(043) "2000" ASI

1600207476 X

UNIVERSITAT DE LLEIDA
E.T.S. D'ENGINYERIA AGRARIA

Universitat de Lleida
Registre General
22 SET. 2000
Nº 41999

ECOLOGÍA Y CONTROL DE LOS PULGONES DEL MAÍZ

LUIS ASÍN JONES

1971-20360

0165-05260

II.1.- Capacidad depredadora de insectos capturados en campos de maíz.

Las tablas II.2 y II.3 muestran los resultados de la prueba de Mann-Whitney para cada uno de los depredadores potenciales probados, según su estado de desarrollo, en las pruebas sobre plantas de trigo y en placa petri respectivamente.

Tabla II.2.- Número de pulgones supervivientes para cada especie probada en planta y su testigo, entre paréntesis el número de repeticiones, y los valores de Z del test de Mann-Whitney y su significación. En negrita p<0,05.

Orden o Familia	Especie	Forma	Con depred	Testigo	p	Z
Dermaptera	*F. auricularia*	adulto	1,92 (13)	9,10 (10)	**0,0002**	3.741
		ninfa	3,00 (5)	9,42 (7)	**0,0046**	2.836
	L. riparia	adulto	5,44 (18)	9,27 (15)	**0,0001**	4.066
Anthocoridae	*Orius sp.*	adulto	5,60 (93)	9,22 (55)	**0,0001**	8.729
Miridae	*L. rugulipennis*	adulto	8,60 (10)	9,33 (12)	0,3376	0.959
	T. caelestialum	adulto	8,17 (6)	9,52 (12)	0,1583	1.410
		ninfa	8,50 (2)	9,00 (4)	0,9999	0.000
	C. pallidus	adulto	6,66 (21)	8,85 (26)	**0,0010**	3.286
		ninfa	6,50 (6)	9,13 (5)	0,0745	1.784
Nabidae	*N. provencalis*	adulto	0,45 (33)	9,07 (29)	**0,0001**	7.023
		ninfa	0,00 (5)	8,83 (6)	**0,0053**	2.791
Chrysopidae	*C. carnea*	adulto	9,33 (3)	8,67 (6)	0.2695	1.104
		larva	1,83 (6)	9,00 (11)	**0.0009**	3.323
Carabidae	*A. dorsale*	adulto	6,60 (5)	8,87 (8)	**0,0077**	2.666
	D. atricapillus	adulto	5,84 (19)	9,54 (13)	**0,0001**	3.953
	H. rufipes	adulto	8,56 (27)	9,21 (19)	0,1461	1.453
	P. cupreus	adulto	7,17 (6)	9,00 (11)	**0,0178**	2.369
	Individuos bembidiini	adulto	7,12 (17)	9,10 (39)	**0,0001**	5.739
Staphilinidae	*Tachyporus* sp.	adulto	0,00 (2)	9,19 (4)	**0,0144**	2.447
Coccinellidae	*A. variegata*	adulto	0,00 (6)	9,50 (7)	**0.0007**	2.724
	C. septempunctata.	adulto	0,87 (15)	9,06 (16)	**0.0001**	4.886
	P. quatuordecimpunctata	adulto	0,00 (2)	8,67 (6)	**0.0471**	1.902
	Scymnus sp.	adulto	1,75 (4)	9,08 (34)	**0.0008**	3.366
	Individuos sin identificar	larva	0,50 (4)	9,08 (34)	**0.0008**	3.367
Syrphidae	Individuos sin identificar	larva	0,81 (7)	9,22 (9)	**0.0001**	3.578

Tabla II.3.- Número de pulgones supervivientes para cada especie probada en placa petri y su testigo, entre paréntesis el número de repeticiones, y los valores de Z del test de Mann-Whitney y su significación. En negrita p<0,05.

Familia	Especie	Forma	Media	Testigo	p	Z
Carabidae	*D. atricapillus*	adulto	2,92 (13)	8,11 (9)	**0.0001**	3.902
	P. rufipes	adulto	6,44 (18)	9,71 (7)	**0.0002**	3.703
Labiduridae	*L. riparia*	adulto	0,00 (4)	9,33 (3)	**0.0301**	2.169

Todos los dermápteros fueron capaces de depredar pulgones. Los adultos y ninfas de *F. auricularia* consumieron una gran cantidad de pulgones (1,9 y 3 pulgones supervivientes respectivamente). Sin embargo *L. riparia* mostró una capacidad depredadora más baja en planta (5,44 pulgones supervivientes), aunque en los experimentos sobre placa petri depredó todos los pulgones.

N. provencallis fue el heteróptero que consumió más pulgones tanto en estado adulto, como en el de ninfa. Continuando con los heterópteros, *Orius* sp. fue el segundo género con mayor capacidad depredadora, llegando a depredar 4,4 pulgones. Sin embargo las tres especies de la familia Miridae no mostraron capacidad depredadora, salvo el estado de adulto de *C. pallidus* que consumía 3,3 pulgones; ni las ninfas de *C. pallidus*, ni los adultos de *L. rugulipennis*, ni *T. caelestialum* en estado de adulto y de ninfa, mostraron capacidad depredadora en el experimento.

Las larvas de *C. carnea* depredaron grandes cantidades de pulgones (8,2 pulgones), aunque en estado de adulto no mostraron diferencias significativas con el testigo (p=0,27).

En relación al orden Coleoptera, todos los individuos se comportaron como depredadores sobre todo los coccinélidos y *Tachyporus* sp. cuyos individuos finalizaban la mayoría de los tests sin la presencia de ningún pulgón, destacando de entre los coccinélidos *A. variegata* y *P. quatuordecimpunctata.*

Siguiendo con los carábidos, se comportaron como depredadores de pulgones, aunque sin alcanzar valores de depredación tan altos como los mostrados por los coccinélidos y *Tachyporus* sp.. *D. atricapillus* y *A. dorsale* fueron las especies que mostraron una mayor capacidad depredadora, con valores de 6,6 y 5,8 pulgones supervivientes respectivamente. *P. rufipes* no mostró diferencias significativas con el testigo en los experimentos sobre planta (p=0,15), pero si en placa petri (p=0,0002). Los

valores de pulgones supervivientes con *P. cupreus* y *Bembidiini* fueron muy similares (7,2 y 7,1 respectivamente).

Las larvas de sírfidos testadas mostraron también una gran capacidad depredadora, sobreviviendo menos de un pulgón.

II.2.- Impacto de los depredadores sobre las poblaciones de pulgones.

II.2.1.- Población del total de pulgones.

En la figura II.1 se recogen las poblaciones del total de pulgones en las parcelas tratadas con fenvalerato y en las no tratadas a lo largo de los 40 días del experimento.

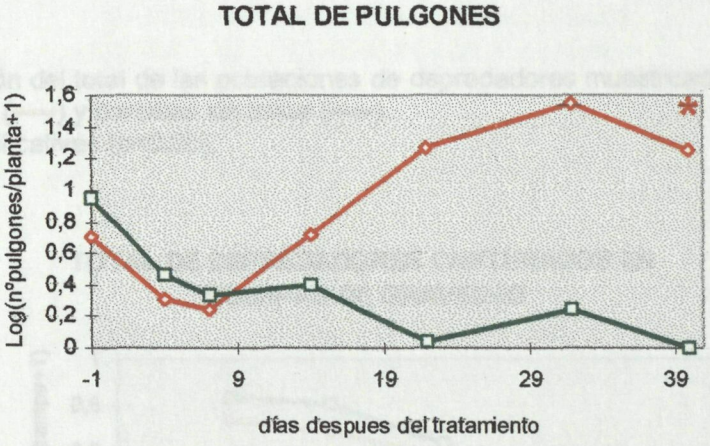


Fig. II.1.- Evolución del total de las poblaciones de pulgones en parcelas tratadas,(—) y parcelas sin tratar (—).
* diferencias significativas (p<0,05).

Se puede observar que las poblaciones de pulgones fueron superiores en las parcelas tratadas a los pocos días del tratamiento, manteniéndose esta superioridad hasta el final del experimento, sin embargo estadísticamente tan solo se apreciaron diferencias significativas en el último muestreo.

II.2.2.- Población de depredadores.

Las poblaciones del total de depredadores muestreados visualmente y los capturados en trampas de gravedad aparecen reflejada en la figura II.2 y II.3 respectivamente.

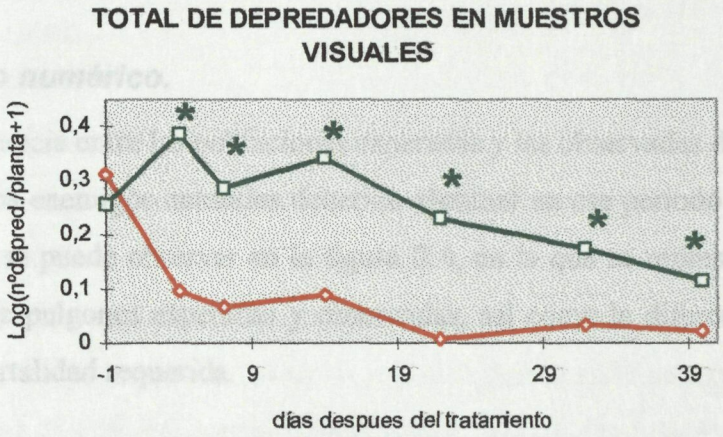


Fig. II.2.- Evolución del total de las poblaciones de depredadores muestreados visualmente en parcelas tratadas,(—) y parcelas sin tratar (—).
* diferencias significativas (p<0,05).

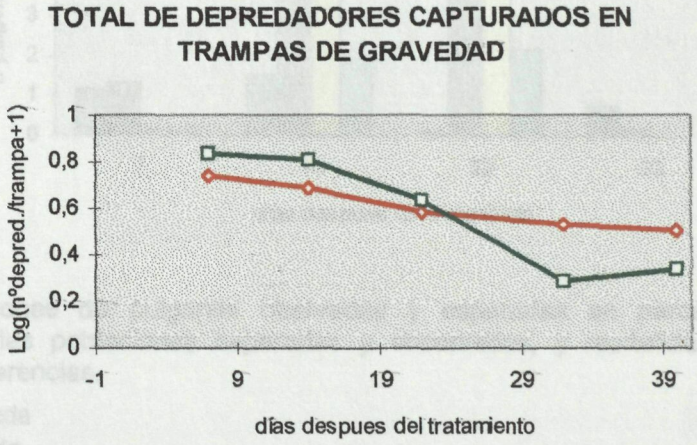


Fig. II.2.- Evolución del total de las poblaciones de depredadores capturados en trampas de gravedad en parcelas tratadas,(—) y parcelas sin tratar (—).

El efecto del tratamiento insecticida sobre la población de depredadores muestreados visualmente se pudo apreciar estadísticamente a lo largo de todos los muestreos post-tratamiento, lo que supuso que el objetivo de reducir las poblaciones de depredadores a lo largo de los 40 días del experimento había sido conseguido.

Sin embargo, y en referencia a las capturas de depredadores en trampas de gravedad, no se apreció un efecto del fenvalerato, ya que no hay diferencias significativas y los niveles poblacionales de las parcelas tratadas no siempre son menores respecto a las parcelas testigo.

II.2.3- Cálculo numérico.

La diferencia entre las poblaciones esperadas y las observadas dará el número de pulgones que los enemigos naturales deberían eliminar en ese periodo entre muestreos, esta diferencia se puede observar en la figura II.4, en la que se representan los medias de población de pulgones esperadas y observadas, así como la diferencia entre dichas medias y la mortalidad requerida.

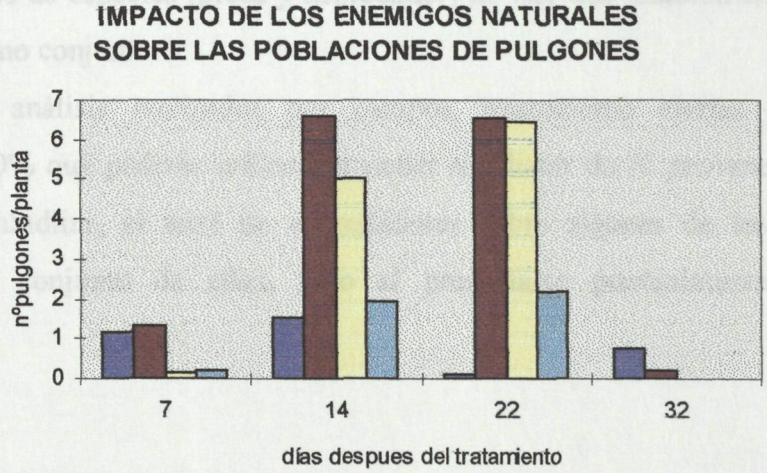


Fig. II.4.- Poblaciones de pulgones obervadas y esperadas en parcelas no tratadas, diferencias entre las poblaciones esperadas y observadas, y mortalidad requerida para producir dichas diferencias.

- Población observada
- Población esperada
- Población esperada-Población observada
- Mortalidad requerida

Se obtiene pues, que los pulgones por planta eliminados por los enemigos naturales entre los muestreos fueron 0,17, 5,04 y 6,42 a los 7, 14 y 22 días respectivamente. Los valores de mortalidad requerida corresponden a 1,93 y 2,19

pulgones lo que equivale a una proporción del 38,24 y 34,19% respecto a la diferencia poblaciones esperadas-observadas.

II.3.- Evaluación de la correlación de las dinámicas de pulgones y depredadores.

II.3.1.- Evaluación general.

En la tabla II.4 se muestran las correlaciones entre las diversas variables resultante del análisis.

Como se puede observar no hay ninguna correlación entre pulgones y depredadores que supere el 50%, lo que da una idea de que en lo referente a la dinámica de ambos grupos de especies (presa y depredador) no hay una relación en la campaña, tomada ésta como conjunto.

En los análisis realizados por campos, aparecieron ciertas correlaciones superiores al 50% que podrían indicar un poder regulador de *N. provencallis*, arañas, individuos Bembidiini, el total de depredadores sobre algunas de las especies de pulgones o el conjunto de ellas, pero al presentarse puntualmente no se han considerado.

Tabla II.4.- Matriz de correlaciones de las principales especies de pulgones y de depredadores.
rp: *R. padi*, sa: *S. avenae*, md: *M. dirhodum*, pul: total de pulgones, coc: coccinélidos, bem: bembidiini, ant: antocóridos, ara: arañas, np: *N. provencallis*, dep= total de depredadores, r-: tasa de crecimiento relativo de cada especie de pulgones o depredadores.

	rp	sa	md	pul	coc	bem	ant	ara	np	dep	r-rp	r-sa	r-md	r-pul	r-coc	r-bem	r-ant	r-ara	r-np	r-dep
rp	1,00																			
sa	0,49	1,00																		
md	-0,03	0,07	1,00																	
pul	0,85	0,78	0,35	1,00																
coc	0,03	0,15	0,00	0,08	1,00															
bem	-0,09	0,02	0,31	0,05	-0,10	1,00														
ant	0,12	0,21	-0,13	0,13	0,46	-0,16	1,00													
ara	-0,15	-0,05	0,05	-0,08	0,30	-0,11	0,63	1,00												
np	0,01	0,08	0,24	0,14	0,09	0,08	0,35	0,39	1,00											
dep	0,05	0,19	-0,02	0,12	0,66	-0,08	0,88	0,71	0,37	1,00										
r-rp	0,51	0,43	-0,03	0,50	-0,02	-0,04	-0,09	-0,10	-0,05	-0,09	1,00									
r-sa	-0,14	-0,12	-0,01	-0,14	-0,08	-0,01	-0,11	-0,04	-0,07	-0,11	0,11	1,00								
r-md	-0,02	-0,05	0,28	0,03	-0,08	-0,03	-0,10	-0,16	-0,24	-0,11	-0,01	0,01	1,00							
r-pul	0,22	0,43	0,04	0,34	-0,03	-0,02	-0,14	-0,09	-0,12	-0,12	0,82	0,52	0,15	1,00						
r-coc	0,00	0,11	-0,04	0,03	0,33	-0,02	0,07	0,06	0,16	0,16	0,07	0,00	0,00	0,09	1,00					
r-bem	0,01	0,00	0,05	0,02	0,01	-0,12	0,02	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00	0,08	0,01	-0,01	1,00				
r-ant	0,23	0,50	0,00	0,37	0,07	0,07	0,31	0,03	0,31	0,31	0,22	-0,05	-0,04	0,23	0,14	-0,01	1,00			
r-ara	-0,01	0,03	0,14	0,06	-0,12	-0,12	0,03	-0,03	0,06	0,06	0,01	0,00	0,01	0,02	-0,06	0,51	0,51	1,00		
r-np	0,04	0,08	0,17	0,12	0,02	0,02	-0,09	-0,05	-0,07	-0,07	0,03	-0,01	0,13	0,08	0,05	0,17	0,17	0,22	1,00	
r-dep	0,08	0,35	0,05	0,22	0,07	0,07	-0,04	-0,14	-0,01	-0,01	0,27	0,02	0,01	0,31	0,40	0,44	0,44	0,40	0,06	1,00

II.3.2.- Evaluación para A. aphidimyza.

En la tabla II.5 aparece reflejada la matriz de correlaciones entre las diversas variables, refiriéndose exclusivamente a las relaciones entre los pulgones y *A. aphidimyza*, la correlación supera siempre el 60% entre las variables, por una parte, la tasa de crecimiento relativo de *A. aphidimyza* ,y por otra, las tasas de cada especie de pulgones y el conjunto de todas ellas.

Tabla II.5.- Matriz de correlaciones entre las principales especies de pulgones y del cecidómido A. aphidimyza.
rp: *R. padi*, sa: *S. avenae*, md: *M. dirhodum*, pul: total de pulgones,aph: *A. aphidimyza*, r- : tasa de crecimiento relativo de cada especie de pulgones y de *A. aphidimyza*.

	rp	sa	md	pul	aph	r-rp	r-sa	r-md	r-pul	r-aph
rp	1,00									
sa	0,77	1,00								
md	-0,28	-0,09	1,00							
pul	0,70	0,83	0,41	1,00						
aph	-0,08	-0,09	0,32	0,15	1,00					
r-rp	0,38	0,32	0,22	0,47	0,24	1,00				
r-sa	0,37	0,33	0,26	0,50	0,26	0,99	1,00			
r-md	0,38	0,31	0,23	0,48	0,24	0,99	0,99	1,00		
r-pul	0,41	0,38	0,24	0,53	0,25	0,99	0,99	0,98	1,00	
r-aph	0,06	0,14	0,72	0,51	0,15	0,80	0,82	0,81	0,80	1,00

Se puede observar una gran correlación en la figura II.5 en la que se representa los vectores de cada variable, esta proyección de la esfera multidimensional muestra un 77% de la información, y se constata como el vector de la tasa de crecimiento relativo de *A. aphidimyza* y los vectores que representan las tasas de cada especie de pulgones y el conjunto de todas ellas además de tener un módulo próximo a 1, el ángulo que los separa es pequeño, dicho de otro modo, la proyección del vector que representa la tasa de crecimiento relativo de *A. aphidimyza* sobre los vectores que representan las tasas de cada especie de pulgones coincide en gran parte con los últimos.

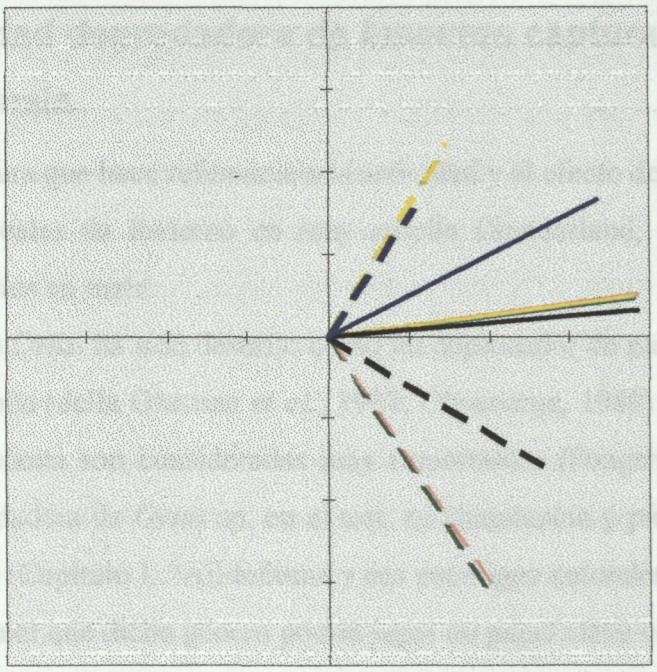


Figura II.5.- Análisis de componentes principales de las principales especies de pulgones y del cecidómido A. aphidimyza.

- *R.padi* — Tasa de crecimiento relativo de R.padi
- *S.avenae* — Tasa de crecimiento relativo de S.avenae
- *M.dirhodum* — Tasa de crecimiento relativo de M.dirhodum
- Total de pulgones — Tasa de crecimiento relativo de Total de pulgones
- *A.aphidimyza* — Tasa de crecimiento relativo de A.aphidimyza

II.1.- Capacidad depredadora de insectos capturados en campos de maíz.

La literatura que hace referencia a la actividad y al efecto de los depredadores de pulgones en cereales de invierno es muy amplia (Sunderland, 1988), sin embargo apenas hay estudios en maíz.

El género *Orius* ha sido descrito como un depredador de pulgones en maíz en el noroeste de Europa (della Giustina *et al.*, 1987; Ohnesorge, 1988) y densidades de 4-5 individuos por planta son consideradas muy importantes (Fougeroux, 1984). La gran capacidad depredadora de *Orius* sp. en el test, su abundancia y presencia a lo largo de toda la campaña (Capítulo I. "Afidofauna y sus enemigos naturales") en los campos de maíz hacen suponer que dicho género podría jugar un papel clave como regulador de las poblaciones de pulgones en el ecosistema del maíz en Lleida. En la misma zona de estudio, las especies *Orius* encontradas en los campos de maíz, también lo han sido en campos de frutales (Sarasúa *et al.*, 1994) y el género ha sido registrado en campos de cereales y alfalfa (Pons, datos sin publicar), que son los cultivos extensivos más extendidos de la región.

N. provencallis es una especie típica del Mediterráneo occidental (Péricart, 1987), que en el test de depredación se ha comportado como un gran depredador de pulgones. La presencia de nábidos han sido descrita en cereales (Basedow, 1996) y praderas (Morris, 1990). Su amplia presencia en Lleida, su abundancia y su movilidad observada en campo hacen de *N. provencallis* un depredador de pulgones muy interesante en el ecosistema del maíz en el sudoeste de Europa.

T. caelestialum y *L. rugulipennis* no mostraron capacidad depredadora en los test. Kot & Bilewicz-Pawinska (1989) encontraron ambas especies en plantas de maíz en Polonia, pero no evaluaron su papel como depredadores de pulgones. Estas especies han sido citadas como fitófagas en cereales y alfalfa respectivamente, la superposición de los ciclos de cereales, alfalfa y maíz podrían explicar la presencia de estos heterópteros en los campos de maíz.

Los resultados del test de depredación muestran que *D. atricapillus* y *A. dorsale* tienen una gran capacidad depredadora de pulgones, lo que está en consonancia con lo

descrito por Sunderland *et al.* (1985). La capacidad de *D. atricapillus* de subir a las plantas de maíz y su abundancia podría suponer que jugase un papel clave en la dinámica de las poblaciones de pulgones. Habitualmente los grandes carábidos no suben a las plantas de maíz (Lövei & Szentkirályi, 1984) y se alimentan de los pulgones que están en la superficie del suelo. Esto respondería a las observaciones en campo, ya que ni *H. rufipes* ni *P. cupreus* se han encontrado nunca en plantas. El gran tamaño de *H. rufipes* podría ser la razón de que no mostrase diferencias significativas en el experimento en planta.

F. auricularia ha sido citada como un gran afidófago (Sunderland *et al.*, 1985), lo que coincide con los resultados del test de depredación, sin embargo su presencia en campo fue baja. Podría ser que *L. riparia* jugase un papel mayor en la regulación de las poblaciones de pulgones debido a su abundancia en las trampas de gravedad (Capítulo I. "Afidofauna y sus enemigos naturales") y a su gran capacidad depredadora en placa petri.

En relación a las especies afidófagas específicas testadas (*C. carnea*, coccinélidos y sírfidos), ya han sido descritas como depredadores de pulgones en cereales (Kröber & Carter, 1991). A pesar de que las larvas de crisopas y sírfidos fueron capaces de eliminar casi todos los pulgones en el test de depredación, su reducida presencia en campo les resta importancia como reguladores de las poblaciones de pulgones en los campos de maíz de la zona estudiada.

II.2.- Impacto de los enemigos naturales sobre las poblaciones de pulgones.

En el experimento se ha podido constatar un aumento no significativo de las poblaciones de pulgones en las parcelas tratadas con fenvalerato, que coincide con un descenso estadísticamente significativo de las poblaciones de depredadores muestreados visualmente. Por lo que se puede afirmar que la disminución de depredadores ha posibilitado un aumento de las poblaciones de pulgones, lo que confirma la importancia de los depredadores en la dinámica poblacional de los pulgones en los campos de maíz de Lleida.

Los valores relativos de mortalidad requerida muestran una gran capacidad reguladora de las poblaciones de pulgones por parte de los depredadores, aunque resulta evidente que su supervivencia en el ecosistema del maíz con valores de unos dos pulgones eliminados por planta es imposible, a no ser que tuviesen una fuente de alimentación alternativa lo que exigiría que se tratase de depredadores polífagos.

A pesar de que los valores de mortalidad requerida son bajos, ello no supone que el impacto de los enemigos naturales sobre las poblaciones de pulgones sea despreciable, ya que eliminan 1,93 y 2,19 pulgones partiendo de una población de 1,53, y 0,1 pulgones/planta respectivamente; lo que significa que los enemigos naturales eliminan un número de pulgones superior a la población presente en cada muestreo, a ello hay que añadir la dificultad de los enemigos naturales en encontrar pulgones cuando su densidad no supera el valor de dos pulgones por planta.

Puesto que los valores de mortalidad requerida son bajos, es imposible que un depredador pueda sobrevivir en este ecosistema alimentándose exclusivamente de pulgones, lo que supone que deben tener una fuente alternativa de alimento, conclusión que también propone Wyatt (1983) ante unos resultados similares con *S. avenae* en campos de trigo. De modo que la única manera de sobrevivir los depredadores en el ecosistema del maíz en Lleida, es que estos sean polífagos, lo que coincide con la descripción de la mayoría de especies de depredadores encontradas en Lleida (Capítulo I: "Afidofauna y sus enemigos naturales").

II.3.- Evaluación de la correlación de las dinámicas de pulgones y depredadores.

II.3.1.- Evaluación general.

La circunstancia de que ningún depredador presente una correlación con los pulgones superior al 0,50 indica que la evolución de sus poblaciones no está fuertemente correlacionada, dicho de otra manera la evolución de las poblaciones de pulgones no está definida ampliamente por los depredadores y viceversa.

La conclusión extraída del análisis de componentes principales no supone que la importancia de los depredadores sea nula en la dinámica poblacional de los pulgones.

Ya que con este tipo de análisis podría darse el caso hipotético de que un depredador se alimentase exclusivamente de pulgones y que la correlación fuese baja porque la capacidad reproductora de los pulgones fuese superior a la mortalidad que inflingiría el depredador.

El hecho de que la mayoría de los depredadores introducidos en el análisis de componenetes principales sean polífagos unido a la presencia de otras presas en los campos de maíz (cicadélidos, trips, etc.) y a la capacidad reproductora de los pulgones del maíz podría explicar estas correlaciones tan bajas.

Lardoux (1991) se encontró con un problema similar a la hora de interpretar sus resultados y sus análisis, y una de sus conclusiones fue que podría ser interesante realizar este análisis de componentes principales efectuando decalages para comprobar la posible presencia de relaciones no instantáneas. Además de esta conclusión, que podría ser válida para este estudio, sería interesante realizar análisis por periodos inferiores a una campaña (bimensuales, mensuales,...), pero existe el peligro de encontrar correlaciones fruto del azar o de una biología que pudiese presentar ciertas similitudes que no sean consecuencia de la depredación de pulgones, lo que llevaría a alcanzar conclusiones falsas y erróneas.

II.3.2.- Evaluación para A. aphidimyza.

La correlación elevada (superior al 0,60), entre la tasa relativa de crecimiento de *A. aphidimyza* y las tasas de cada especie de pulgones y el conjunto de ellas, indica que sus dinámicas están muy correlacionadas, debido al comportamiento del depredador, que solo realiza puestas si encuentra grandes colonias de pulgones (Mansour, 1975), eliminándolas en pocos días.

Kuno & Dyck (1985) afirman que una elevada correlación positiva puede indicar un alto grado de especificidad por parte del depredador, y es eso lo que ocurre en el caso de *A. aphidimyza*, ya que las larvas de este cecidómido solo se nutren de pulgones.

Chambers & Adams (1986) encontraron una correlación positiva entre pulgones y sírfidos, y Coderre & Tourneur (1988) entre sírfidos y *R. maidis*, estos casos pueden servir para marcar un paralelismo entre lo que ellos encuentran en campos de trigo y la

situación en Lleida entre *A. aphidimyza* y pulgones, ya que ambos depredadores son denominados de limpieza o eliminación, ya que su comportamiento a la hora de depredar colonias de pulgones es muy similar.

El modelo matemático que se estableció inicialmente no se ha cumplido, ya que las variables correlacionadas son las tasas de crecimiento relativo de las presas y *A. aphidimyza*, y no la tasa de crecimiento relativo de las presas con la media poblacional del depredador y viceversa. La explicación es la presencia de otra variable en el modelo real lo que invalidaría el modelo establecido. Otra posible explicación podría estar en la periodicidad de los muestreos, debido a que el ciclo de *A. aphidimyza* es tan rápido que un muestreo semanal no es capaz de definir correctamente el descenso de las poblaciones de pulgones en base al aumento de las larvas del depredador.

II.4.- Efecto de los enemigos naturales sobre las poblaciones de pulgones.

Los depredadores polífagos parecen tener una importancia clave en la regulación de las poblaciones de pulgones el ecosistema del maíz en Lleida, lo que ha sido descrito para otros ecosistemas (Clark *et al.*, 1994). Esa importancia es debida a:

- Abundancia frente a los depredadores específicos.
- Presencia continua en los campos de maíz, desde la colonización de los pulgones hasta el final de la campaña, y en la mayoría de cultivos de la zona de estudio (frutales, cereales y alfalfa)
- Gran capacidad depredadora de algunos.
- Capacidad de regular las poblaciones de pulgones.

A pesar de que mediante las técnicas de correlación se puede afirmar que tan solo *A. aphidimyza* muestra una correlación elevada con las poblaciones de pulgones, ello no quiere decir que el efecto del resto de enemigos naturales sea nulo o despreciable, ya que en el experimento de exclusión mediante un tratamiento insecticida se ha comprobado todo lo contrario.

La especificidad de *A. aphidimyza* con las poblaciones de pulgones no resulta ser muy interesante como posible medida de control, salvo en el caso de de densidades de pulgones muy elevadas.

Por otro lado, se ignora que enemigo natural es el que produce mayor efecto regulador o controlador sobre las poblaciones de pulgones, por lo que lo ideal sería continuar con experimentos de exclusión en campo, incluyendo la variante de la exclusión o la liberación seleccionada de enemigos naturales, para valorar así el efecto individual de cada especie de depredador o de parasitoide.

CAPÍTULO III.

EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL DESARROLLO Y REPRODUCCIÓN DE LOS PULGONES

III.1.- Antecedentes.

Los pulgones, al igual que todos los insectos, son organismos poikilotermos, es decir, carecen de mecanismos para regular la temperatura corporal, por lo que su metabolismo está influenciado por la temperatura exterior. De modo que la temperatura juega un papel clave sobre las componentes de la dinámica poblacional, determinando la duración del desarrollo ninfal y la tasa de fecundidad (Dean, 1974; Kieckhefer *et al.*, 1989).

La temperatura modifica el crecimiento de la población de pulgones al afectar el tiempo de desarrollo (Barlow, 1962), también condiciona el peso del individuo al nacer, por lo que indirectamente afecta a la reproducción debido a la influencia sobre el tamaño del adulto (Dixon & Dharma, 1980; Dixon & Wellings, 1982).

La relación entre la temperatura y la fecundidad (expresada como el número total de descendientes en el periodo reproductivo o de descendientes por día) y las tasas de desarrollo de los diferentes estados de un insecto (expresado en 1/días) es lineal en un rango de temperaturas consideradas intermedias; por encima y por debajo de ese rango se sitúan las denominadas temperaturas críticas, donde la relación es curvilínea y que coincide con un aumento de la mortalidad.

Como ya fue descrito por otros estudios realizados en la zona y en el Capítulo I, las poblaciones de pulgones se reducen ampliamente en los meses de julio y agosto, coincidiendo con las temperaturas más altas de la campaña. Lo que se pretende en este Capítulo, desarrollando el cuarto objetivo de esta Tesis, es valorar hasta que punto los valores de temperatura que se alcanzan en Lleida en los meses estivales son los causantes de la disminución de las poblaciones de las tres especies de pulgones más abundantes o, en definitiva, comprobar si la relación lineal entre temperatura y, fecundidad y tasas de desarrollo, se convierte en curvilínea (aumentando a su vez la mortalidad) en el rango de temperaturas que se dan en los meses de julio-agosto en la zona de Lleida.

Para desarrollar este objetivo se utilizó una metodología que intentaba reproducir las condiciones que se dan en los campos de maíz en Lleida, sometiendo

durante el ciclo vital de individuos de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum* a una gama de temperaturas constantes (18-30°C) representativas del periodo Junio-Agosto en Lleida y evaluando distintos parámetros binómicos de las tres especies.

Como se describió en el Capítulo I, los adultos alados son los responsables de la colonización del cultivo, reproduciéndose y estableciéndose sus poblaciones. Para reproducir este ciclo en el laboratorio, los experimentos se iniciaron con adultos alados de las tres especies, contabilizando diariamente la mortalidad de su descendencia, el tiempo para alcanzar el estado de adulto áptero y la descendencia de estos últimos. Así se podría comprobar el efecto de la temperatura sobre el establecimiento de los adultos alados sobre el maíz y el posterior desarrollo de las poblaciones de pulgones.

III.1.- Especies de pulgones.

Se realizaron estos ensayos con las tres especies de pulgones más abundantes en los campos de maíz de Lleida, *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum*, utilizando para cada especie un solo clon.

La cría o mantenimiento de los clones de las especies de pulgones se realizaba separadamente en macetas de trigo duro de la variedad MEXA, siguiendo la metodología descrita en el Apartado II.1.2 "Cría de pulgones" del Capítulo II "Impacto de los enemigos naturales sobre las poblaciones de pulgones".

III.2.- Material vegetal.

Todos los experimentos se llevaron a cabo sobre plantas de maíz de la variedad PRISMA.

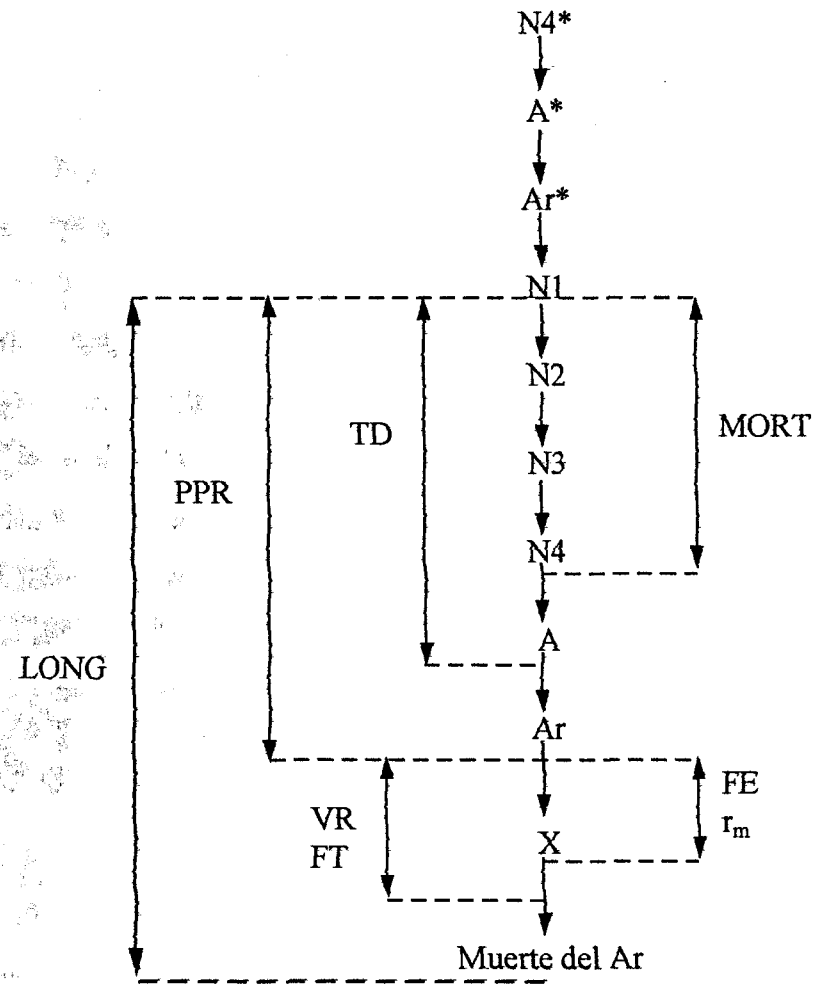
Para disponer de material vegetal se sembraban macetas de 16 cm de diámetro y 14,5 cm de altura, con turba alcalina, colocando cuatro semillas por maceta.

El estado fenológico requerido para este experimento era de 5-6 hojas (GS 4, Hanway, 1966).

III.3.- Metodología del experimento.

El experimento se llevó a cabo en cajas de cría herméticas de 53 mm de diámetro y 32 mm de altura, que habían sido previamente desinfectadas durante 24 horas en una solución de hipoclorito sódico al 0,5%.

En las tres especies de pulgones se desarrolló la misma metodología que se representa en la figura III.1, partiendo de ninfas de cuarto estadio con rudimentos alares (N_4*), provenientes de los clones criados sobre trigo duro.



TD: Tiempo de Desarrollo
PPR: Periodo Prereproductivo
MORT: Mortalidad Ninfal
FE: Fecundidad Efectiva
FT: Fecundidad total

r_m: Tasa intrínseca de crecimineto
VR: Vida Reproductiva
LONG: Longevidad
X: Momento en el que el tiempo desde Ar a X es igual a PPR

Figura III.1.- Esquema de la metodología del experimento, con las diversas fases y las variables.

Estas N_4* se individualizaban en cajas de cría, en las que previamente se había colocado, cubriendo el fondo, un papel de filtro humedecido con agua destilada y sobre él una porción central de la 3ª o 4ª hoja.

Las cajas de cría con las N_4* se introducían en cámaras a temperatura constante y un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 de oscuridad.

Cada una de las N_4* daba lugar a un adulto alado (A*) que se eliminaba una vez que había proporcionado una descendencia de 5 ninfas (N_1) viables o pasados tres días.

Cada individuo N_1, tras 4 mudas, se transformaba en un adulto áptero (A) y posteriormente en adulto áptero reproductivo (Ar).

Cuando ocurría la 4ª muda, se procedía a separar en cajas a los pulgones adultos procedentes del mismo A*, numerando las cajas de manera que hubiese constancia de la procedencia.

Estos Ar se mantenían vivos hasta su muerte, a lo largo de este periodo se registraba su descendencia diaria.

En todo este proceso se cambiaba la caja diariamente y la hoja cada dos días, y se evitaba en lo posible tocar los pulgones, pero si en algún momento era necesario, como cuando se le cambiaba el fragmento de hoja, se procuraba que el pulgón extrajese los estiletes de la hoja, lo que se hacía mediante ligeros toques en la frente del insecto con un pincel fino.

III.4.- Diseño experimental.

El único factor fue la temperatura, experimentando en un abanico entre 18 y 30 °C, que corresponde a las temperaturas medias en Lleida durante el ciclo del maíz; concretamente, las temperaturas ensayadas fueron 18±1, 22±1, 25±1, 27.5±1 y 30±1°C.

En el caso de *M. dirhodum* no se llevó a cabo el ensayo a 30°C, ya que a 27,5°C ningún A* llegó a reproducirse.

III.5.- Variables.

En total se consideraron 7 variables, tal y como queda representado en la figura III.1 y son las siguientes:

1.- Mortalidad Ninfal (MORT): Es el número de ninfas provenientes de los A* que murieron antes de alcanzar el estado de adulto, la variable que la expresa es el porcentaje del número de ninfas muertas respecto al total de ninfas iniciales.

2.- Tiempo de Desarrollo (TD): Tiempo desde que el N_1 nace hasta que se convierte en adulto áptero (A).

3.- Periodo Prereproductivo (PPR): Tiempo desde que el N_1 nace hasta que se convierte en adulto reproductivo (Ar). Debido a que el ciclo biológico de los pulgones es corto, muchas veces esta variable y TD coincidían.

4.- Fecundidad Efectiva (FE): Número de ninfas descendientes de un Ar, en el mismo periodo que dura el PPR.

5.- Tasa Intrínseca de Crecimiento (r_m): Viene definida como la diferencia entre la tasa de nacimiento y la tasa de mortalidad, no obstante para su determinación se usó la fórmula simplificada de Wyatt & White (1977) en que:

$$r_m = c \cdot \ln (FE)/PPR$$

Siendo c, una constante correctora (0,783).

6.- Tasa Reproductiva Efectiva (TRE): Esta variable explica la fecundidad diaria obtenida a lo largo de un periodo equivalente al PPR.

$$TRE = FE/PPR$$

7.- Vida Reproductiva (VR): Número de días desde que un individuo alcanza el estado de Ar hasta que deja de reproducirse.

8.- Fecundidad (FEC): Número de ninfas producidas por un Ar a lo largo de su VR.

9.- Tasa Reproductiva Total (TRT): Es la relación explica la fecundidad media durante la VR.

$$TRT = FEC/VR$$

10.- Longevidad (LONG): Número de días desde que el N_1 nace hasta su muerte, tan sólo de aquellos individuos que alcanzan el estado de Ar.

III.6.- Análisis de datos.

Para evaluar el efecto de la temperatura sobre la mortalidad, el desarrollo y la reproducción de las tres especies de pulgones, se recurrió a los siguientes modelos matemáticos.

III.6.1.- Mortalidad ninfal (MORT).

Para modelizar la evolución de la MORT en función de la temperatura (T) se utilizó el siguiente modelo exponencial.

$$MORT(T)= MORT_o + a \cdot exp(b \cdot T)$$

Donde $MORT_o$ es la mortalidad mínima o independiente del factor temperatura a la que se le suma una función exponencial cuyos parámetros tan solo describen su forma.

Los parámetros ($MORT_o$, a y b) se estimaron mediante el procedimiento no linear NLIN del paquete SAS utilizando el método de los mínimos cuadrados de Marquardt (SAS Institute Inc., 1987).

III.6.2.- Tiempo de Desarrollo (TD), Periodo Prereproductivo (PPR), Tasa Intrínseca de Crecimiento (r_m), Tasa Reproductiva Efectiva (TRE) y Tasa Reproductiva Total (TRT).

Para modelizar estas 5 variables se ajustaron los datos al Modelo no lineal de Taylor (1981) utilizado por Elliot & Kieckhefer (1989) y Kieckhefer *et al.* (1989) para *R. padi* y *S. avenae*; a pesar de que los autores citados no utilizan dichos modelos para todas las variables citadas en este apartado, se ajustaron dichos modelos a todas ellas.

$$r(T) = r_{max} \cdot exp\{ -0,5 \cdot [(T-T_u)/c_1]^2\} \quad T<T_u$$
$$r_{max} \cdot exp\{ -0,5 \cdot [(T-T_u)/c_2]^2\} \quad T>T_u$$

Para usar dicho modelo las variables TD y PPR se transformaron en las tasas del TD y del PPR que vienen expresadas en 1/días.

Donde r(T) es la variable en cuestión, T_u es la temperatura umbral a la que se alcanza el valor máximo de la variable estudiada (r_{max}), c_1 y c_2 son parámetros que describen la forma de la curva y, por último T es la variable independiente temperatura.

La segunda parte del modelo, aquella que describe el descenso de la r(T) desde r_{max} hasta 0, puede proporcionar un ajuste idóneo pero imposible si este se produce en un intervalo de temperatura de, por ejemplo, 0,1°C; para evitarlo, se introdujo la

condición de que el intervalo $r_{máx}$-0,1*$r_{máx}$ se produjese como mínimo en 1°C, lo que se consigue exigiendo a c_2 que no sea inferior a 0,47.

Otra condición fue que la T_u no fuese superior a 35°C.

Los parámetros ($r_{máx}$, T_u, c_1 y c_2), al igual que en el apartado anterior, se estimaron mediante el procedimiento no linear NLIN del paquete SAS utilizando el método de los mínimos cuadrados de Marquardt (SAS Institute Inc., 1987).

La tabla III.1 recoge los valores de la Mortalidad ninfal, Desarrollo, Capacidad reproductiva y Longevidad de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum* a las temperaturas ensayadas (18, 22, 25, 27.5 y 30°C).

III.1.- Efecto de la temperatura sobre la mortalidad de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum*.

En la figura III.2 se representa el ajuste de los datos de la Mortalidad ninfal al modelo. *M. dirhodum* es la especie con mayor mortalidad ninfal en el intérvalo de temperaturas ensayado, mientras que *R. padi* y *S. avenae* muestran valores similares hasta 25°C, alcanzando *S. avenae* una mortalidad ninfal del 100% a 30°C.

R. padi es la especie que mejor se adapta a las altas temperaturas del ensayo (27,5 y 30°C), mientras que en el intérvalo 18-25°C tanto *R. padi*, como *S. avenae* muestran una respuesta similar. Frente a esta circunstancia, *M. dirhodum* es la especie con valores de mortalidad ninfal más altos en todas las condiciones.

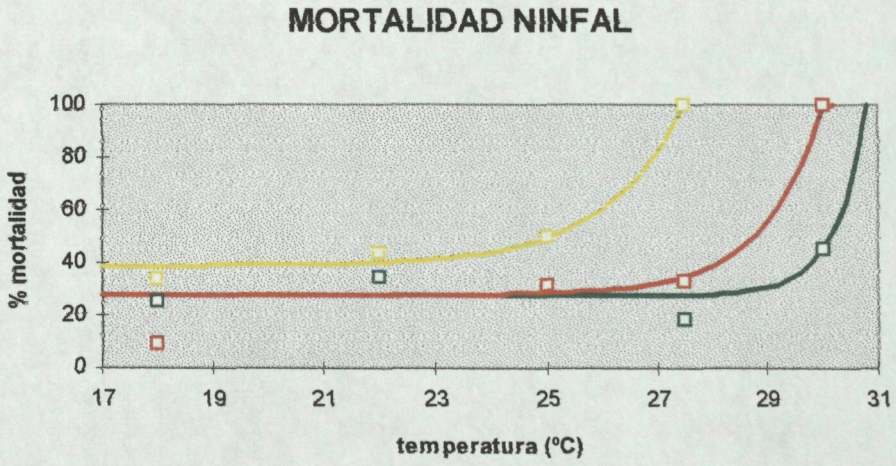


Figura III.2,- Modelo exponencial ajustado a la MORT de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum*. Los puntos indican los valores obtenidos en el experimento.

—◇— *R. padi* —□— *S. avenae* —△— *M. dirhodum*

Tabla III.1.- Mortalidad, Tiempo de Desarrollo, Periodo prereproductivo, Vida reproductiva, Longevidad, Fecundidad total, Tasa de Reproducción total, Tasa de Reproducción efectiva y Tasa intrínseca de crecimiento para *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum* a las temperaturas de 18, 22, 27.5 y 30ºC. Entre paréntesis número de individuos.

	R. padi					*S. avenae*					*M. dirhodum*			
	18	22	25	27,5	30	18	22	25	27,5	30	18	22	25	27,5
%MORT	25,5	34,78	31,69	18,29	45,17	9,1	43,97	31,92	33,45	100	34,14	43,91	50,38	100
n	80	75	65	78	77	72	66	65	55	85	50	56	62	80
TD (días)	8,8±1,51	6,21±0,86	5,41±0,53	4,62±0,47	6,22±0,65	8,99±0,82	7,98±0,95	7,28±0,93	6,55±0,77		10,76±1,62	8,66±0,94	7,51±0,95	
PPR (días)	9,31± 1,95	6,49± 0,9	5,75 ±0,7	4,93± 0,43	8,1± 0,61	9,54±0,80	8,42±0,98	8,17±0,98	8,82±1,51		11,53±2,03	9,44±1,17	8,5±1,34	
n	71	70	62	76	41	72	53	59	44		46	40	40	
F. TOT.(ninfas)	39,5±25,1	35,2±21,1	42,4±19,6	45,0±19,2	1,6±1,9	45,9±20,3	41,3±18,9	39,2±15,7	6,2±3,6		24,4±13,1	26,0±12,9	14,3±10,2	
F. EFEC.(ninfas)	25,3±12,1	25,8±11,8	32,7±10,1	31,7±10,4	1,6±1,9	29,3±7,9	26,0±6,9	25,2±6,6	6,2±3,6		19,5±8,1	20,9±7,6	13,0±8,4	
TRT(ninfas/días)	2,83±1,08	4,24±1,32	5,53±1,3	6,43±1,65	0,92±0,9	2,84±0,6	3,22±0,75	2,96±0,71	1,52±0,58		1,81±0,62	2,31±0,62	2,3±0,76	
TRE(ninfas/días)	2,93±1,56	4,15±1,93	5,83±1,93	6,58±2,09	0,2±0,26	3,1±0,82	3,19±0,86	3,23±0,96	0,76±0,51		1,83±0,92	2,31±0,91	1,63±1,11	
VR(días)	13,1±6,4	7,9±3,7	7,6±3,2	6,9±2,3	1,1±1,1	16,3±7,1	13,6±10,0	13,2±4,3	3,9±1,9		13,3±4,6	11,1±4,2	6,1±3,8	
r_m	0,26±0,08	0,37±0,09	0,45±0,08	0,52±0,08	0,05±0,06	0,26±0,03	0,29±0,04	0,3±0,05	0,15±0,07		0,20±0,05	0,24±0,05	0,21±0,09	
LONG(días)	26,1±7,1	15,4±4,7	14,4±4,7	12,7±2,9	12,3±2,2	27,9±9,2	22,6±10,0	22,2±4,4	15,1±2,4		29,2±5,6	23,4±4,4	16,6±4,5	
n	148	139	142	171	81	205	134	174	91		137	102	68	

MORT: Mortalidad ninfal
TD: Tiempo de desarrollo
PPR: Periodo prereproductivo
F. TOT.: Fecundidad total
F. EFEC.: Fecundidad efectiva
TRT: Tasa reproductiva total
TRE: Tasa reproductiva efectiva
VR: Vida reproductiva
r_m: Tasa intrinseca de crecimiento
LONG: Longevidad total

III.2.- Efecto de la temperatura sobre el desarrollo de *R. padi*,*S. avenae* y *M. dirhodum*.

El tiempo necesario para completar el desarrollo de *R. padi* and *S. avenae* disminuyo con la temperatura en el intervalo 18-27,5°C, alcanzándose el mínimo a 27,5°C. A 30°C el tiempo de desarrollo de *R. padi* fue mayor que a 27.5°C. Para *M. dirhodum* el mínimo del tiempo de desarrollo fue a 25°C.

Entre el rango de temperaturas ensayadas, la evolución del periodo prereproductivo fue similar que la del tiempo de desarrollo para *R. padi* y *M. dirhodum*. El mínimo periodo prereproductivo de *R. padi* volvió a ser a 27,5 °C pero a 30 °C este periodo fue practicamente el doble del requerido a 27,5°C. Para *M. dirhodum*, el mínimo periodo prereproductivo se produjo a 25 °C. En el caso de *S. avenae* el periodo prereproductivo fue menor a 25 °C que a 27,5 °C.

Las figuras III.3 y III.4 representan los valores de la tasa de desarrollo y prereproductiva para las tres especies ajustados al modelo de Taylor (1981), con valores del R^2 superiores a 0,96.

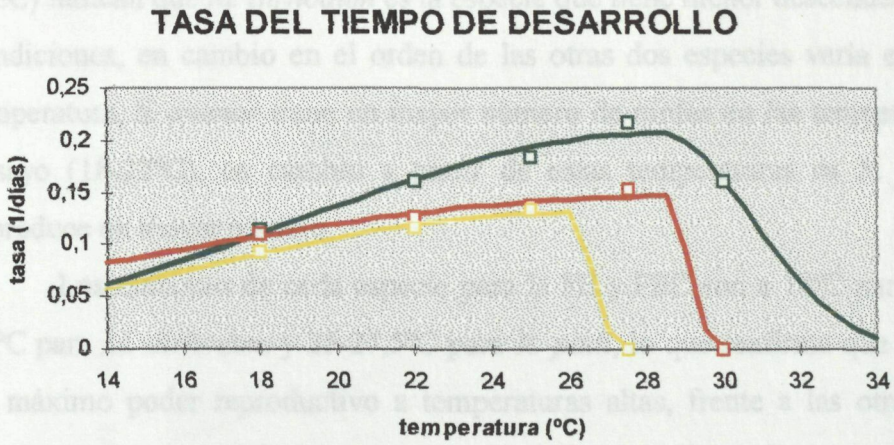


Figura III.3,- Modelo de Taylor ajustado a la tasa del TD de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum*. Los puntos indican los valores obtenidos en el experimento.

—◇— *R. padi* —□— *S. avenae* —△— *M. dirhodum*

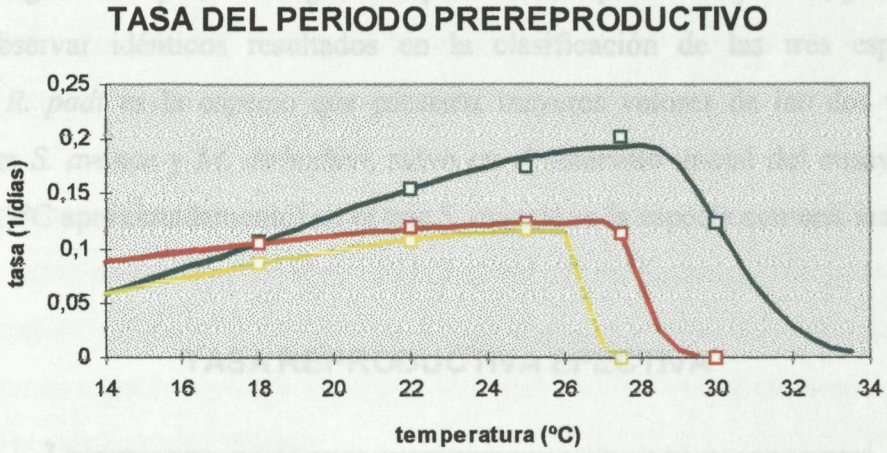


Figura III.4,- Modelo de Taylor ajustado a la tasa del PPR de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum*. Los puntos indican los valores obtenidos en el experimento.

—◇— *R. padi* —□— *S. avenae* —△— *M. dirhodum*

III.3.- Efecto de la temperatura sobre la reproducción de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum*.

Los resultados obtenidos de la Fecundidad Efectiva (FE) y Fecundidad Total (FEC) indican que *M. dirhodum* es la especie que tiene menor descendencia en todas las condiciones, en cambio en el orden de las otras dos especies varía en función de la temperatura, *S. avenae* tiene un mayor número de ninfas en las temperaturas bajas del ensayo (18-22°C), en cambio a partir de estas temperaturas es *R. padi* la que se reproduce en mayor número.

Los máximos de cada especie para la FE y FEC son a 18°C para *S. avenae*, 18-22°C para *M. dirhodum* y 25-27,5°C para *R. padi*, lo que reafirma que *R. padi* muestra su máximo poder reproductivo a temperaturas altas, frente a las otras dos especies, cuyos máximos se producen a temperaturas inferiores, llegando a superar *S. avenae* a *R. padi* en dichas condiciones.

Los valores obtenidos de la Tasa Efectiva Reproductiva (TER) y la Tasa Reproductiva total (TRT) (Tabla III.1) dan resultados comparativos similares, ya que *R. padi* es la especie que muestra mayores valores para ambas variables en la mayoría de las condiciones (salvo a 18°C para TER), seguida por *S. avenae*, y por último *M. dirhodum*.

La figura III.5 y III.6 recogen la representación para TER y TRT, y en ellas se pueden observar idénticos resultados en la clasificación de las tres especies de pulgones, *R. padi* es la especie que presenta mayores valores de las dos variables, seguida por *S. avenae* y *M. dirhodum*, salvo en el intervalo inicial del ensayo para la TER (18-19ºC aproximadamente) en el que *S. avenae* es la especie con una mayor tasa.

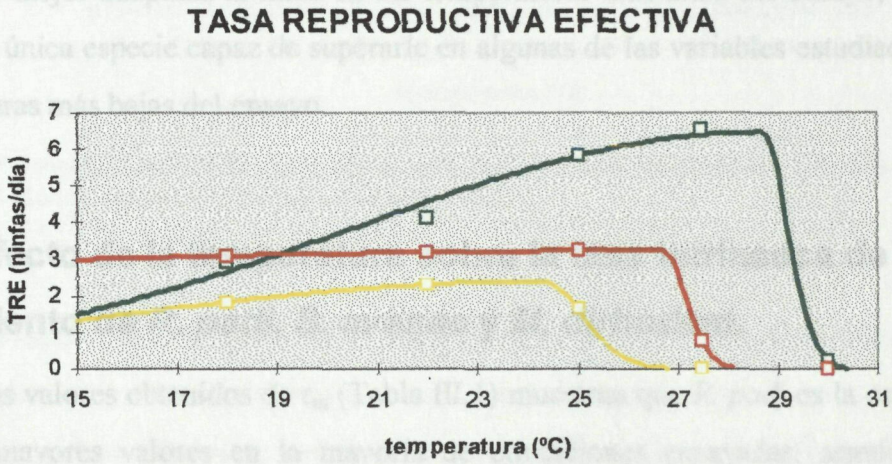


Figura III.5,- Modelo de Taylor ajustado a la TRE de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum*. Los puntos indican los valores obtenidos en el experimento.

—◇— *R. padi* —□— *S. avenae* —△— *M. dirhodum*

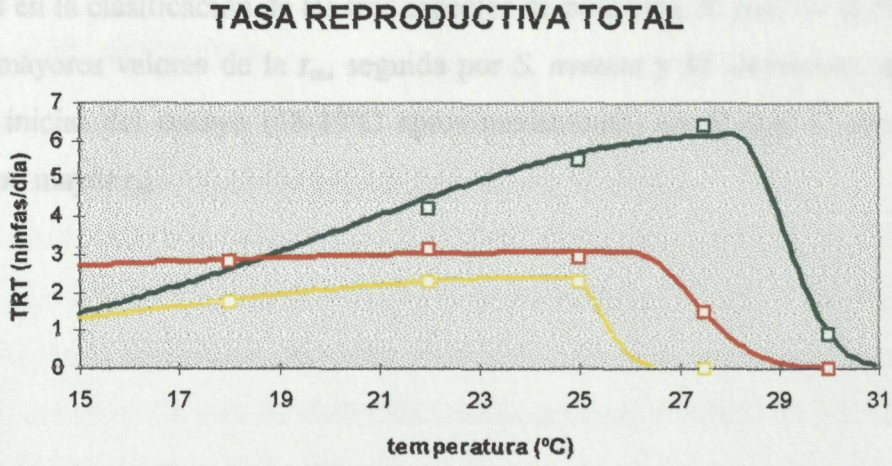


Figura III.6,- Modelo de Taylor ajustado a la TRT de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum* Los puntos indican los valores obtenidos en el experimento.

—◇— *R. padi* —□— *S. avenae* —△— *M. dirhodum*

En relación a la VR (Tabla III.1), en la mayoría de condiciones (salvo VR a 27,5°C) *R. padi* es la especie que presenta valores más bajos, seguidos por *M. dirhodum* y *S. avenae*.

A pesar de que tanto *M. dirhodum* como *S. avenae* muestran una VR superior a *R. padi*, la capacidad reproductiva de *R. padi* es suficientemente superior como para ser la especie mejor adaptada al maíz en las temperaturas más altas del ensayo, siendo *S. avenae* la única especie capaz de superarle en algunas de las variables estudiadas en las temperaturas más bajas del ensayo.

III.4.- Efecto de la temperatura sobre la tasa intrínseca de crecimiento de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum*.

Los valores obtenidos de r_m (Tabla III.1) muestran que *R. padi* es la especie que muestra mayores valores en la mayoría de condiciones ensayadas, seguida por *S. avenae*, y por último *M. dirhodum*. A su vez, *R. padi* alcanza los valores máximos a 27,5°C, mientras que para *S. avenae* y *M. dirhodum* los alcanzan a temperaturas inferiores (25 y 22°C respectivamente).

La figura III.7 recoge la representación de r_m y se puede observar idénticos resultados en la clasificación de las tres especies de pulgones, *R. padi* es la especie que presenta mayores valores de la r_m, seguida por *S. avenae* y *M. dirhodum*, salvo en el intervalo inicial del ensayo (18-19°C aproximadamente) en el que *S. avenae* es la especie con mayor r_m.

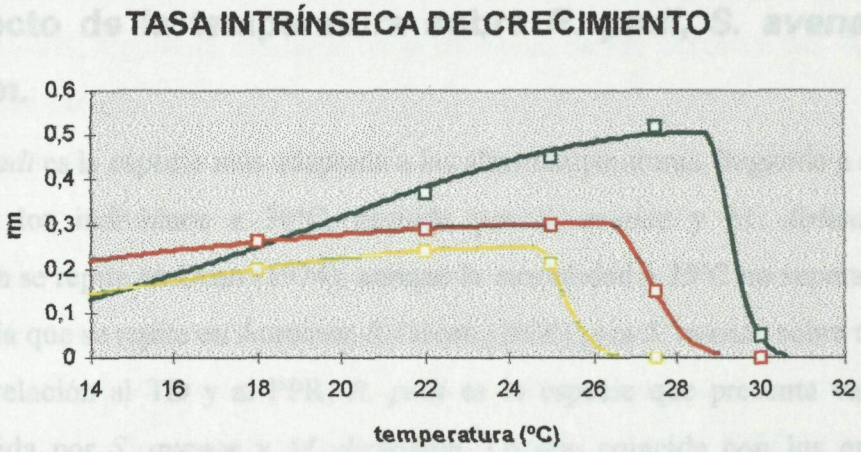


Figura III.7,- Modelo de Taylor ajustado a la r_m. de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum*. Los puntos indican los valores obtenidos en el experimento.
—◇— *R. padi* —□— *S. avenae* —△— *M. dirhodum*

De modo que *R. padi* es la especie que presenta una tasa intrínseca de crecimiento superior en la mayoría de condiciones ensayadas, seguida por *S. avenae* y por *M. dirhodum*. El único intérvalo de temperatura en el que *R. padi* cede la superioridad de la r_m a *S. avenae* es el correspondiente a las temperaturas más bajas del ensayo (18-19°C).

III.5.- Efecto de la temperatura sobre la longevidad de *R. padi*, *S. avenae* y *M. dirhodum*.

En relación a la LONG (Tabla III.1), en todas las condiciones *R. padi* es la especie menos longeva, seguidos por *M. dirhodum* y *S. avenae*.

El efecto de la temperatura sobre la LONG es patente, ya que en las tres especies la LONG va descendiendo según aumenta la temperatura, si se observa la diferencia de LONG entre las temperaturas más altas ensayadas para cada especie (0,4 para *R. padi*, 7,1 para *S. avenae* y 6,8 para *M. dirhodum*) se constata que el efecto de las temperaturas propias de la época estival de la zona de estudio afectan en mayor medida a *S. avenae* y *M. dirhodum* que a *R. padi*, cuya diferencia es de tan solo 0,03 días en el intérvalo 27,5-30°C.