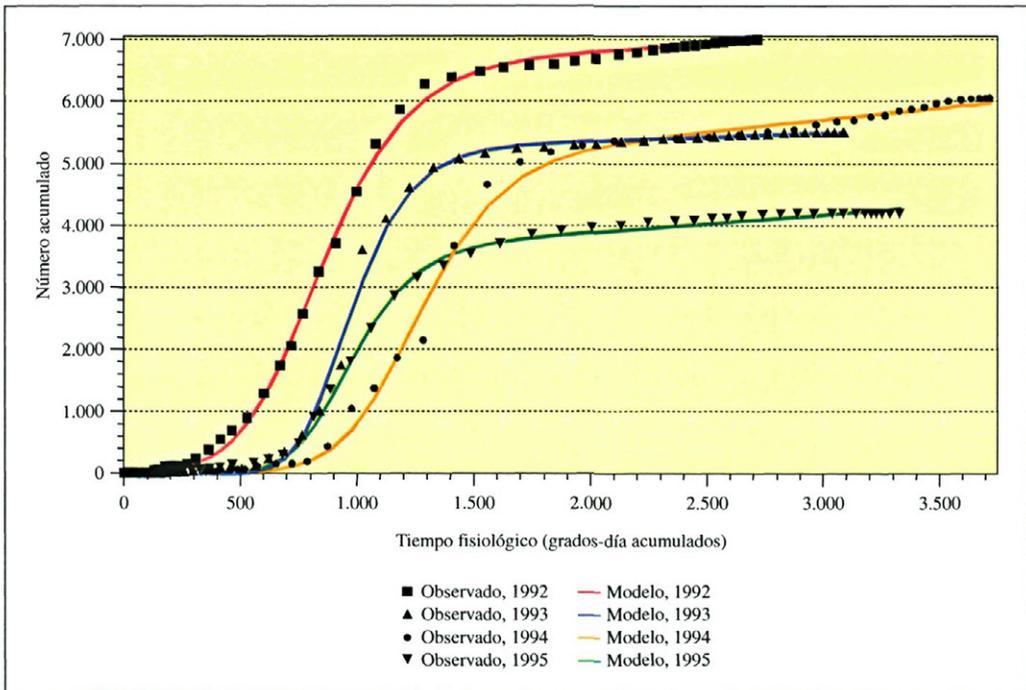
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### a) *Spodoptera exigua*

Los valores de los ajustes obtenidos a funciones logísticas, en las dos localizaciones estudiadas: Almería y Granada, se recogen en el Cuadro 1. En la primera localización, se emplearon ecuaciones simples de Verhulst-Pearl, Gompertz, Richards y Carreño; en todos los casos y años estudiados, se obtuvo una alta significación estadística

en los ajustes realizados ( $P < 0,01$ ); sin embargo, la función de Carreño, tanto por los valores del coeficiente de correlación como por la desviación estándar del ajuste, fue la que mejor representó los valores encontrados. Se puede observar para este caso que los valores de los parámetros de ajuste:  $K$  y  $r$ , así como  $v$  para las ecuaciones de Richards y Carreño fueron similares, existiendo una mayor variación para las estimaciones de  $X_0$ , entre las funciones empleadas. En la gráfica 1 se representa los ajustes a la función de Carreño.

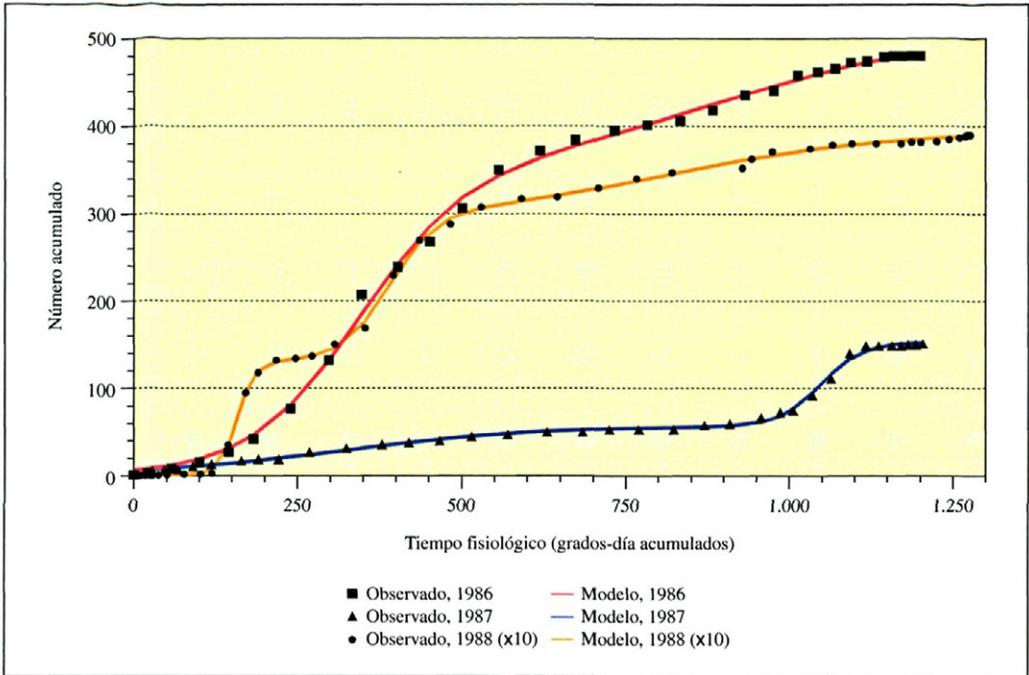
Para la misma especie, *S. exigua*, pero en la otra localización: Granada, los ajustes se representan en la gráfica 2 y los valores de los parámetros en el Cuadro 1. Se puede constatar que el comportamiento de la especie fue diferente respecto a Almería; ello puede ser motivado por el carácter migratorio de la especie, lo que obligó a que los



Gráfica 1.—Evolución del número acumulado de adultos de *Spodoptera exigua*, en trampa de luz, y modelo matemático ajustado, en función del tiempo fisiológico expresado en grados-día acumulados, en Almería, desde 1992 a 1995.

Cuadro 1.—Parámetros de ajuste a funciones logísticas de la fenología de la especie: *Spodoptera exigua*, medida por el número de capturas acumuladas de adultos en trampa de luz, en el sur de España

Año	Función / tramo	Coeficientes de la función						Parámetros estadísticos					
		X <sub>0</sub>	K	r	v	μ	Grados de libertad	R <sup>2</sup>	Desv. est. del ajuste	Sign. estad.			
Almería													
1992	Verhulst-Pearl	41,8086	6840,420	0,00553	—	—	49	0,999013	99,436	< 0,01			
	Gompertz	0,0004	6921,741	0,00351	—	—	49	0,998281	131,230	< 0,01			
	Richards	19,9179	6862,968	0,00476	0,655	—	48	0,999173	91,944	< 0,01			
	Carreño	9,6820	6488,863	0,00579	0,440	-2,8 · 10 <sup>-5</sup>	47	0,999671	58,610	< 0,01			
1993	Verhulst-Pearl	0,8836	5399,044	0,00880	—	—	51	0,998005	117,543	< 0,01			
	Gompertz	≈ 0	5426,072	0,00594	—	—	51	0,997977	118,370	< 0,01			
	Richards	0,0476	5409,179	0,00748	0,572	—	50	0,998172	113,667	< 0,01			
	Carreño	≈ 0	5133,447	0,02264	0,285	-2,2 · 10 <sup>-5</sup>	49	0,998415	106,984	< 0,01			
1994	Verhulst-Pearl	7,2987	5746,312	0,00502	—	—	51	0,995547	184,217	< 0,01			
	Gompertz	≈ 0	5809,120	0,00312	—	—	51	0,995624	182,618	< 0,01			
	Richards	0,3844	5778,665	0,00382	0,411	—	50	0,995792	180,892	< 0,01			
	Carreño	0,1140	4685,744	0,00094	0,496	-6,5 · 10 <sup>-5</sup>	49	0,998424	111,894	< 0,01			
1995	Verhulst-Pearl	13,0736	4107,485	0,00553	—	—	49	0,997159	102,936	< 0,01			
	Gompertz	≈ 0	4142,862	0,00363	—	—	49	0,998855	65,356	< 0,01			
	Richards	≈ 0	4139,958	0,00373	0,062	—	48	0,998802	67,534	< 0,01			
	Carreño	0,0190	3385,445	0,02144	0,404	-6,5 · 10 <sup>-5</sup>	47	0,999380	49,099	< 0,01			
Granada													
1986	1	5,4026	348,845	0,01204	—	—	34	0,998625	7,123	< 0,01			
	2	0,9013	156,629	0,00578	—	—							
1987	1	6,5681	58,193	0,00642	—	—	35	0,997070	2,989	< 0,01			
	2	≈ 0	94,726	0,03278	—	—							
1988	1	9,0035	1030,149	0,00594	—	—	47	0,999686	31,095	< 0,01			
	2	0,0130	1620,639	0,03006	—	—							
	3	0,0069	1280,356	0,07627	—	—							



Gráfica 2.—Evolución del número acumulado de adultos de *Spodoptera exigua*, en trampa de luz, y modelo matemático ajustado, en función del tiempo fisiológico expresado en grados-día acumulados, en Granada, desde 1986 a 1988.

ajustes se realizaran con una doble o triple función logística. En todos los años la significación de los ajustes fue alta ( $P < 0,01$ ).

Como se indicó anteriormente, existe un comportamiento diferencial entre Granada y Almería (gráficas 1 y 2). Para esta última localización, la presencia de adultos se produce durante todo el año, con un incremento de vuelos de forma progresiva, a lo largo del tiempo, en los cuatro años estudiados; por el contrario, en Granada, la aparición de adultos se inicia de forma brusca, y con grandes oscilaciones entre años.

La interpretación ecológica de la aplicación de funciones logísticas a la dinámica de población de especies plagas puede resultar más fácil, que en la epidemiología de fitopatógenos. En ésta,  $X_0$  representa el valor inicial de la intensidad de la enfermedad;  $K$ , o asíntota de la función, indica la intensidad máxima de la misma y, final-

mente,  $r$  es la tasa relativa epidémica; no existiendo una significación biológica para los parámetros de Richards o Weibull (MARÍN, 1996).

En el presente caso, refiriéndose a funciones logísticas simples, como es el caso de *S. exigua* en Almería (gráfica 1),  $X_0$  representa la población inicial de adultos,  $K$  el máximo total de población acumulada, que depende de las características de la especie, condiciones ambientales y, como se comprobará posteriormente, del método de evaluación de la población, según se empleen trampas lumínicas o de feromonas. Por otra parte,  $r$  es la tasa de incremento de población, que refleja la velocidad del proceso. Los otros parámetros empleado, como  $v$  en la función de Richards y  $\mu$  en la de Carreño, si pueden tener una interpretación biológica, a diferencia de lo anteriormente indicado por MARÍN (1996); así para Richards,  $v$  se puede considerar

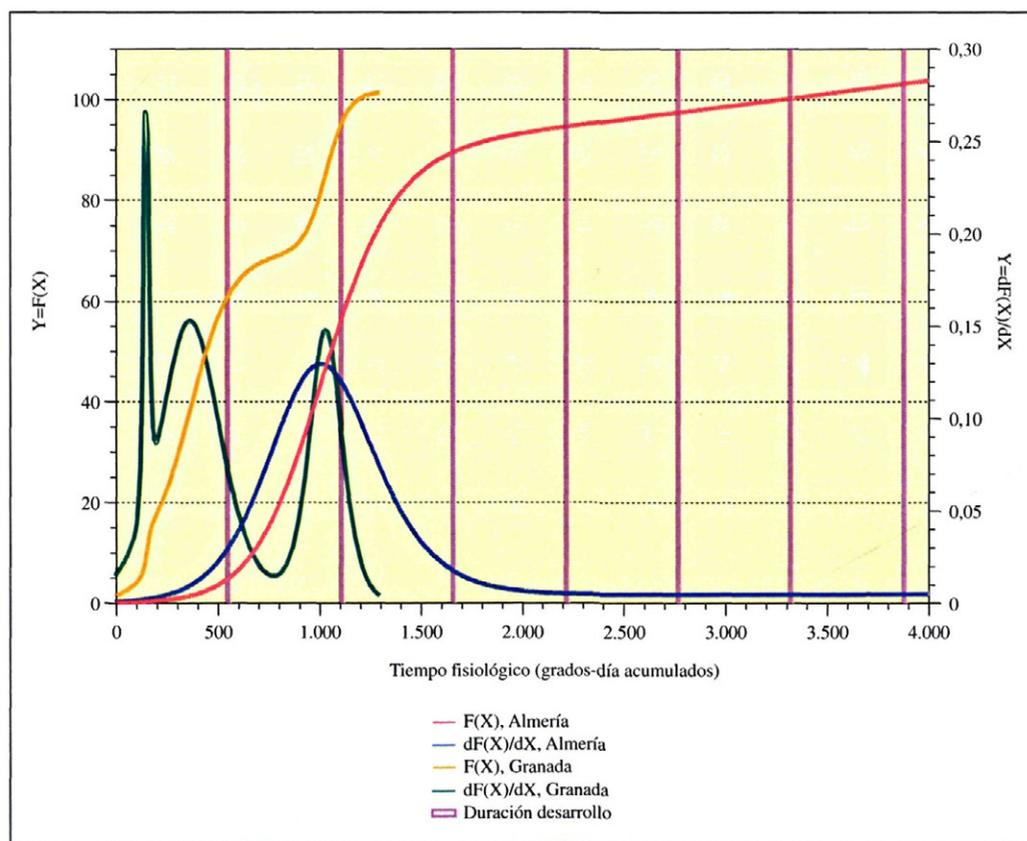
como una ponderación de los parámetros  $K$  y  $r$ ; a su vez, en la función de Carreño,  $\mu$  actúa como factor de aceleración o freno del proceso, según sea su signo: positivo o negativo (CARREÑO, 1996).

En la aplicación de funciones logísticas compuestas, como ocurre para *S. exigua* en Granada (gráfica 2), se han utilizado la suma de funciones logísticas, siguiendo los trabajos de HAU *et al.* (1993) y AMORIN *et al.* (1993) que las aplicaron al caso de fitopatógenos, aunque PEARL y REED (1920) ya las emplearon en poblaciones humanas. En el caso de especies plagas, es la primera aplicación a la fenología de Noctuidos; ya que COCKFIELD *et al.* (1994) han aplicado un mo-

delo logístico simple, en concreto la ecuación de Weibull, a la fenología de adultos de una especie de Tortricidae.

En la fenología de *S. exigua*, en Granada, cada uno de los dos o tres tramos de la función logística compuesta representa cada una de las generaciones de la especie, que tienen unas características propias evaluadas por los parámetros  $X_{oi}$ ,  $r_i$  y  $K_i$ . Ello tiene consistencia, ya que los valores de dichos parámetros son similares en las distintas generaciones entre los años analizados (Cuadro 1).

Se puede profundizar en la interpretación biológica del proceso. Si consideramos la fenología de esta especie en Almería y Granada, expresada por el porcentaje acumu-



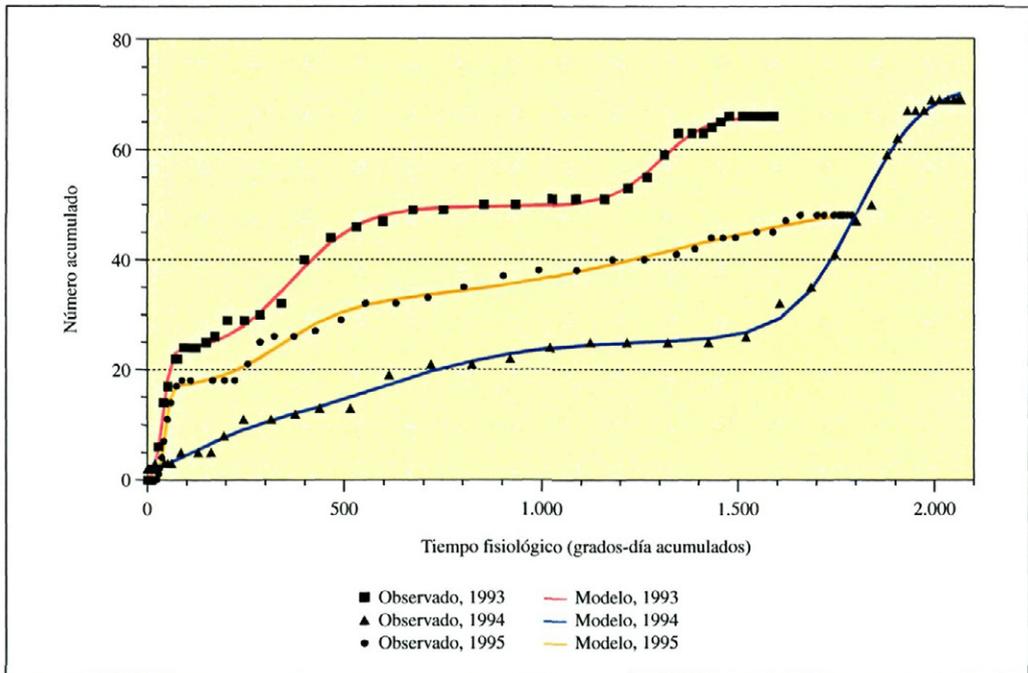
Gráfica 3.—Funciones logísticas y su derivada, ajustadas al porcentaje medio acumulado de adultos de *Spodoptera exigua*, en función del tiempo expresado en grados-día acumulados, en dos localizaciones el sur de España.

lado medio, en todos los años estudiados (gráfica 3). El resultado final, referente a la evolución de las generaciones de la plaga en Granada, se obtiene en el modelo como suma de cada uno de los tramos; igualmente se indican los valores de la derivada de la función ( $Y' = dF(X)/dX$ ), que representa la evolución de la tasa real de crecimiento de la población en cada momento, o tasa instantánea de aumento ( $r_{\text{REAL}} = r/[X - (X^2/K)]$ ). Ello nos da el modelo de la fenología de la especie, mostrando claramente la existencia de un máximo de vuelo de adultos, para Almería, y dos o tres para Granada, a lo largo del año.

De los resultados de la gráfica 3, para la zona costera (Almería), se deduce la existencia de un crecimiento continuado de las poblaciones en el año; la función derivada presenta un máximo de capturas alrededor de los 1010 GDA, no existiendo incremento o

descensos bruscos en las capturas de adultos; ello indica en dicha zona la población es autóctona, no produciéndose inmigraciones desde otras zonas, ello concuerda con lo apuntado por CAYROL (1972), quien además señala que en Marruecos, el número de generaciones está comprendido entre 7 y 8, con poblaciones solapadas. Para esta especie el tiempo de desarrollo es 543 GDA (CABELLO *et al.*, 1996); por ello, como se observa en la gráfica 3, en la zona costera del Sur de España se pueden presentar hasta 7 generaciones, como media, similar al norte de África.

Por el contrario, en Granada (gráfica 3), el primer máximo de la función derivada se presenta a 150 GDA, con un valor elevado, incluso mayor al resto de máximos, lo que sólo puede indicar que se trata de adultos inmigrantes. Lo anterior viene ligado a que *S. exigua* es considerada una especie migrato-



Gráfica 4.—Evolución del número acumulado de adultos de *Helicoverpa armigera*, en trampa de luz, y modelo matemático ajustado, en función del tiempo fisiológico expresado en grados-día acumulados, en Almería, desde 1993 a 1995.

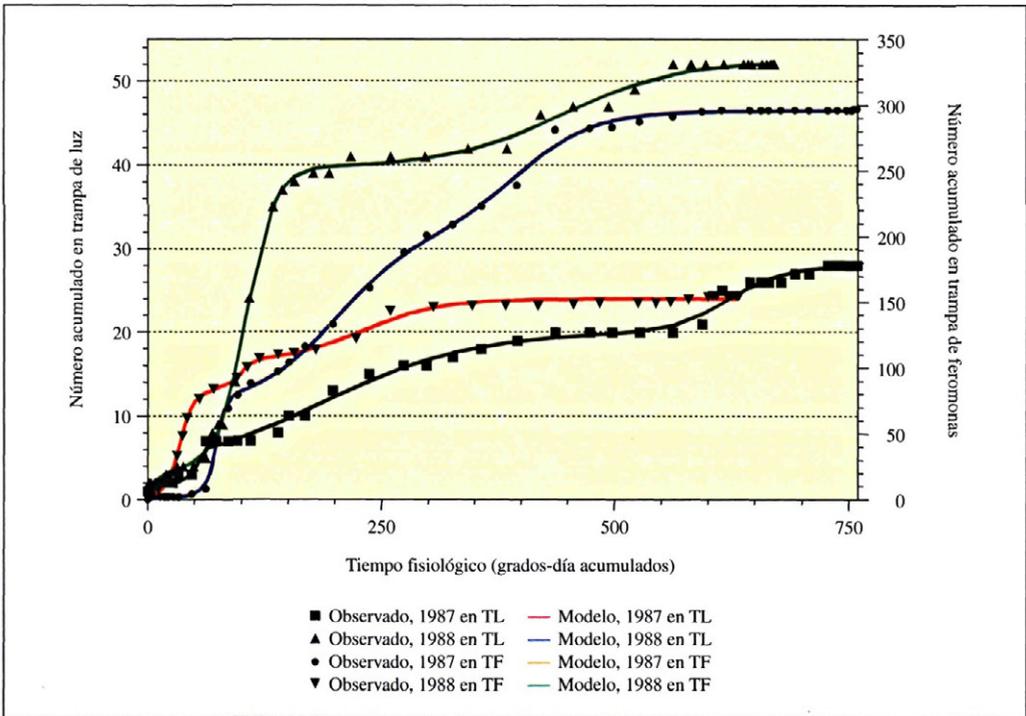
ria en la que sus adultos pueden recorrer largas distancias (FRENCH, 1969; CAYROL, 1972). El segundo máximo, que se presenta a 370 GDA, que es un tiempo insuficiente para completar el desarrollo, pudiéndose tratar de nuevos adultos inmigrantes; sin embargo, en zonas frías de Europa, Estados Unidos o Rusia, las poblaciones desaparecen en otoño y reaparecen en la primavera siguiente, lo que se deduciría la capacidad de hibernación, en estado de pupa preferentemente (CAYROL, 1972). En contradicción a lo anterior, se ha podido comprobar que, en Estados Unidos, esta especie no presenta una verdadera diapausa invernal, siendo capaz de sobrevivir, con una tasa reducida de desarrollo, en todos sus estados (FYE, 1979). Por ello, lo más probable es que se trate también de adultos inmigrantes en la zona. El último máximo, con un valor de la derivada

similar al anterior, se presenta a 1030 GDA, que corresponde a los descendientes de los adultos inmigrantes.

Finalmente, para esta especie se debe indicar la posible existencia de 2 ó 3 generaciones según año en Granada, que coincide con las 3 generaciones señaladas por CAYROL (1972) para España y Portugal.

### b) *Helicoverpa armigera*

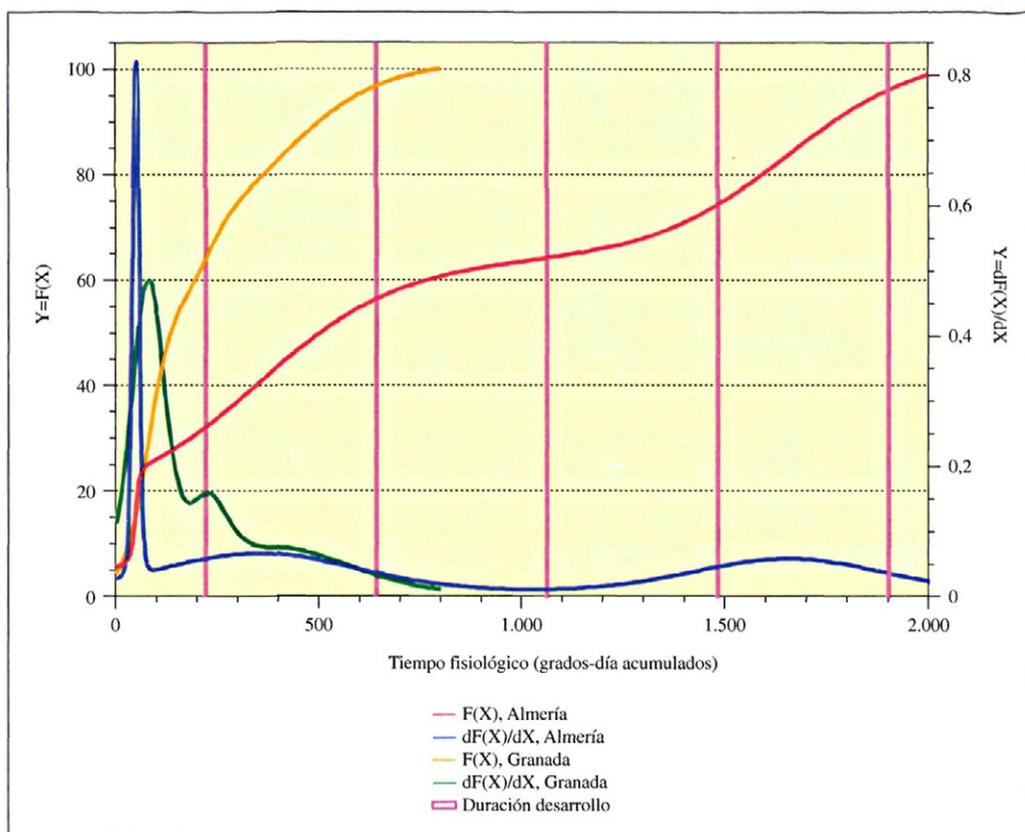
Para esta especie plaga, los ajustes de la fenología de adultos se realizaron con funciones logísticas triples, para las dos localizaciones y tipos de trampas empleados. En todos los casos se obtuvo un ajuste altamente significativo (Cuadro 2). Ello, a diferencia de la especie anterior, indica un mismo modelo de comportamiento de los



Gráfica 5.—Evolución del número acumulado de adultos de *Helicoverpa armigera*, en trampa de luz y feromonas, y modelo matemático ajustado, en función del tiempo fisiológico expresado en grados-día acumulados, en Granada, en 1987 y 1988.

**Cuadro 2.—Parámetros de ajuste a funciones logísticas de la fenología de la especie: *Helicoverpa armigera*, medida por el número de capturas acumuladas de adultos en trampa de luz y feromonas, en el sur de España**

Localización	Año	Tipo de trampa	Tramo de la función	Coeficientes de la función				Parámetros estadísticos			
				X <sub>0</sub>	K	r	Grados de libertad	R <sup>2</sup>	Desv. est. del ajuste	Sign. estad.	
Almería.....	1993	TL	1	0,2395	22,891	0,11101	51	0,998686	0,965	< 0,01	
			2	≈ 0	16,369	0,01672					
			3	0,3594	26,965	0,01167					
	1994	TL	1	0,8197	17,716	0,00512	40	0,997525	1,400	< 0,01	
			2	1,1722	7,999	0,01370					
			3	≈ 0	46,226	0,01239					
	1995	TL	1	0,2965	15,203	0,01165	43	0,997421	0,974	< 0,01	
			2	0,0186	16,198	0,14370					
			3	0,2535	20,521	0,00332					
Granada.....	1987	TL	1	≈ 0	3,273	0,40121	46	0,996874	0,625	< 0,01	
			2	≈ 0	7,694	0,03936					
			3	1,4571	16,843	0,01245					
	1988	TF	1	≈ 0	71,092	0,18275	48	0,999532	3,034	< 0,01	
			2	≈ 0	86,473	0,02733					
			3	1,3776	137,885	0,02237					
	1988	TL	1	0,0382	36,006	0,06514	44	0,999112	0,673	< 0,01	
			2	0,0105	12,846	0,01597					
			3	1,5511	3,670	0,08981					
1988	TF	1	1,2931	82,858	0,12047	37	0,996755	3,011	< 0,01		
		2	0,2983	49,921	0,02245						
		3	≈ 0	19,910	0,14991						



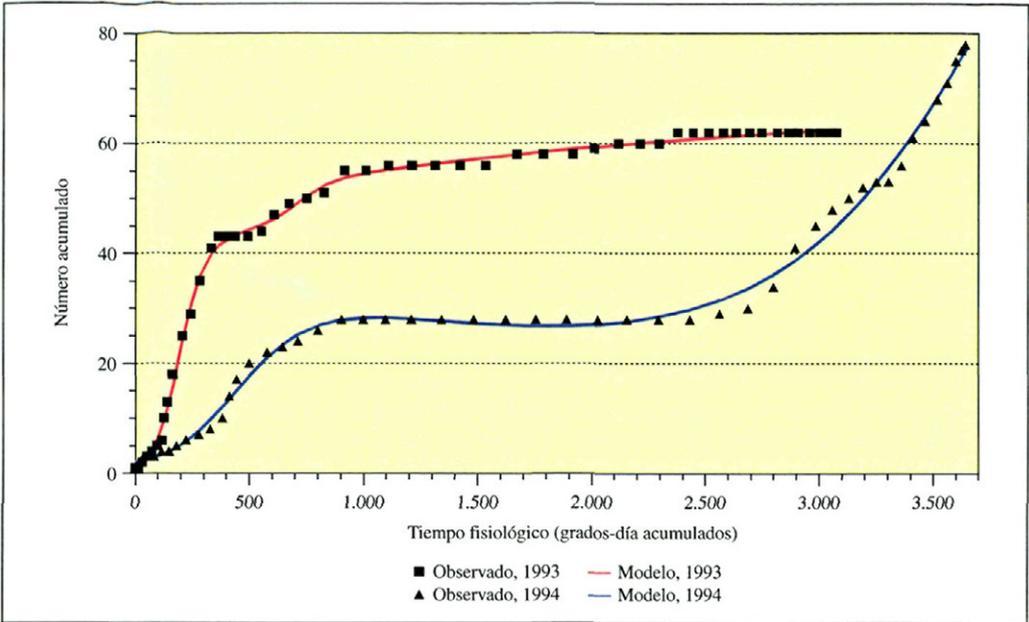
Gráfica 6.—Funciones logísticas y su derivada, ajustadas al porcentaje medio acumulado de adultos de *Helicoverpa armigera*, en función del tiempo expresado en grados-día acumulados, en dos localizaciones el sur de España.

adultos de *H. armigera* en las dos localizaciones y en los distintos años analizados, como se representa en las gráficas 4 y 5; en todos los casos se presentaron tres máximos de vuelos de adultos, con variaciones en el número entre años.

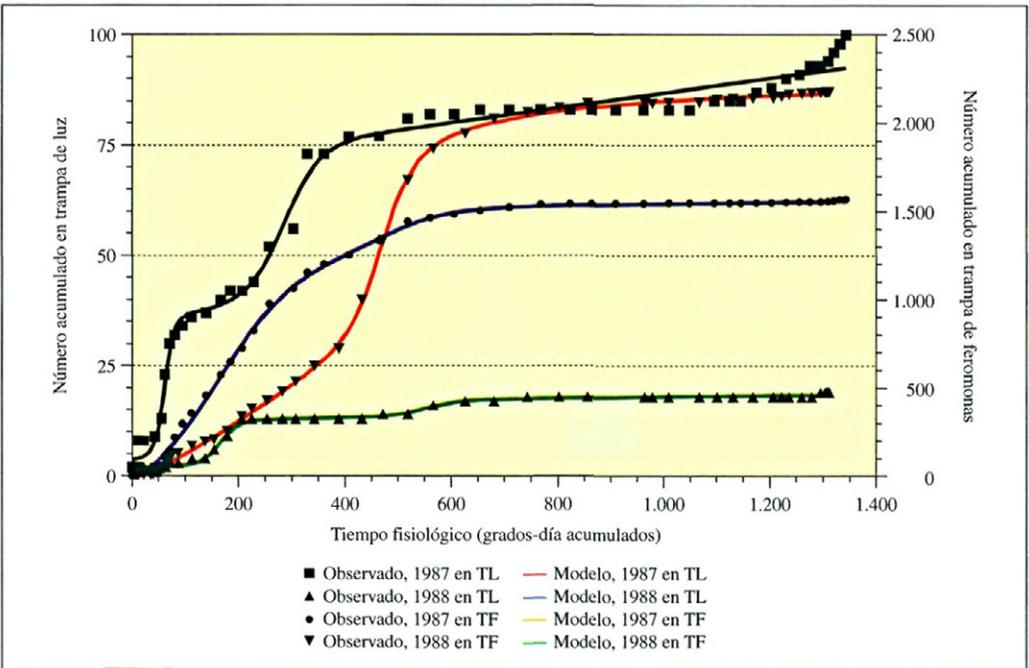
El número de capturas en trampas de feromonas, respecto a las de luz, fue siempre mayor (gráfica 5), más significativo si se tiene en cuenta que en las primeras sólo capturan machos y las segundas ambos sexos. Ello puede ser debido a diversos factores que afecten particularmente a cada tipo de trampa; por ejemplo para trampas de luz, la luna, el viento, etc. (HARTSTACK *et al.*, 1973; MORTON *et al.*, 1981), y de feromonas, la efectividad del análogo químico utilizado

(IZQUIERDO *et al.*, 1991). Sin embargo, el principal factor es, en algunas especies de Noctuidos migratorios, el grado de madurez sexual de los adultos, que influye en la atracción o no a cada tipo de trampa (ESBEJERG *et al.* 1980; KASTER y SHOWER, 1982; CABELLO Y VARGAS, 1990).

El ajuste a los valores medios del porcentaje acumulado de adultos, en Almería y Granada, se representan en la gráfica 6; así como las funciones derivadas. En las dos localizaciones se puede observar tres máximos en la función derivada. Para su análisis, hay que señalar que *H. armigera* es una especie migratoria facultativa, con diapausa invernal en estado de pupa (COLVIN y GATEHOUSE, 1993); así el primer máximo se presenta con



Gráfica 7.—Evolución del número acumulado de adultos de *Agrotis segetum*, en trampa de luz, y modelo matemático ajustado, en función del tiempo fisiológico expresado en grados-día acumulados, en Almería, en 1993 y 1994.



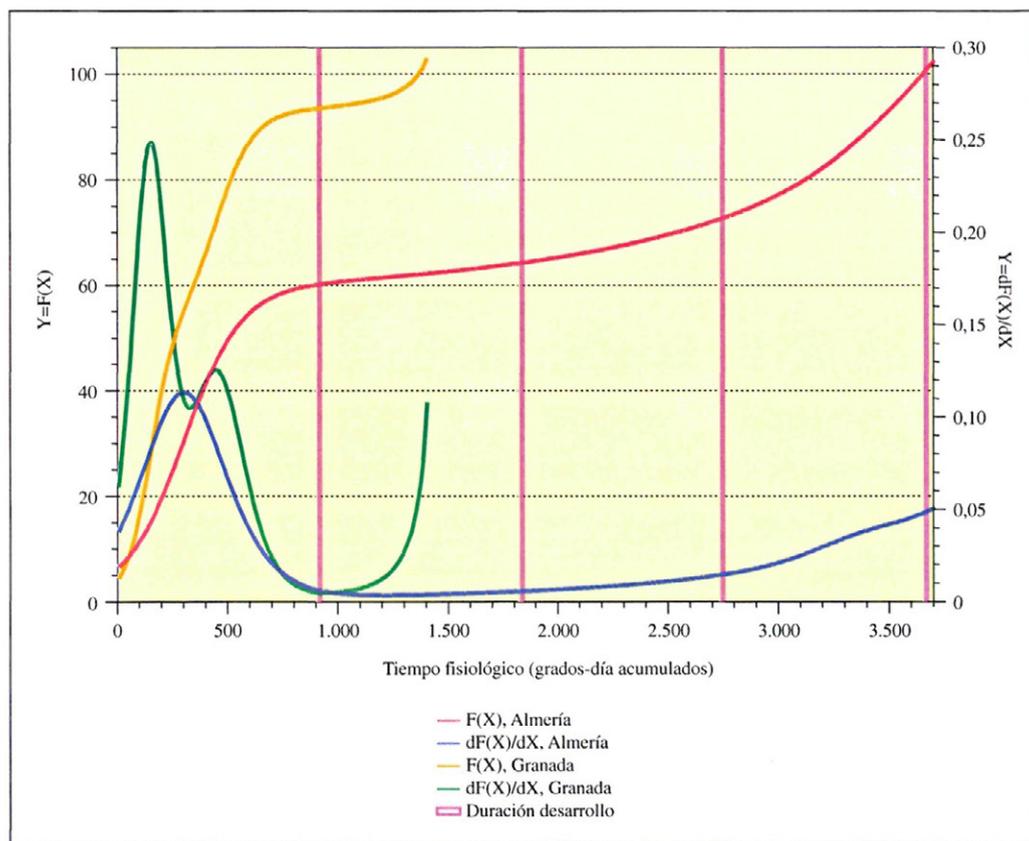
Gráfica 8.—Evolución del número acumulado de adultos de *Agrotis segetum*, en trampa de luz y feromonas, y modelo matemático ajustado, en función del tiempo fisiológico expresado en grados-día acumulados, en Granada, en 1987 y 1988.

un número muy bajo de grados-día acumulados (50 y 80, respectivamente en Almería y Granada), insuficiente para la terminación de la diapausa de las pupas invernantes, que necesitan de 119-318 GDA (CABELLO y VARGAS, 1990) para este fin. Por ello, este primer máximo corresponde a inmigraciones desde el sur. A continuación se produce un segundo máximo, primero en Granada (220 GDA) que en Almería (350 GDA), que representa los adultos originados desde las pupas invernantes, así como, los descendientes de los adultos inmigrantes. En Granada se completa una generación y media, por el contrario en Almería, continúan las generaciones, con una menor incidencia en los meses de verano; de nuevo, al final del año

(1650 GDA), se produce un máximo relativo alrededor de los 1486 GDA.

### c) *Agrotis segetum*

En este caso los ajustes fueron también altamente significativos ( $P < 0,01$ ), en todas las localizaciones y años estudiados, a una triple función logística (Cuadro 3). La especie presentó una dinámica similar en los distintos años y localizaciones como se observa en las gráficas 7 y 8. Sin embargo, existieron pequeñas diferencias entre localizaciones; en Granada, las poblaciones se presentan prácticamente a lo largo de todo el año; por el contrario, en Almería, las poblaciones



Gráfica 9.—Funciones logísticas y su derivada, ajustadas al porcentaje medio acumulado de adultos de *Agrotis segetum*, en función del tiempo expresado en grados-día acumulados, en dos localizaciones el sur de España.

**Cuadro 3.—Parámetros de ajuste a funciones logísticas triples de la fenología de la especie: *Agrotis segetum*, medida por el número de capturas acumuladas de adultos en trampa de luz y feromonas, en el sur de España**

Localización	Año	Tipo de trampa	Tramo de la función	Coeficientes de la función				Parámetros estadísticos			
				X <sub>0</sub>	K	r	Grados de libertad	R <sup>2</sup>	Desv. est. del ajuste	Sign. estad.	
Almería.....	1993	TL	1	0,2395	22,891	0,11101	51	0,998686	0,965	< 0,01	
			2	≈ 0	16,369	0,01672					
			3	0,3594	26,965	0,01167					
	1994	TL	1	0,8197	17,716	0,00512	40	0,997525	1,400	< 0,01	
			2	1,1722	7,999	0,01370					
			3	≈ 0	46,226	0,01239					
	1995	TL	1	0,2965	15,203	0,01165	43	0,997421	0,974	< 0,01	
			2	0,0186	16,198	0,14370					
			3	0,2535	20,521	0,00332					
Granada .....	1987	TL	1	≈ 0	3,273	0,40121	46	0,996874	0,625	< 0,01	
			2	≈ 0	7,694	0,03936					
			3	1,4571	16,843	0,01245					
	1988	TF	1	≈ 0	71,092	0,18275	48	0,999532	3,034	< 0,01	
			2	≈ 0	86,473	0,02733					
			3	1,3776	137,885	0,02237					
	1988	TL	1	0,0382	36,006	0,06514	44	0,999112	0,673	< 0,01	
			2	0,0105	12,846	0,01597					
			3	1,5511	3,670	0,08981					
1988	TF	1	1,2931	82,858	0,12047	37	0,996755	3,011	< 0,01		
		2	0,2983	49,921	0,02245						
		3	≈ 0	19,910	0,14991						

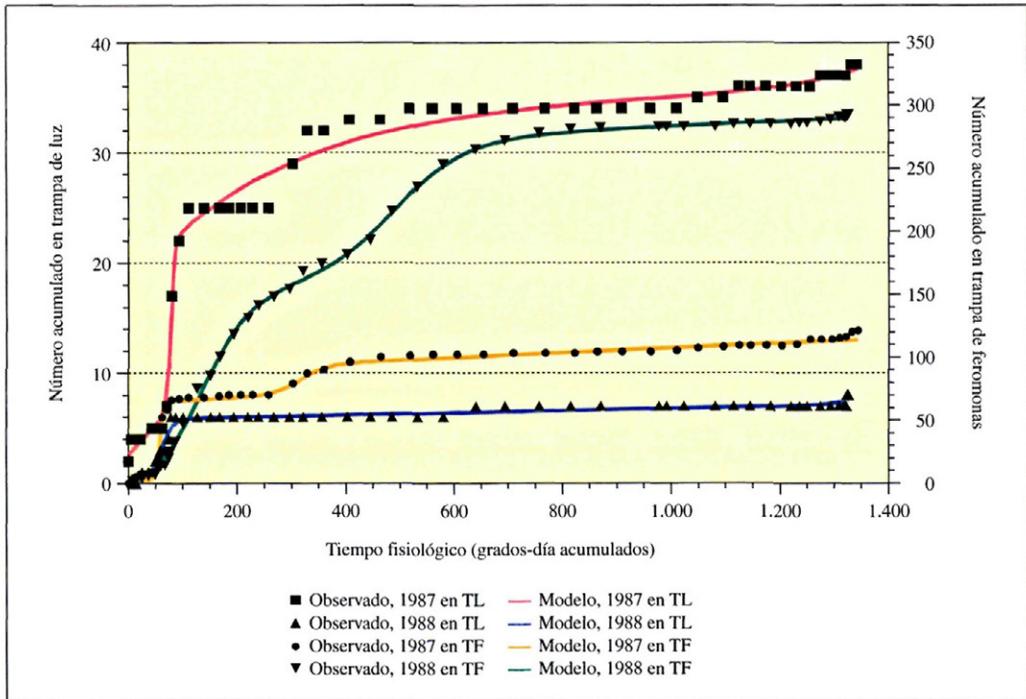
ocurren al principio y final del año, no existiendo capturas de adultos, en los meses de verano (de 1000 a 2500 GDA).

*A. segetum* es una especie sedentaria, presenta diapausa en estado de larva de últimos estadios (CAYROL, 1972). Los datos encontrados (gráfica 9) confirman el carácter sedentario de esta especie; a lo largo del año se va produciendo un progresivo incremento de las poblaciones, sin que se detecten bruscos cambios en el número de capturas que indiquen una inmigración. El primer máximo, encontrado a 150 GDA en Granada, corresponde a adultos que completan su desarrollo desde las larvas invernantes. Por el contrario, el primer máximo en Almería (300 GDA) y el segundo de Granada (440 GDA), deben de corresponder a adultos que provengan de otras zonas más frías, ya que esta especie tiene un tiempo de desarrollo de 914 GDA (CABELLO *et al.*, 1996). En este sen-

tido, debe señalarse que a pesar de su carácter sedentario, los adultos tienen una gran capacidad de dispersión, aunque no se estima que realicen migraciones de gran amplitud (BUES y PORTOUT, 1986).

#### d) *Agrotis ipsilon*

Finalmente, para *A. ipsilon* también se pudo realizar un ajuste altamente significativo ( $P < 0,01$ ), en todas las localizaciones y años estudiados, a una triple función logística (Cuadro 4). Los ajustes realizados en Granada, tanto utilizando trampas de luz como de feromonas, se representan en la gráfica 10. En este caso, a diferencia de *A. segetum*, las capturas se producen, en las dos localizaciones, durante los meses de invierno; no existiendo, por tanto, vuelos de adultos en los meses centrales del año (entre los 1000 y 2500 GDA).



Gráfica 10.—Evolución del número acumulado de adultos de *Agrotis ipsilon*, en trampa de luz y feromonas, y modelo matemático ajustado, en función del tiempo fisiológico expresado en grados-día acumulados, en Granada, en 1987 y 1988.

**Cuadro 4.—Parámetros de ajuste a funciones logísticas de la fenología de la especie: *Agrotis ipsilon*, medida por el número de capturas acumuladas de adultos en trampa de luz y feromonas, en el sur de España**

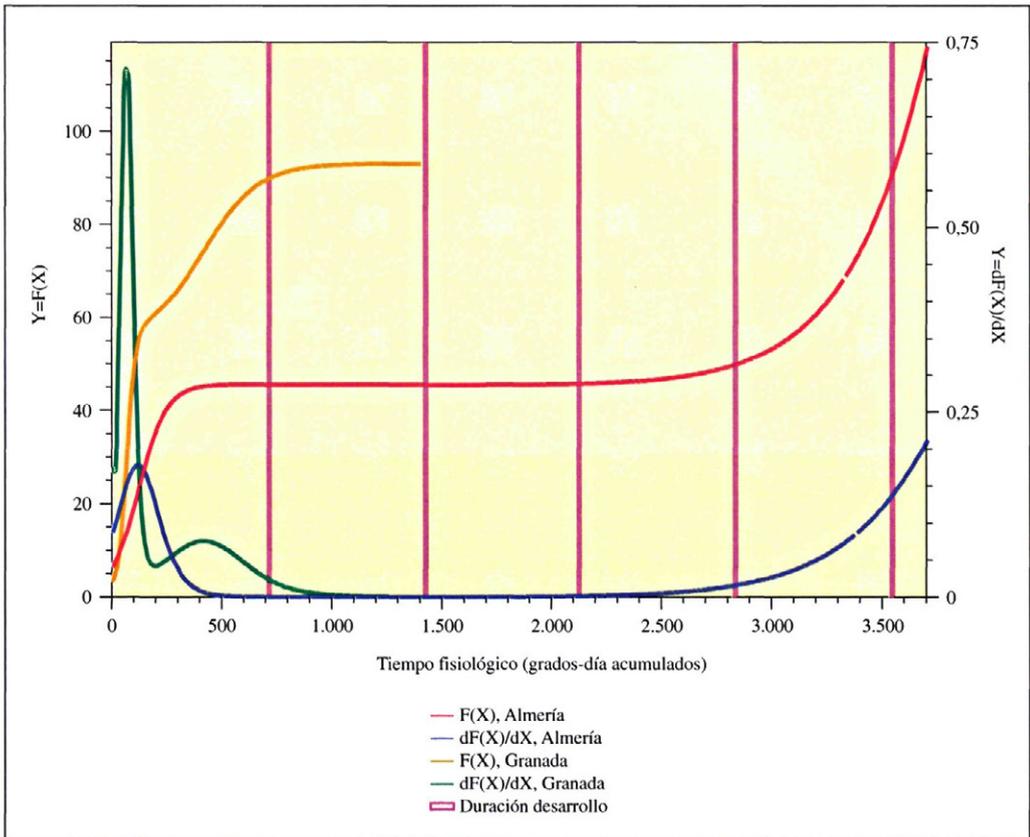
Localización	Año	Tipo de trampa	Tramo de la función	Coeficientes de la función				Parámetros estadísticos			
				X <sub>0</sub>	K	r	Grados de libertad	R <sup>2</sup>	Desv. est. del ajuste	Sign. estad.	
Almería.....	1994	TL	1	10,4403	21,340	0,00797	39	0,986451	0,594	< 0,01	
			2	0,0590	268,817	0,00166					
			3	12,9389	-7,763	-0,00055					
Granada .....	1987	TL	1	14,7118	46,651	0,01100	40	0,985276	1,508	< 0,01	
			2	0,4335	31,654	0,00244					
			3	2,3270	-8,538	-0,00050					
		TF	1	0,2276	65,289	0,10003	40	0,986763	4,358	< 0,01	
			2	0,5823	36,513	0,01171					
			3	-1,0129	13,840	0,00080					
	1988	TL	1	0,4206	7,714	0,04701	43	0,988633	0,353	< 0,01	
			2	0,0233	13,577	0,00338					
			3	-1,2306	9,024	0,00044					
		TF	1	3,2225	127,966	0,02845	43	0,999059	3,255	< 0,01	
			2	1,0209	140,196	0,01058					
			3	-0,8384	23,139	0,00179					

*A. ipsilon* es migratoria (JOHNSON, 1969; CAYROL *et al.*, 1974; POITOUT y BUES, 1982); por lo que, según se observa en la gráfica 11 para los valores medios del porcentaje acumulado de adultos, el primer máximo en Granada (60 GDA) corresponde a adultos inmigrantes. El primer máximo en Almería se presenta posteriormente (120 GDA); finalmente, sólo en Granada se observa un segundo máximo a los 410 GDA, debido a nuevos adultos inmigrantes.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con las ecuaciones logísticas clásicas, así como la nueva

función no autónoma, han sido bastante adecuados para realizar los ajustes a los datos de las distintas especies de Noctuidos plagas, y más concretamente para las que presentaron una evolución simple de sus poblaciones. Para las especies con varios máximos de vuelo se han utilizado la suma de funciones logísticas. Dichas funciones permiten explicar, utilizando los datos de capturas en trampas de luz y feromonas, las características ecológicas de las especies analizadas; confirmando de esta forma su carácter migratorio o sedentario. Se debe mencionar, por tanto, que se ha encontrado una herramienta matemática muy útil para poder esclarecer la ecología de las especies de Noctuidos plagas.



Gráfica 11.—Funciones logísticas y su derivada, ajustadas al porcentaje medio acumulado de adultos de *Agrotis ipsilon*, en función del tiempo expresado en grados-día acumulados, en dos localizaciones el sur de España.

## ABSTRACT

CABELLO T., R. CARREÑO, 2001. Logistic equations as models of Noctuid pests' phenology in south Spain. (Lep.: Noctuidae). *Bol. San. Veg. Plagas*, **28**: 319-336.

The adults' flights curves of four Lepidoptera species, *Spodoptera exigua* (HÜBNER, 1808), *Helicoverpa armigera* (HÜBNER, 1808), *Agrotis segetum* (DENNIS & SCHIFERMÜLLER, 1755) and *Agrotis ipsilon* (HUFNAGEL, 1766), have been used; they were obtained in light and pheromone traps, in two localizations of south Spain (Almeria and Granada). For these data, different mathematical functions were used: simple and multiple sigmoid patterns. Only, for *S. exigua* at Almería, simple function (Carreño's equation) was used; for the others species and areas, double and triple functions of Verhulst-Pearl were fitted to data; everything with a high statistical significance.

The found results have allowed us to prove, for the area, the migratory character of *S. exigua* and *A. ipsilon*, but the first species behaves as sedentary in Almeria; equally, it has been contrasted the facultative migratory character of *H. armigera*, as the sedentary behavior of *A. segetum*.

Finally, it is necessary to point out that it has been developed a very good mathematical tool that allows ecological studies of this important group of pest species.

**Key words:** Lepidoptera, Noctuid pests, *Helicoverpa armigera*, *Spodoptera exigua*, *Agrotis segetum*, *Agrotis ipsilon*, adult flights, ecology, migratory behavior, mathematical models, logistic equations.

## REFERENCIAS

- AMORIN L., BERGAMIN A., HAU B., 1993. Analysis of progress curves of sugarcane smut on different cultivars using functions of doble sigmoid pattern. *Phytopathology* **83**: 933-936.
- BUES R., POITOUT S., 1986. Diversité du cycle évolutif de *Scotia segetum* Schiff. (Lep., Noctuidae) en France variation régionale du voltinisme et de la survie hivernale. *La Défense des Végétaux* **242**: 18-25.
- CABELLO T., SALMERÓN T., 1989. Estudio mediante trampas de feromonas sexuales y de luz de las fenologías de tres especies de noctuidos plagas (Lep.: Noctuidae) en el Sureste de España. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* **15**: 225-232.
- CABELLO T., VARGAS P., 1990. Phenology of *Agrotis segetum*, *A. ipsilon* and *Heliothis armigera* (Lep.: Noctuidae) in Southern Spain. *IOBC wprs Bulletin* **13**(3): 6-11.
- CABELLO T., GONZÁLEZ P., JUSTICIA L., BELDA J., 1996. *Plagas de Noctuidos (Lep.; Noctuidae) y su fenología en cultivos en invernaderos*. Junta de Andalucía. Sevilla: 145 pp.
- CAMPBELL C.L., 1986. Interpretation and uses of disease progress curves for root diseases. EN: LEONARD K.J., FRY W.E. (Eds.), 1986. *Plant disease epidemiology. Population dynamics and management*. Vol. 1. Macmillan Publishing Co. Nueva York: 38-54.
- CAMPBELL C.L., MADDEN L.V., 1990. *Introduction of plant disease epidemiology*. John Wiley & Sons. Nueva York: 532 pp.
- CARREÑO R., 1996. *Modelos logísticos. Aplicaciones a la agronomía*. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Almería. 1997. Tesis Doctoral. Almería: 168 pp.
- CAYROL R.A., 1972. Famille des Noctuidae. EN: BALACHOWSKY, A.S. (Ed.) *Entomologie appliquée a l'agriculture. Lépidoptères*. Tome II. Volume 2. Masson et Cie. Paris: 1255-1520.
- CAYROL R.A., POITOUT S., ANGLADE P., 1974. Etude comparée des caractères biologiques respectifs de quelques espèces de Noctuidae plurivoltines migrantes et sédentaires. *Ann.Zool. - Ecol. anim.* **6**: 1-10.
- COCKFIELD S.D., BUTKEWICH S.L., SAMOIL K.S., MAHR D., 1994. Forecasting flight activity of *Sparganothis sulfureana* (Lep.: Tortricidae) in cranberries. *J. Econ. Entomol.* **87**: 193-196.
- COLVIN J., GATEHOUSE A.G., 1993. Migration and the effect of 3 environmental factors on the pre-reproductive period of the cotton-bollworm moth, *helicoverpa armigera*. *Physiological Entomology*, **18**: 109-113.
- ESBEJERG P., PHILIPSEN H., ZETHNER O., 1980. Monitoring of flight periods of *Agrotis segetum* using sex traps baited with virgin females. *Tidsskr. Planteavl.* **84**: 387-397.
- FRENCH R.A., 1969. Migration of *Laphygma exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) to the British isles in relation to large-scale weather systems. *J. Anim. Ecol.* **38**: 199-210.
- FYE R.E., 1979. *Insect diapause: field and insectary studies of six lepidopterous species*. U.S. Department of Agriculture. Agricultural Research Results. ARR-W-7. Oakland: 51 pp.
- GILLIGAN C.A., 1983. Modeling of soilborne pathogens. *Ann. Rev. Phytopath.* **21**: 45-64.
- GOODENOUGH J.L., MCKINION, J.M. (Eds.), 1992. *Basic of insect modeling*. The American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph: 221 pp.

- HARTSTACK A.W., HOLLINGSWORTH J.P., RIDGWAY R.L., COPPEDGE J.R., 1973. Comparison of the numbers of tobacco budworms and bollworms caught in sex pheromones traps vs. blacklight traps in Lower Rio Grande, valley, Texas. *Environ. Entomol.* **2**: 244-252.
- HAU B., KRANZ J., 1990. Mathematics and statistics for analyses in epidemiology. En: KRANZ J. (Ed.). *Epidemics of plant disease. Mathematical analysis and modeling*. Springer-Verlag. Berlín: 12-52.
- HAU B., AMORIM L., BERGAMIN A., 1993. Mathematical functions to describe disease progress curves of double sigmoid pattern. *Phytopathology* **83**: 928-932.
- IZQUIERDO J.I., BELLAVISTA J., SORRIBAS X., 1991. Nivel de especificidad de *Heliothis* (= *Helicoverpa*) *armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) en el litoral barcelonés. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* **17**: 555-561.
- JEGER M.J., 1983. Analysing epidemics in time and space. *Plant path.* **32**: 5-11.
- JOHNSON C.G., 1969. *Migration and dispersal of insects by flight*. Methuen & Con Ltd. Londres: 763 pp.
- KASTER L. VON, SHOWERS W.R., 1982. Evidence of spring immigration and autumn reproductive diapause of the adult black cutworm in Iowa. *Environ. Entomol.* **11**: 306-312.
- LEONARD K.J., FRY W.E. (Eds.), 1986. *Plant disease epidemiology. Population dynamics and management*. Vol. 1. Macmillan Publishing Co. Nueva York: 375 pp.
- MARÍN J.P., 1996. Principios generales de epidemiología y control de las micosis. En: LLÁCER G., LÓPEZ M.M., TRAPERÓ A., BELLO, A. (Eds.). *Patología Vegetal*. Sociedad Española de Fitopatología. Valencia. Vol. 2: 771-804.
- MARQUARDT D.W., 1963. An algorithm for the estimation of non-linear parameters. *J. Soc. Industrial & Appl. Math.* **11**: 431-441.
- MORENO R., 1994. El papel de la epidemiología en la protección fitosanitaria. En: MORENO, R. (Ed.). *Sanidad vegetal en la horticultura protegida*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. Sevilla: 263-276.
- MORTON R., TUART L.D., WARDHAUGH K.G., 1981. The analysis and standardisation of light-trap catches of *Heliothis armigera* (Hb.) and *H. punctiger* Wall. (Lep.; Noctuidae). *Bull. ent. Res.* **71**: 207-225.
- PEARL R., REED L.J., 1920. On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and mathematical representation. *Proc. Nat. Acad. Sci., USA* **6**: 275-288.
- POITOUT S., BUES R., 1982. Les principales noctuelles nuisibles. *Phytoma - Défense des cultures avril*: 39-43.
- RABBINGE G., CARTER N., 1983. Application of simulation models in the epidemiology of pests and diseases: an introductory review. *OILB/WPRS Bulletin* **6**(2): 18-30.
- RABBINGE R., ZADOKS J.C., BASTIAANS L., 1989. Population models. En: RABBINGE, R.; WARD, S.A.; LAAR, H.H. VAN (Eds.). *Simulation and systems management in crop protection*. Pudoc. Wageningen: 83-97.
- WAGGONER P.E., 1986. Progress curves of foliar diseases: their interpretation and use. En: LEONARD K.J., FRY W.E. (Eds.). *Plant disease epidemiology. Population dynamics and management*. Vol. 1. Macmillan Publishing Co. Nueva York: 3-37.

(Recepción: 10 enero 2002)

(Aceptación: 12 junio 2002)