

(045) "1997" ~ Izg

DPT. D'HORTOFRUCTICULTURA, BOTÀNICA I JARDINERIA  
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA



**COMPETENCIA ENTRE EL MARGALL (*Lolium rigidum* Gaudin) Y LA CEBADA  
(*Hordeum vulgare* L.) EN CONDICIONES DE CULTIVO MEDITERRÁNEAS**

AUTOR:

D. Jordi Izquierdo i Figarola  
Ingeniero Agrónomo

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jordi Izquierdo".

DIRECTORES:

D. Jordi Recasens Guinjuan  
Dr. en Ciencias Biológicas

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a horizontal line at the bottom.

D. César Fernández-Quintanilla Gallastegui  
Dr. en Ciencias Biológicas

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'C' followed by a horizontal line and a small dot.

LLEIDA 1996

0101-0000

## Capítulo 6

# Estudio de la competencia entre *Lolium rigidum* y cebada en Western Australia

### 6.1. Características generales.

Western Australia es el mayor de los estados australianos; con una superficie de 2.526.700 km<sup>2</sup>, es más grande que toda Europa Occidental. Geológicamente la plataforma continental de Western Australia está constituida por un substrato rocoso rígido formado por rocas metamórficas de origen precámbrico procedentes del antiguo continente de Gondwana. Los antiguos materiales han sido inmensamente erosionados y el conjunto alcanza escasa altitud. Esta inmensa meseta se halla atravesada por fracturas que delimitan bloques levantados o hundidos que forman altiplanos o depresiones. Esta meseta se halla separada de las llanuras arenosas costeras por uno de estos altiplanos, los Darling Ranges.

La actividad agrícola se desarrolla en la parte sudoeste de esta meseta interior y su localización está relacionada con la importancia relativa de las precipitaciones: cerca de los Darling Ranges, en donde las precipitaciones son aún importantes. En esta área se extiende el "wheat belt" o cinturón del trigo, con monocultivo de cereal o con rotación cereal-pastos en las áreas más lluviosas. Los cultivos están muy mecanizados, con un uso intensivo de abonos y herbicidas.

La cebada es cultivada extensivamente en todo el "wheat belt" principalmente como cultivo de grano, aunque también se utiliza como forraje verde y heno (figura 18). La mayoría de la cebada destinada a la industria cervecera es de dos carreras mientras que la dedicada a alimentación es de seis. La principal restricción a su crecimiento viene dada por la carencia de agua debido a la ausencia de lluvias que se produce en primavera y a las altas temperaturas. En toda esta área las lluvias invernales son bastante frecuentes pero prácticamente desaparecen desde mediados de primavera hasta el invierno siguiente. Bajo estas condiciones, la capacidad de la cebada de madurar en un periodo de tiempo más corto que el de otros cereales como por ejemplo el trigo, ha permitido que sea cultivada con éxito en estas áreas donde la estación de crecimiento se puede acortar debido a la falta de agua y a las altas temperaturas.

La estación de crecimiento en el sudoeste de Western Australia se extiende de mayo a octubre, ya que es el único periodo en que hay suficiente agua disponible para el desarrollo de las plantas si se tiene en cuenta la capacidad de retención de agua del suelo, el aporte por las precipitaciones y las pérdidas por evaporación.

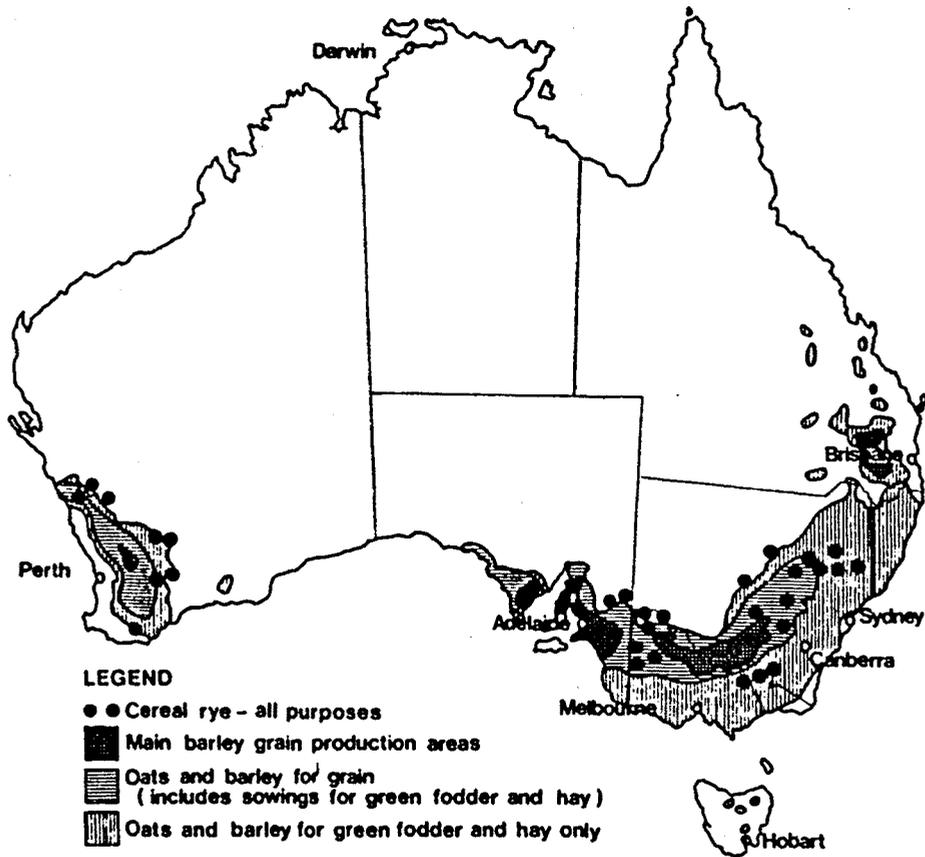


Figura 18. Distribución del cultivo de cebada para grano, forraje verde o heno en Australia según Kelleher (1988).

## 6.2. Localización del ensayo.

La experiencia se llevó a cabo en 1995 en Wongan Hills (30°54'S, 116°42'E), localidad situada a 280 m sobre el nivel del mar en la meseta interior de Western Australia. La finca en la que se realizó el ensayo pertenecía al Departamento de Agricultura de Western Australia y se hallaba a 200 km al nordeste de Perth (figura 19), dentro de la zona cerealista de este estado.

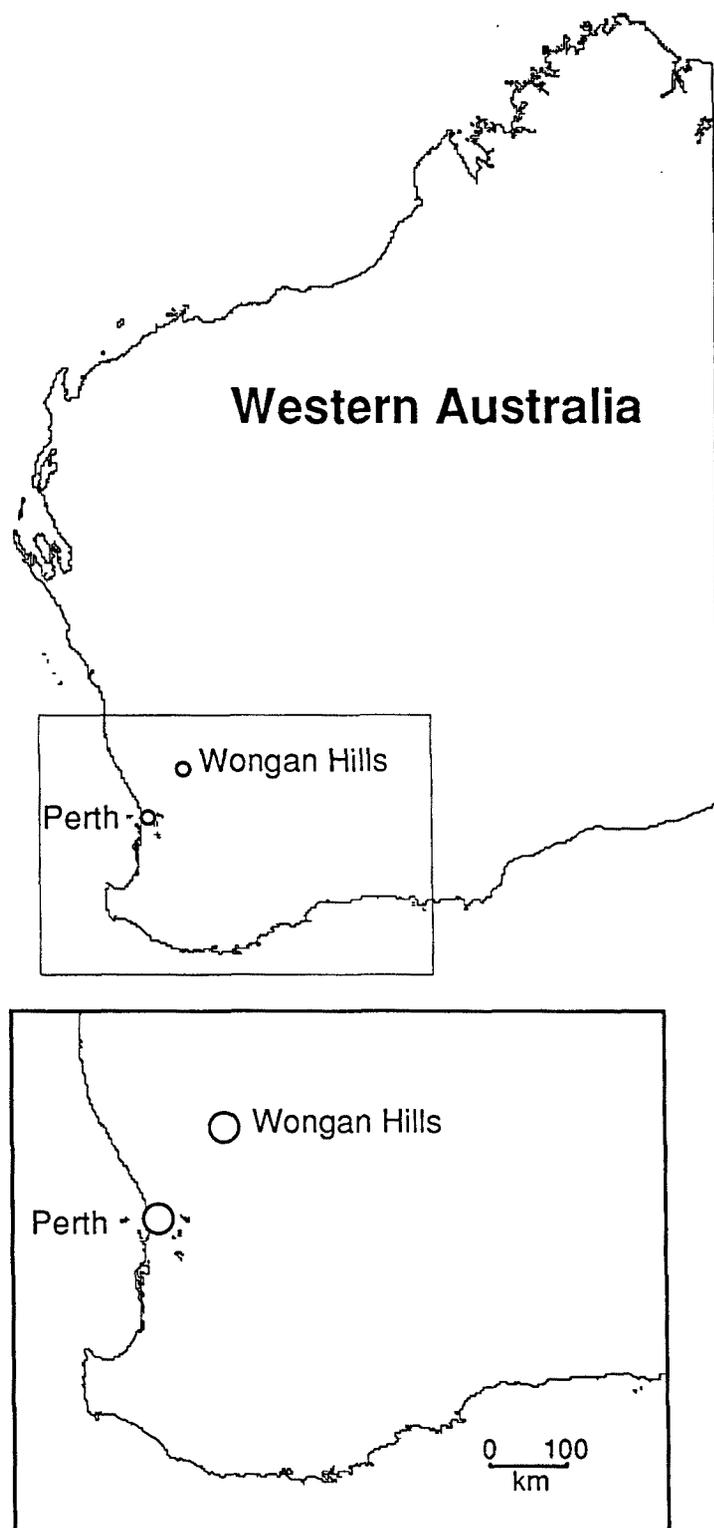
## 6.3. Caracterización del medio.

### 6.3.1. El medio edáfico.

El suelo donde se realizó el ensayo era de textura franco-arenosa, medianamente ácido y con una conductividad eléctrica muy baja (0,022 dS/m). El porcentaje de materia orgánica oxidable era muy bajo (0,36%). El contenido de potasio era medio (57 ppm) y el de fósforo alto (27 ppm) (tabla 18).

**Tabla 18.** Características químicas del suelo de Wongan Hills en donde se realizó el ensayo. El pH se ha determinado al agua en una suspensión 1:2,5; la conductividad eléctrica (CE) se ha determinado a 25°C en un extracto 1:5; el fósforo se ha determinado por el método Olsen.

Prof. cm	P ppm	K ppm	N (NH <sub>4</sub> ) ppm	CE dS/m	pH	Mat. Org. %
0-10	27	57	3	0,022	5,3	0,360
20-30	4	33	2	0,018	5,8	0,240



**Figura 19.** Localización de la estación de investigación agrícola de Wongan Hills, en donde se efectuaron los ensayos durante la campaña 1995.

### 6.3.2. Climatología.

La región cerealista de Western Australia se caracteriza por su clima de tipo mediterráneo, con veranos secos y calurosos e inviernos húmedos. La precipitación media anual oscila entre los 300 y 400 mm y es esencialmente hibernal (cuadro 7). La temperatura media máxima del mes más caluroso (enero) es de 34,4 °C y la temperatura media mínima del mes más frío (julio) es 6,5 °C. La duración media anual del periodo de helada oscila entre los 50 y 100 días.

Durante el periodo experimental se recogieron datos sobre precipitación en una estación pluviométrica situada en la misma finca. La precipitación total recogida durante este periodo fue de 228.5 mm (figura 20).

Cuadro 7. Principales estadísticos de las variables climáticas para Wongan Hills.

Variable	Valor	Desviación típica
T. media anual (°C)	18,57	7,37
T. máxima media anual (°C)	34,40	5,95
T. mínima media anual (°C)	6,50	10,56
Precipitación media anual (mm)	387	792,17

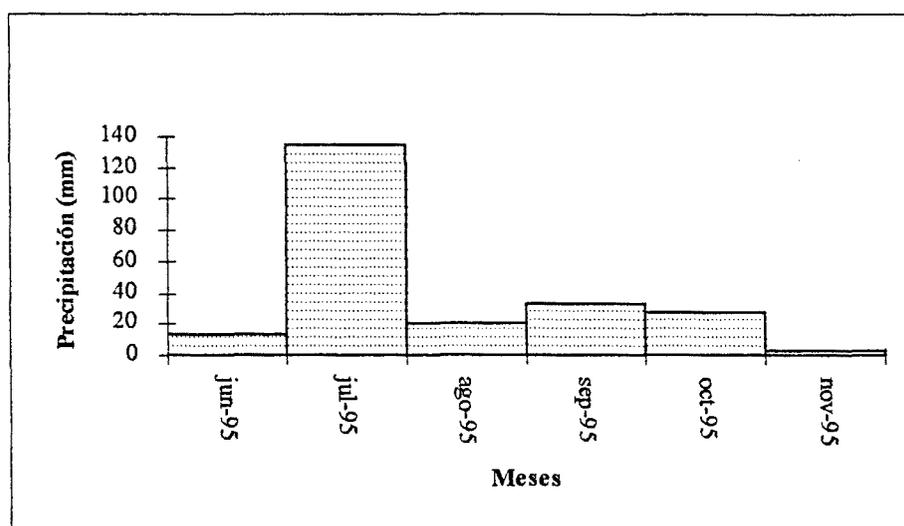


Figura 20. Pluviometría mensual de junio de 1995 hasta noviembre de 1995 en Wongan Hills.

#### 6.4. Material vegetal.

Las parcelas fueron sembradas con semillas certificadas R1 de cebada de la variedad Yagan y semillas de *L. rigidum* comercial cultivar Wimmera. La población de *L. rigidum* existente en el campo se consideró prácticamente nula. Un resumen de las principales características de la variedad de cebada utilizada viene expuesto en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Características principales de la variedad de cebada Yagan utilizada en el ensayo (Gammie, 1996).

YAGAN	
Origen	Registrada en 1989 en el Depto. de Agricultura de Western Australia. Originada en el Centro de Mejora del Trigo y Maíz, México. Pedigri: desconocido.
Destino	Alimentación.
Características	Cebada de dos carreras, de porte bajo y rápido desarrollo. Adaptada a siembras tardías en áreas con baja pluviometría. Buena retención de las espigas en condiciones adversas.
Calidad	Granos grandes, con elevado peso hectolítrico y contenido en proteínas.

## 6.5. Metodología.

### 6.5.1. Diseño experimental.

Se realizó un diseño experimental en parcelas al azar con tres repeticiones. Las densidades de siembra y las densidades aproximadas conseguidas en el campo fueron las siguientes:

- |                        |              |   |
|------------------------|--------------|---|
| a) Cebada.             | Densidad A,  | 200 kg/ha; 270 plantas/m <sup>2</sup> . |
|                        | Densidad M,  | 50 kg/ha; 110 plantas/m <sup>2</sup> .  |
|                        | Densidad B,  | 25 kg/ha; 65 plantas/m <sup>2</sup> .   |
| b) <i>L. rigidum</i> . | Control D0,  | 0 plantas/m <sup>2</sup> .              |
|                        | Densidad D1, | 100 plantas/m <sup>2</sup> .            |
|                        | Densidad D2, | 200 plantas/m <sup>2</sup> .            |
|                        | Densidad D3, | 400 plantas/m <sup>2</sup> .            |

Para obtener las densidades de *L. rigidum* requeridas se sembró un peso de semilla equivalente a la densidad de plantas deseada. Las diferentes combinaciones de densidades de cebada y margall se distribuyeron entre 36 parcelas de 1,44 x 25 m<sup>2</sup>.

La siembra del margall se realizó esparciendo las semillas sobre la superficie de cada parcela a mano e incorporándolas en el suelo por medio de un rastrillo. Al día siguiente fue sembrada la cebada utilizando una microsembradora de ensayos de 8 rejas.

### 6.5.2. Prácticas culturales.

Durante los meses previos a la siembra, se realizaron un par de aplicaciones herbicidas con glifosato (Roundup, 500 ml/ha) y un pase de cultivador a 10 cm de profundidad en el área destinada al ensayo. La siembra de *L. rigidum* se realizó el 16 de junio de 1995 y la de la cebada un día más tarde, conjuntamente con la aplicación del fertilizante (58 kg/ha de fosfato biamónico y 50 kg/ha de urea). No se realizó ninguna otra operación cultural en el campo hasta llegada la recolección. Los muestreos de cosecha se realizaron entre los días 21 y 22 de noviembre y la cosecha el 29 del mismo mes.

### 6.5.3. Estimaciones de los parámetros demográficos.

Se realizaron 2 muestreos a lo largo del año utilizando 6 cuadrados de 36 x 25 cm<sup>2</sup> lanzados al azar en las líneas centrales de cada parcela para estimar las densidades reales de plantas y espigas existentes en cada parcela.

El primer muestreo se realizó 44 días después de la siembra y en él se contaron las plantas de cebada y margall del interior de los cuadrados para tener una estimación de las densidades en cada parcela. El segundo muestreo se realizó tras el espigado de *L. rigidum* y en él se contaron las espigas de margall para estimar la densidad de las mismas.

### 6.5.4. Estimación de la cosecha.

La estimación de la cosecha se realizó a partir de las muestras que se tomaron de cada parcela cuando el cereal había completado el ciclo, al igual que se hizo en los ensayos de Lleida. El margall se hallaba casi completamente seco a la hora de realizar el muestreo.

Se utilizaron los 6 cuadrados de 36 x 25 cm<sup>2</sup> y se lanzaron en las líneas centrales de cada parcela. Se cortaron a ras de suelo todas las plantas de cebada y margall de su interior y se colocaron en bolsas por separado para ser procesadas en el laboratorio.

Las muestras de margall se secaron en la estufa a 80°C durante 36 horas y se pesaron para obtener su biomasa. De las muestras de cebada se contaron el número de espigas y posteriormente se seleccionaron 20 espigas al azar de cada muestra para contar el número de granos y obtener su peso; las espigas restantes fueron trilladas mecánicamente y se pesó el grano obtenido.

Al final de este proceso y tras hacer los cálculos pertinentes se obtuvieron datos de biomasa de *L. rigidum* y de cebada mala hierba, del número de espigas por m<sup>2</sup>, del número de granos por espiga, del peso de 1.000 granos y del rendimiento final de la cebada. Las estimaciones de la densidad de plantas y de espigas del margall se habían obtenido previamente en los dos anteriores muestreos.

### 6.5.5. Análisis estadísticos.

Se realizó el mismo tipo de análisis que los efectuados sobre los datos de los ensayos de Lleida (ver apartado 5.4.6), usando el mismo paquete estadístico Genstat versión 5.3. A modo de resumen, diremos que las relaciones entre la cebada y el margall se ajustaron a modelos rectilíneos decrecientes del tipo:

$$y=a-bx$$

donde  $y$  y  $x$  son las variables analizadas y  $a$ ,  $b$  constantes, o bien a modelos exponenciales del tipo:

$$y=a+b.r^x$$

en donde el parámetro  $b$  puede ser positivo o negativo, según la forma de la curva y  $(a+b)$  es el valor máximo de la variable  $y$ ,  $b$  es un estimador de la reducción máxima de la variable  $y$ ,  $r$  es  $\exp(-k)$  ó  $k=\ln(r)$ = constante de decrecimiento,  $bk$  es un estimador de la pendiente inicial e  $y/x$  son las variables relacionadas.

Cuando alguna de las variables analizadas resultaba que no estaba relacionada con la presencia de margall, se realizaba un análisis de varianza para determinar si había diferencias entre los valores de las diferentes densidades de siembra del cultivo.

Para estudiar el peso relativo que habían tenido los diferentes componentes del rendimiento (densidad de espigas, número de granos por espiga y peso de 1.000 granos) en la producción final del cultivo, se realizó un análisis de correlaciones entre el rendimiento y sus componentes considerando conjuntamente los datos de todas las parcelas.

## 6.6. Resultados del efecto de la densidad de cebada sobre *L. rigidum*.

### 6.6.1. Efecto sobre la biomasa.

El aumento del número de plantas de margall de 0 a 600 por m<sup>2</sup> ha conllevado que la biomasa total de la especie fuera aumentando también, siguiendo una tendencia exponencial, hasta alcanzar un cierto valor máximo a partir del cual el aumento fue prácticamente nulo. Este límite o asíntota varió en función de la densidad de siembra del cultivo (figura 21a).

Las biomásas encontradas en las parcelas estaban directamente relacionadas con la densidad de siembra del cultivo. El análisis estadístico de las curvas indicó que las tres curvas tenían pendientes iguales pero que diferían significativamente ( $P < 0.001$ ) en el límite superior (tabla 19).

El aumento de la densidad de la cebada provocó una reducción del crecimiento de las plantas de margall, de tal manera que un mismo número de plantas de margall poseía menos biomasa a medida que la densidad del cultivo era mayor.

Las diferencias fueron también importantes en la biomasa máxima que admitían las parcelas; de acuerdo con los modelos, para las densidades de siembra de 25 kg/ha del cultivo la biomasa máxima potencial de *L. rigidum* que se podría encontrar en estas parcelas sería de alrededor de 300 g/m<sup>2</sup>, mientras que para las densidades de siembra de 50 kg/ha esta cantidad se reduciría a 230 y para las densidades de 200 kg/ha apenas alcanzaría los 100 g/m<sup>2</sup>; es decir, la biomasa máxima de mala hierba se habría reducido en más de un 70 %.

Medd *et al.* (1985), en un experimento con trigo y *L. rigidum* también encontraron una gran reducción en la biomasa de margall como consecuencia de las diferentes densidades de siembra del cultivo bajo las cuales se desarrollaron éstas: para una densidad de margall concreta, la biomasa de las plantas fue 100 veces más pequeña creciendo bajo 200 plantas/m<sup>2</sup> de trigo que a 40.

### 6.6.2. Efecto sobre el número de espigas.

La densidad de espigas también aumentó de manera exponencial a medida que aumentaba la densidad de plantas, con un límite máximo diferente en función de la densidad del cultivo de la parcela (figura 21b). El análisis estadístico de las tres curvas mostró que no hay diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) en las pendientes de las curvas pero sí en los valores máximos alcanzados por éstas (tabla 19). Así, el número potencial máximo de espigas por m<sup>2</sup> de acuerdo con los modelos sería de unas 630 para las parcelas con densidades de siembra de 25 kg/ha, disminuiría

a 400 para las parcelas con densidades de 50 kg/ha y alcanzaría apenas las 120 para las parcelas con densidades de siembra de 200 kg/ha; el aumento de la densidad de siembra de 25 a 200 kg/ha provocaría una disminución del número de espigas de *L. rigidum* del orden del 70 %.

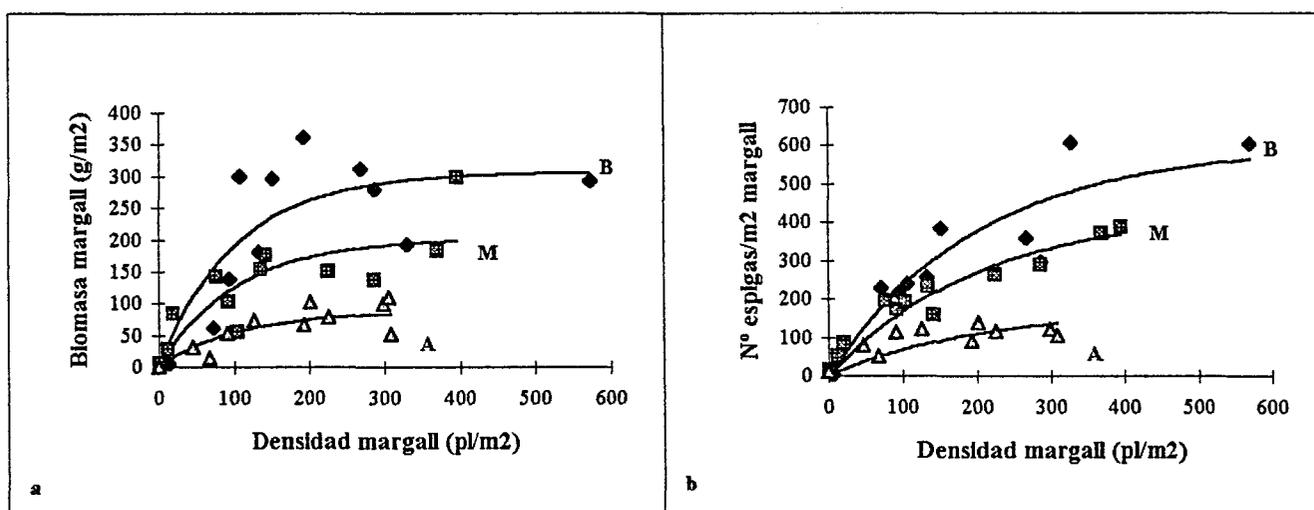


Figura 21. Relaciones entre la densidad de *Lolium rigidum* (plantas/m<sup>2</sup>) con (a) su biomasa (g/m<sup>2</sup>) y (b) su número de espigas/m<sup>2</sup> para las densidades de siembra del cultivo de 25 kg/ha (B), 50 kg/ha (M) y 200 kg/ha (A) en las 36 parcelas al final de la campaña.

**Tabla 19.** Valores de los parámetros de los modelos que se han ajustado a biomasa ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) y número de espigas por  $\text{m}^2$  de *Lolium rigidum* en función de la densidad de plantas de mala hierba para cada una de las tres densidades de siembra del cultivo (25, 50 y 200 kg/ha). *a*, *b* y *r* son los parámetros del modelo (valores con la misma letra no son significativamente diferentes); D.E. es la desviación estándar del parámetro; RMS es la suma de los cuadrados medios de los residuos del modelo.

	$y = a - b.r^x$				
	a, b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha	298,51 a	39,05	0,990 a	0,004	4945
50 kg/ha	232,35 b	49,36	0,993 a	0,003	2286
200 kg/ha	98,27 c	26,42	0,993 a	0,004	537

y: biomasa de *Lolium rigidum* ( $\text{g}/\text{m}^2$ ); x: densidad de plantas de *Lolium rigidum* (plantas/ $\text{m}^2$ ).

	$y = a - b.r^x$				
	a, b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha	627,36 a	101,51	0,996 a	0,001	5757
50 kg/ha	400,70 b	43,99	0,994 a	0,001	1250
200 kg/ha	117,65 c	16,14	0,986 a	0,006	719

y: número de espigas/ $\text{m}^2$  de *Lolium rigidum*; x: densidad plantas de *Lolium rigidum* (plantas/ $\text{m}^2$ ).

## 6.7. Resultados del efecto de la competencia de *L. rigidum* sobre la cebada.

### 6.7.1. Efecto sobre el rendimiento y las pérdidas de rendimiento.

La cosecha de cebada fue disminuyendo a medida que aumentaba la presencia de *L. rigidum*, aunque lo hizo de forma diferente según cual fuera la densidad a la que se hubiese sembrado la cebada; en las parcelas con densidad de 25 y 50 kg/ha la disminución se ajustó a una curva de tipo exponencial que no presentó diferencias significativas entre ambas densidades; en las parcelas con densidades de 200 kg/ha la disminución se ajustó a una recta (figuras 22a y b).

Según la curva resultante para las densidades de siembra de 25 y 50 kg/ha con la densidad de margall (tabla 20), la cosecha de cebada disminuyó desde los 394 g/m<sup>2</sup> obtenidos las parcelas con nula densidad de margall a los 87 g/m<sup>2</sup> de las parcelas más infestadas, lo que representa una disminución del 78 %. Se encontró igual porcentaje de reducción en la cosecha al considerar la biomasa de margall en lugar de densidad de plantas. En las densidades de siembra de cebada de 200 kg/ha, se pasó de valores de cosecha de 309 g/m<sup>2</sup> en ausencia de mala hierba a valores de 168 g/m<sup>2</sup> cuando habían 300 plantas/m<sup>2</sup> de margall, lo que significó una reducción de cosecha del 46 %.

Este diferente tipo de respuesta de la cebada, exponencial si la densidad de siembra fue de 25 o 50 kg/ha y lineal si fue de 200 kg/ha, se ha encontrado también en algunas de las otras variables que se han estudiado y que se exponen más adelante. La causa de este comportamiento puede ser parcialmente atribuida al diferente intervalo en el que se distribuyen los valores de densidad y biomasa del margall en las tres densidades de siembra del cultivo. Los valores de biomasa y densidad de margall para la densidad de siembra de 25 kg/ha se extienden sobre un intervalo más amplio que los correspondientes valores para las otras densidades, sobretudo si son comparados con la densidad de 200 kg/ha debido al efecto de supresión que la cebada ha tenido sobre el crecimiento del margall. En consecuencia, para las densidades de siembra de la cebada de 50 pero principalmente de 200 kg/ha no se dispone de altos valores de biomasa de margall que permitan fijar con exactitud el límite hacia el cual tienden las funciones como en el caso de la densidad de 25 kg/ha. Posiblemente una tendencia exponencial también sería evidente en todos los casos de ajuste lineal si se hubiesen obtenido valores de densidades y biomasa de margall mayores de los que realmente se han obtenido.

Las pérdidas de rendimiento de la cebada aumentaron siguiendo un modelo exponencial a medida que aumentaba la densidad y la biomasa de *L. rigidum*. Cuando se relacionó la pérdida de rendimiento con la densidad de mala hierba (figura 23a), la respuesta de las tres densidades de siembra del cultivo fue equivalente pero el límite máximo alcanzado por las curvas fue diferente; según los modelos, para las parcelas en las que la cebada fue sembrada a 25 kg/ha, las pérdidas de rendimiento máximas serían del 86 %, para la densidad de 50 kg/ha serían del 68 % y para 200

kg/ha del 41 %. Comparando estos valores se desprende que las pérdidas en la cebada serían casi completas si la dosis de siembra de ésta fuera de 25 kg/ha para altas densidades de mala hierba y que el hecho de aumentar la dosis hasta 200 kg/ha haría que las pérdidas se redujeran más de la mitad.

Con respecto a la pérdida de rendimiento y su relación con la biomasa de *L. rigidum* (figura 23b), el análisis de las curvas ajustadas a los puntos indica que la pendiente y el límite superior de las tres curvas no presentan diferencias significativas entre ellas, por lo que un único modelo sería suficiente para describir con precisión todos los puntos (tabla 21); según este modelo, las pérdidas máximas de rendimiento esperadas serían de un 83% con independencia de la densidad de siembra del cereal.

El efecto supresor que ha tenido la cebada sobre el crecimiento del margall ha impedido que se consiguiesen obtener parcelas con biomásas de margall elevadas. Esta ausencia de puntos alejados del origen ha dificultado determinar con exactitud el valor asintótico de las curvas obtenidas y que corresponderían a las pérdidas máximas esperadas en el cereal. Es quizá por esta ausencia de puntos de los que se ha adolecido en las densidades de siembra de la cebada de 50 y principalmente 200 kg/ha que no se han podido encontrar diferencias significativas entre las tres curvas.

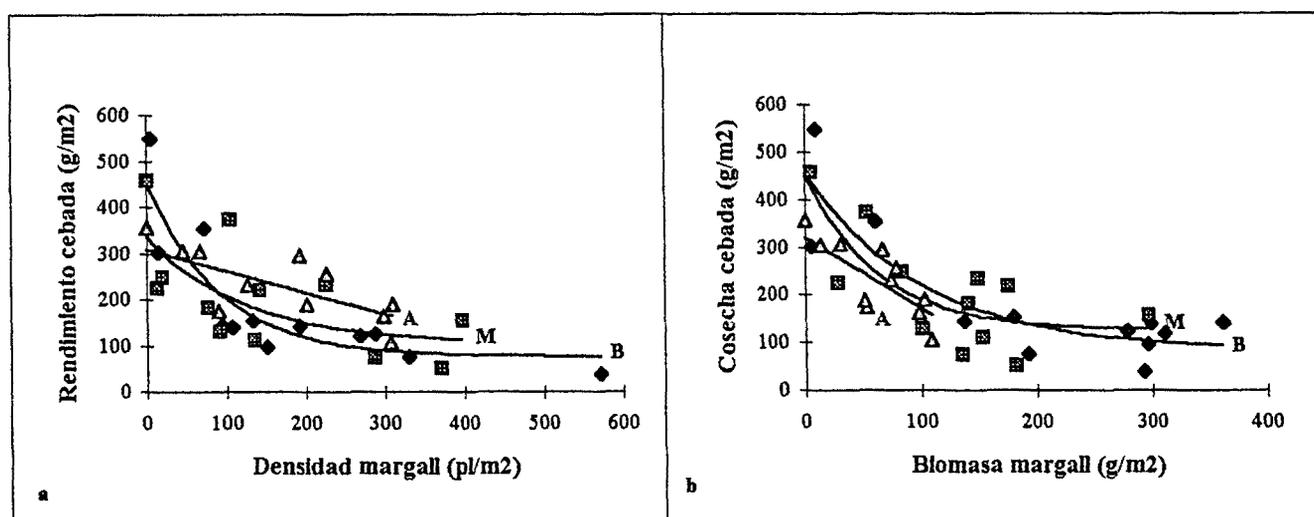


Figura 22. Efecto de (a) la densidad (plantas/m<sup>2</sup>) y (b) la biomasa (g/m<sup>2</sup>) de *Lolium rigidum* sobre el rendimiento de la cebada (g/m<sup>2</sup>) en la campaña 1995 en Wongan Hills en función de las densidades de siembra del cultivo de 25 kg/ha (B), 50 kg/ha (M) y 200 kg/ha (A), en las 36 parcelas.

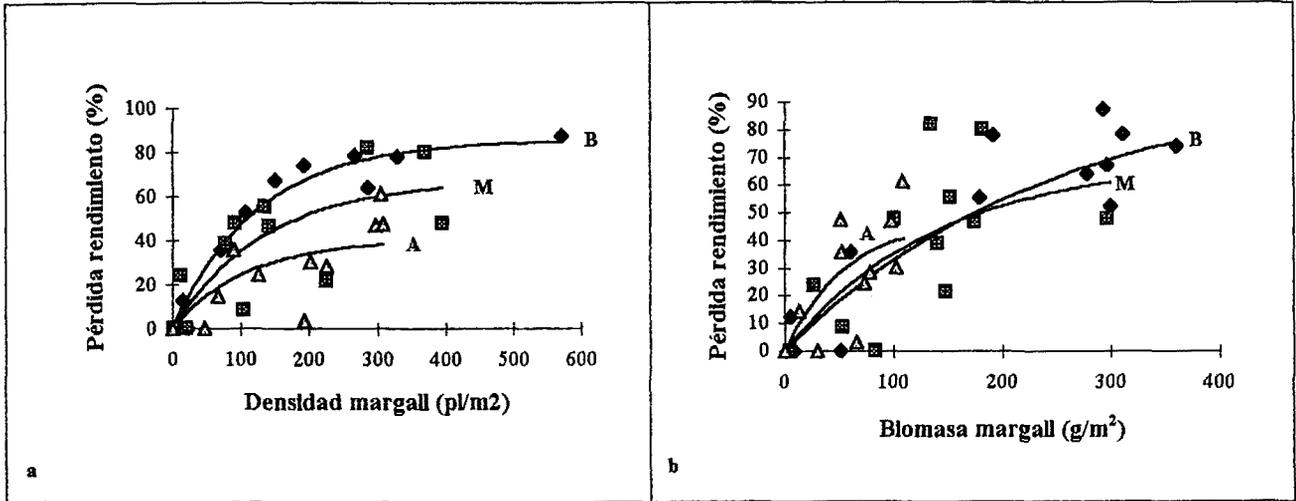


Figura 23. Efecto de (a) la densidad (plantas/m<sup>2</sup>) y (b) la biomasa (g/m<sup>2</sup>) de *Lolium rigidum* sobre las pérdidas de rendimiento de la cebada (%) en la campaña 1995 en Wongan Hills en función de las densidades de siembra del cultivo de 25 kg/ha (B), 50 kg/ha (M) y 200 kg/ha (A), en las 36 parcelas.

**Tabla 20.** Valores de los parámetros de los modelos que se han ajustado al rendimiento de la cebada ( $\text{g/m}^2$ ) en función de la densidad ( $\text{plantas/m}^2$ ) y la biomasa ( $\text{g/m}^2$ ) de *Lolium rigidum*, para cada una de las tres densidades de siembra del cultivo (25, 50 y 200 kg/ha).  $a$ ,  $b$  y  $r$  son los parámetros del modelo (valores con la misma letra no son significativamente diferentes); D.E. es la desviación estándar del parámetro; RMS es la suma de los cuadrados medios de los residuos del modelo; F representa la probabilidad del valor F (\*:  $P < 0,05$ );  $r^2$  es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo lineal.

$y = a + b.r^x$							
	a	D.E.	b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha	75,04 a	47,09	382,14 a	65,09	0,989	0,005	5478
50 kg/ha	102,55 a	92,82	233,24 a	98,25	0,992	0,009	9740
Global	87,04	59,34	305,36	82,05	0,990	0,007	7609
$y = a + bx$							
	a	D.E.	b	D.E.	F	$r^2$	CV
200 kg/ha	309,08	25,82	-0,470	0,135	*	0,55	22,05
y: rendimiento cebada ( $\text{g/m}^2$ ); x: densidad de <i>Lolium rigidum</i> ( $\text{plantas/m}^2$ ).							
$y = a + b.r^x$							
	a	D.E.	b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha	83,90 a	57,40	373,10 a	70,00	0,990	0,006	5852
50 kg/ha	124,69 a	60,82	328,97 a	88,58	0,984	0,012	6725
Global	98,14	58,95	352,13	78,95	0,988	0,008	6213
$y = a + bx$							
	a	D.E.	b	D.E.	F	$r^2$	CV
200 kg/ha	319,38	25,86	-1,476	0,383	*	0,60	20,80
y: rendimiento cebada ( $\text{g/m}^2$ ); x: biomasa de <i>Lolium rigidum</i> ( $\text{g/m}^2$ ).							

**Tabla 21.** Valores de los parámetros de los modelos que se han ajustado a las pérdidas de rendimiento de la cebada (%) en función de la densidad (plantas/m<sup>2</sup>) y la biomasa (g/m<sup>2</sup>) de *Lolium rigidum*, para cada una de las tres densidades de siembra del cultivo (25, 50 y 200 kg/ha). *a*, *b* y *r* son los parámetros del modelo (valores con la misma letra no son significativamente diferentes); D.E. es la desviación estándar del parámetro; RMS es la suma de los cuadrados medios de los residuos del modelo.

	y = a - b.r <sup>x</sup>				
	a, b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha	98,885 a	41,454	0,996 a	0,003	374
50 kg/ha	69,419 b	35,559	0,993 a	0,007	470
200 kg/ha	48,182 c	25,595	0,983 a	0,019	207

y: pérdidas de rendimiento (%); x: densidad de plantas de *Lolium rigidum* (plantas/m<sup>2</sup>).

	y = a - b.r <sup>x</sup>				
	a, b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha	85,549 a	9,262	0,992 a	0,002	182
50 kg/ha	67,580 a	17,506	0,993 a	0,004	379
200 kg/ha	40,551 a	12,808	0,991 a	0,008	246

y: pérdidas de rendimiento (%); x: biomasa de *Lolium rigidum* (g/m<sup>2</sup>).

### 6.7.2. Efecto sobre el número de espigas.

Se ha producido una reducción en el número de espigas por  $m^2$  de la cebada como consecuencia del aumento tanto de la densidad como de la biomasa de *L. rigidum* aunque la respuesta ha sido diferente dependiendo de la densidad del cultivo. En las parcelas con densidad de siembra de 25 kg/ha (B en las figuras), la reducción en el número de espigas se ha ajustado a un modelo exponencial decreciente tanto en relación con la densidad de mala hierba (figura 24a) como con su biomasa (figura 24b); sin embargo, para las densidades de siembra de 50 y 200 Kg/ha, los datos siguieron una reducción de tipo lineal con respecto la densidad y la biomasa de mala hierba. En las parcelas con densidades de siembra B, el número de espigas de cebada descendía desde 537 hasta un mínimo asintótico de 189 alcanzado alrededor de las 300 plantas/ $m^2$  ó los 300 g/ $m^2$  de margall, lo cual representó una disminución en el número de espigas del 65 %. Para las otras densidades de siembra las densidades y biomasa de margall utilizadas no fueron lo suficientemente elevadas como para fijar ese mínimo.

El número de espigas fue mayor en las parcelas con densidad de siembra del cultivo de 200 kg/ha que en las restantes. Los modelos ajustados para ambas presentaron términos independientes diferentes aunque la pendiente fue la misma (tabla 22). De hecho, aunque para las densidades de 25 kg/ha la respuesta encontrada fue de tipo exponencial y para la de 50 kg/ha fue lineal, los puntos correspondientes a ambas series de datos se distribuyeron muy cercanos unos de otros, por lo que se puede considerar que no ha habido diferencias entre ellos. Las mayores diferencias en el número de espigas debido a las densidades de siembra del cereal se encontraron entre las parcelas que tenían densidades de 200 kg/ha y el resto, pues éstas presentaron un número de espigas más bajo en general.

De acuerdo con estos resultados, parece que ha tenido lugar una competencia interespecífica entre la cebada y el margall y otra intraespecífica entre la propia cebada que han hecho disminuir el número de espigas pero sin que se halla notado ninguna interacción triple número de espigas/densidad de siembra del cultivo/mala hierba: no por el hecho de aumentar la densidad de siembra del cultivo la reducción del número de espigas ha sido menor.

Por la componente del rendimiento afectada (el número de espigas), se deduce que la competencia entre las plantas tuvo lugar en un período temprano del ciclo de éstas y que se estableció por nutrientes, principalmente nitrógeno, que es el elemento más absorbido durante estas fases iniciales de desarrollo.

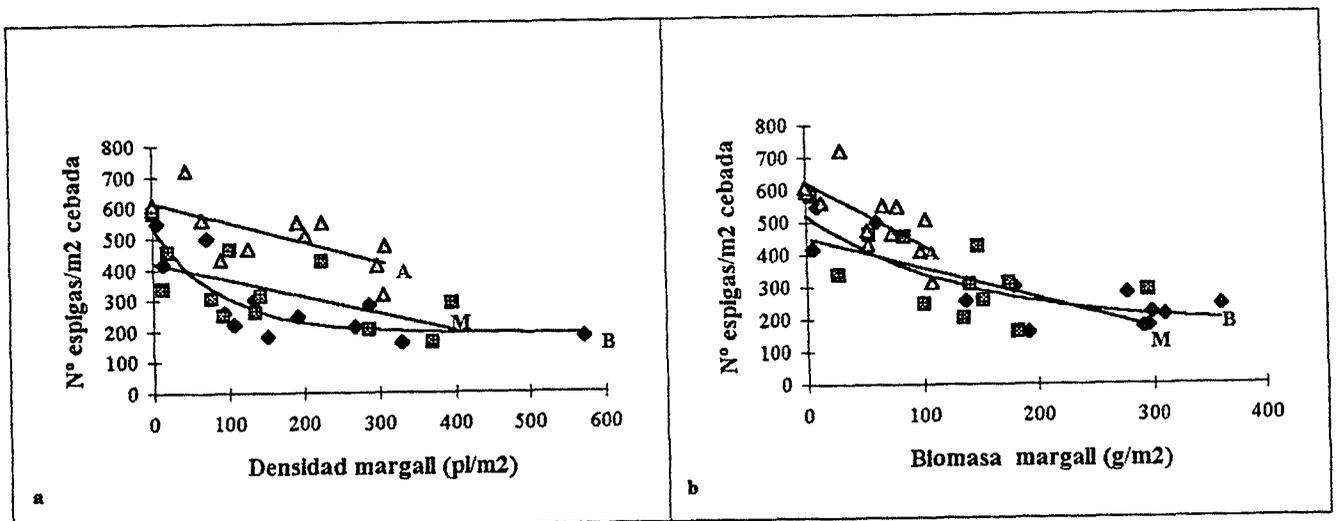


Figura 24. Efecto de (a) la densidad (plantas/m<sup>2</sup>) y (b) la biomasa (g/m<sup>2</sup>) de *Lolium rigidum* sobre el número de espigas por m<sup>2</sup> de la cebada en la campaña 1995 en Wongan Hills en función de las densidades de siembra del cultivo de 25 kg/ha (B), 50 kg/ha (M) y 200 kg/ha (A), en las 36 parcelas.

**Tabla 22.** Valores de los parámetros de los modelos que se han ajustado al número de espigas por m<sup>2</sup> de la cebada en función de la densidad (plantas/m<sup>2</sup>) y la biomasa (g/m<sup>2</sup>) de *Lolium rigidum*, para cada una de las tres densidades de siembra del cultivo (25, 50 y 200 kg/ha). *a*, *b* y *r* son los parámetros del modelo (valores con la misma letra no son significativamente diferentes); D.E. es la desviación estándar del parámetro; F representa la probabilidad del valor F (\*:  $P < 0,05$ ); RMS es la suma de los cuadrados medios de los residuos del modelo exponencial;  $r^2$  es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo lineal.

y = a + b.r <sup>x</sup>							
	a	D.E.	b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha	188,90	49,00	348,20	73,70	0,989	0,006	5820
y = a + bx							
	a	D.E.	b	D.E.	F	r <sup>2</sup>	CV
50 kg/ha	443,409 a	43,660	-0,634 a	0,216	*	0,46	28,29
200 kg/ha	613,436 b	39,574	-0,636 a	0,207	*	0,49	15,50
y: número de espigas/m <sup>2</sup> de cebada; x: densidad de <i>Lolium rigidum</i> (plantas/m <sup>2</sup> ).							
y = a + b.r <sup>x</sup>							
	a	D.E.	b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha	174,20	84,00	344,80	81,50	0,993	0,005	4783
y = a + bx							
	a	D.E.	b	D.E.	F	r <sup>2</sup>	CV
50 kg/ha	476,379 a	52,886	-1,060 a	0,362	*	0,46	28,34
200 kg/ha	622,661 b	41,985	-1,913 a	0,622	*	0,49	15,49
y: número de espigas/m <sup>2</sup> de cebada; x: biomasa de <i>Lolium rigidum</i> (g/m <sup>2</sup> ).							

## 6.7.3. Efecto sobre el número de granos por espiga.

El número de granos por espiga de la cebada no resultó afectado por la competencia del margall en ninguna de las tres densidades de siembra del cultivo (figuras 25a y b). El análisis de regresión efectuado indicó que no hay una relación significativa entre la variable número de granos y la presencia de margall en ninguno de los casos (tabla 23).

Un análisis de varianza realizado para todos los datos conjuntamente con el objetivo de ver si había diferencias entre el número de granos en función de la densidad de siembra de la cebada, indicó que las espigas encontradas en las parcelas con densidades de cultivo de 25 y 50 kg/ha presentaron un número medio de granos semejante ( $y_{25}=14,75$ ;  $y_0=14,00$ ) y que era significativamente mayor que el correspondiente al de la densidad de 200 kg/ha ( $y_{200}=11,09$ ).

De acuerdo con estos resultados, parece ser que la única competencia que ha tenido lugar en las parcelas ha sido de tipo intraespecífico, entre las propias plantas de cebada, por la reducción que ha experimentado el número de granos de las espigas al aumentar la densidad de siembra del cultivo, sin que la presencia del margall tuviera ningún efecto observable.

Rerkasem *et al.* (1980c) también encontraron en un experimento con trigo y *L. rigidum* que cuando la competencia mala hierba/cultivo era muy débil, el efecto intraespecífico adquiría mucha más importancia.

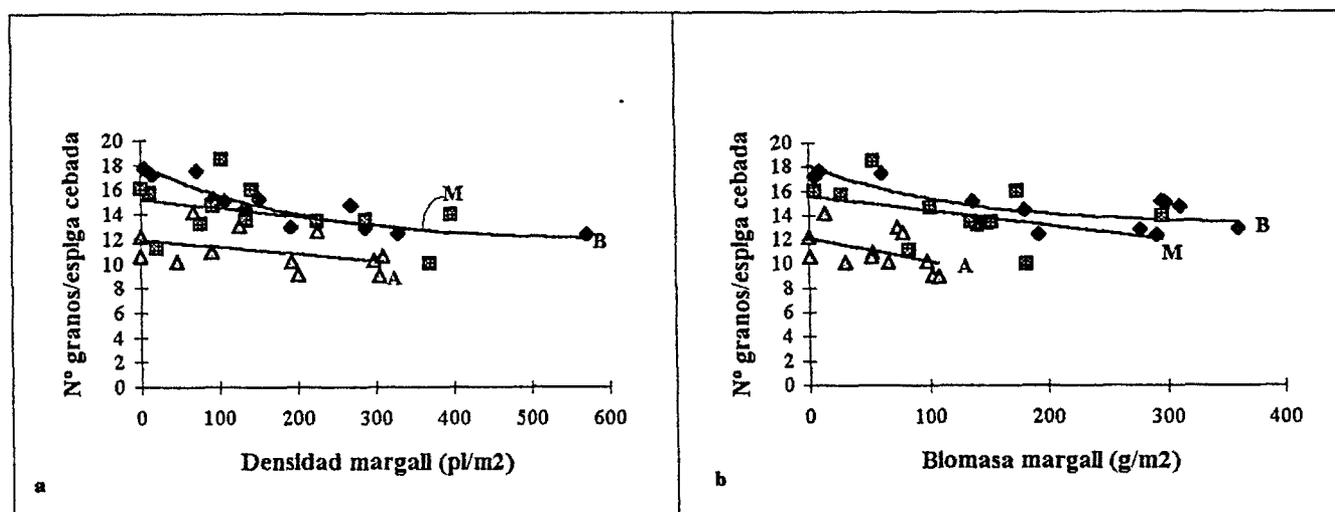


Figura 25. Efecto de (a) la densidad ( $\text{plantas/m}^2$ ) y (b) la biomasa ( $\text{g/m}^2$ ) de *Lolium rigidum* sobre el número de granos por espiga de la cebada en la campaña 1995 en Wongan Hills en función de las densidades de siembra del cultivo de 25 kg/ha (B), 50 kg/ha (M) y 200 kg/ha (A), en las 36 parcelas.

**Tabla 23.** Valores de los parámetros de los modelos que se han ajustado al número de granos por espiga de la cebada en función de la densidad (plantas/m<sup>2</sup>) y la biomasa (g/m<sup>2</sup>) de *Lolium rigidum*, para cada una de las tres densidades de siembra del cultivo (25, 50 y 200 kg/ha). *a*, *b* y *r* son los parámetros del modelo (valores con la misma letra no son significativamente diferentes); S.E. es el error estándar del parámetro; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo); RMS es la suma de los cuadrados medios de los residuos del modelo exponencial; *r*<sup>2</sup> es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo lineal.

	y = a + bx						
	a	D.E.	b	D.E.	F	r <sup>2</sup>	CV
25 kg/ha	17,09	0,38	-0,116	0,024	n.s.	---	---
50 kg/ha	14,71	0,97	-0,006	0,005	n.s.	---	---
200 kg/ha	11,92	0,78	-0,005	0,004	n.s.	---	---
y: número de granos/espiga de cebada; x: densidad de <i>Lolium rigidum</i> (plantas/m <sup>2</sup> ).							
	y = a + bx						
	a	D.E.	b	D.E.	F	r <sup>2</sup>	CV
25 kg/ha	17,63	0,44	-0,135	0,035	n.s.	---	---
50 kg/ha	14,91	1,18	-0,009	0,008	n.s.	---	---
200 kg/ha	12,22	0,79	-0,020	0,011	n.s.	---	---
y: número de granos/espiga de cebada; x: biomasa de <i>Lolium rigidum</i> (g/m <sup>2</sup> ).							

#### 6.7.4. Efecto sobre el peso de 1.000 granos.

El peso final de los granos de cebada resultó afectado por la presencia de *L. rigidum* ya que en todas las parcelas se produjo una disminución del peso a medida que aumentaba la cantidad de mala hierba presente (figuras 26a y b). Los datos se ajustaron mayoritariamente a un modelo lineal, excepto para la relación entre el peso y la densidad de mala hierba en las parcelas con densidades de cultivo de 25 kg/ha, cuyos puntos se ajustaron mejor a un modelo exponencial (tabla 24). Aún teniendo en cuenta este diferente tipo de respuesta, todos los puntos se distribuyeron de forma muy homogénea siguiendo una tendencia decreciente tal como se observa en los gráficos. Un análisis comparativo de los modelos lineales mostró que no había diferencias significativas entre ellos y aunque no se pudieron comparar con el modelo exponencial no parece que, a la vista del gráfico, haya tampoco diferencias. De hecho, el modelo global ajustado para todos los puntos es altamente significativo, lo que refuerza la anterior hipótesis.

No se ha conseguido determinar la reducción máxima esperada pues no se ha podido delimitar el límite inferior de las funciones, sin embargo el peso de 1000 granos disminuyó alrededor de un 20 % al aumentar la densidad de plantas de margall de 0 a 500 por m<sup>2</sup> y al aumentar la biomasa de margall de 0 hasta 300 g/m<sup>2</sup>, según el modelo conjunto ajustado para todos los datos.

Estos resultados indican que se ha producido una competencia entre el margall y la cebada en el momento del llenado de los granos que trajo como consecuencia una pérdida de peso de éstos. Como ha sido la variable del peso del grano la afectada, esta competencia se ha tenido que producir después de la anthesis y ha debido de estar relacionada con la absorción de agua por parte de la cebada. Esta menor absorción de agua ha debido afectar a la traslocación de asimilados de los órganos de la planta hasta el grano, originando granos más pequeños.

El hecho de que no haya diferencias entre las densidades de siembra del cultivo indica que la densidad de siembra no parece haber tenido ninguna influencia en la determinación del peso de los granos ni en disminuir el efecto de la competencia ejercida por el margall en el momento del llenado.

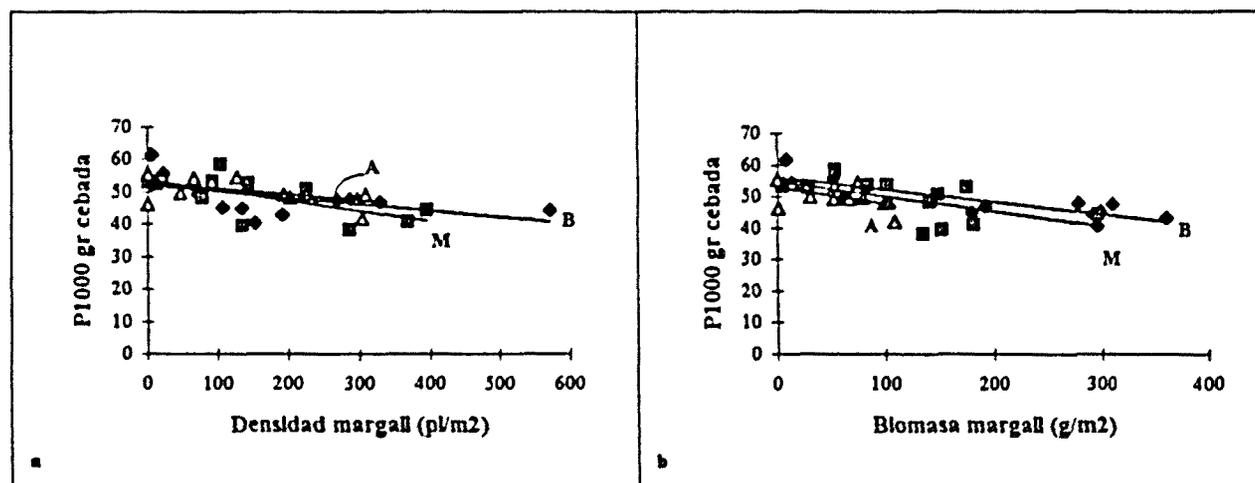


Figura 26. Efecto de (a) la densidad (plantas/m<sup>2</sup>) y (b) la biomasa (g/m<sup>2</sup>) de *Lolium rigidum* sobre el peso de 1000 granos de cebada (g) en la campaña 1995 en Wongan Hills en función de las densidades de siembra del cultivo de 25 kg/ha (B), 50 kg/ha (M) y 200 kg/ha (A), en las 36 parcelas.

**Tabla 24.** Valores de los parámetros de los modelos que se han ajustado al peso de 1.000 granos de la cebada en función de la densidad (plantas/m<sup>2</sup>) y la biomasa (g/m<sup>2</sup>) de *Lolium rigidum*, para cada una de las tres densidades de siembra del cultivo (25, 50 y 200 kg/ha) y considerando todas ellas conjuntamente (global). *a* y *b* son los parámetros del modelo (valores con la misma letra no son significativamente diferentes); D.E. es la desviación estándar del parámetro; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo; \*:  $P < 0,05$ ; \*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*\*:  $P < 0,001$ );  $r^2$  es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo.

		y = a + b.r <sup>x</sup>						
		a	D.E.	b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha		45,07	1,01	18,46	3,78	0,969	0,015	7
		y = a + bx						
		a	D.E.	b	D.E.	F	r <sup>2</sup>	CV
50 kg/ha		53,54 a	2,31	-0,032 a	0,011	*	0,43	10,54
200 kg/ha		52,76 a	1,67	-0,019 a	0,009	n.s.	---	---
Global		52,75	1,18	-0,023	0,006	**	0,34	9,15
y: peso de 1.000 granos cebada (g); x: densidad de <i>Lolium rigidum</i> (plantas/m <sup>2</sup> ).								
		y = a + bx						
		a	D.E.	b	D.E.	F	r <sup>2</sup>	CV
25 kg/ha		55,75 a	1,84	-0,038 a	0,008	***	0,70	7,14
50 kg/ha		54,47 a	3,15	-0,047 a	0,022	*	0,32	11,55
200 kg/ha		52,68 a	1,86	-0,050 a	0,028	n.s.	---	---
Global		52,95	1,13	-0.032	0,007	***	0,38	8,86
y: peso de 1.000 granos cebada (g); x: biomasa de <i>Lolium rigidum</i> (g/m <sup>2</sup> ).								

#### 6.7.5. Efecto sobre la biomasa total de cebada.

La biomasa total final del cultivo fue significativamente afectada en todas las densidades de siembra, experimentando una reducción a medida que aumentaba la presencia de la mala hierba (figuras 27a y b).

No ha habido un efecto diferencial de la densidad de cebada sobre la interacción margall/cebada. A pesar de que en las parcelas con densidad de siembra de 25 kg/ha la reducción experimentada por la biomasa de cebada se ajustara a una curva de tipo exponencial y para el resto de densidades se ajustara a una recta, el análisis de los datos reveló que no había diferencias significativas entre las tres densidades de siembra del cultivo (tabla 25). De hecho para las densidades de 50 y 200 kg/ha sería esperable una relación exponencial semejante a la encontrada para la de 25 kg/ha si las densidades y biomasa del margall en las parcelas hubieran sido suficientemente elevadas.

De acuerdo con el modelo ajustado para todos los puntos relacionando biomasa de cebada y densidad de margall, la biomasa del cultivo pasó de 746 g/m<sup>2</sup> en ausencia de mala hierba a 122 g/m<sup>2</sup> para densidades superiores a 500 plantas/m<sup>2</sup>. Sin embargo hay que tomar con reservas este último valor ya que el límite inferior de la curva ( $\alpha=122$ ) no ha sido estimado con mucha precisión pues su desviación estándar (254,93) excede su propio valor (122,47). Esto es debido a que sólo hay un único dato que determine el valor al cual tiende la función para densidades altas de mala hierba. Esta ausencia de datos hace que la asíntota inferior de la función esté pobremente definida. En cambio, en el modelo que incorpora la biomasa de la mala hierba, la existencia de más datos alejados del origen permitió establecer con más precisión el valor de la asíntota inferior por lo que la desviación estándar del parámetro (77,32) es claramente menor que el valor del propio parámetro (266,09). En este caso se puede estar más seguro de la fiabilidad del valor.

Si se toma el modelo ajustado entre la biomasa del cultivo y la de la mala hierba, la biomasa de la cebada disminuyó de 827 g/m<sup>2</sup> en ausencia de mala hierba hasta 266 g/m<sup>2</sup> para altas infestaciones de margall, siendo esta cifra el valor mínimo de biomasa al que el cultivo hubiera tendido a altas infestaciones. En términos porcentuales, se produjo una disminución del 68 %.

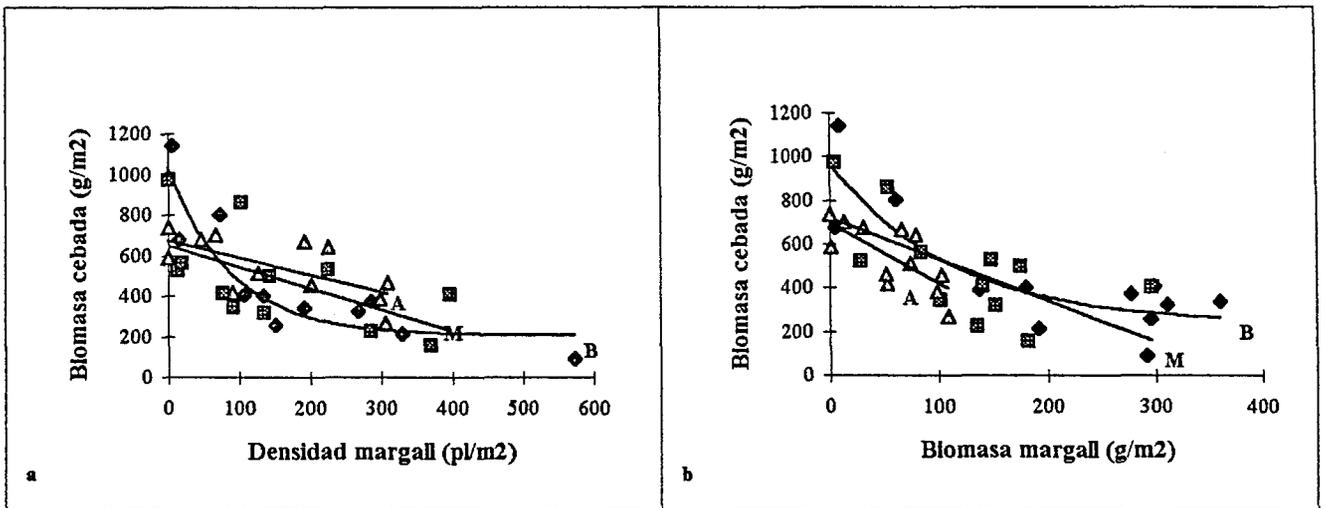


Figura 27. Efecto de (a) la densidad (plantas/m<sup>2</sup>) y (b) la biomasa (g/m<sup>2</sup>) de *Lolium rigidum* sobre la biomasa de la cebada (g/m<sup>2</sup>) en la campaña 1995 en Wongan Hills en función de las densidades de siembra del cultivo de 25 kg/ha (B), 50 kg/ha (M) y 200 kg/ha (A), en las 36 parcelas.

31  
 279 / 76  
 109  
 ↓

**Tabla 25.** Valores de los parámetros de los modelos que se han ajustado a la biomasa total de la cebada ( $\text{g/m}^2$ ) en función de la densidad ( $\text{plantas/m}^2$ ) y la biomasa ( $\text{g/m}^2$ ) de *Lolium rigidum*, para cada una de las tres densidades de siembra del cultivo (25, 50 y 200 kg/ha) y todas ellas conjuntamente (global). *a*, *b* y *r* son los parámetros del modelo (valores con la misma letra no son significativamente diferentes); D.E. es la desviación estándar del parámetro; F representa la probabilidad del valor F (\*:  $P < 0,05$ ; \*\*:  $P < 0,01$ ); RMS es la suma de los cuadrados medios de los residuos del modelo exponencial;  $r^2$  es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo lineal.

		y = a + bx						
		a	D.E.	b	D.E.	F	$r^2$	CV
50 kg/ha		661,44 a	88,16	-1,11 a	0,44	*	0,39	40,31
200 kg/ha		672,72 a	57,20	-0,85 a	0,30	*	0,44	21,31
		y = a + b.r <sup>x</sup>						
		a	D.E.	b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha		204,50	95,60	823,00	141,00	0,989	0,004	21462
Global		122,47	254,93	623,73	236,14	0,996	0,003	27819
y: biomasa de cebada ( $\text{g/m}^2$ ); x: densidad de <i>Lolium rigidum</i> ( $\text{plantas/m}^2$ ).								
		y = a+ bx						
		a	D.E.	b	D.E.	F	$r^2$	CV
50 kg/ha		726,95 a	104,37	-1,92 a	0,71	*	0,42	39,46
200 kg/ha		696,76 a	56,40	-2,75 a	0,84	**	0,52	19,78
		y = a+ b.r <sup>x</sup>						
		a	D.E.	b	D.E.	r	D.E.	RMS
25 kg/ha		235,00	141,00	738,00	157,42	0,991	0,006	26441
Global		266,09	77,32	560,59	85,40	0,990	0,004	22885
y: biomasa de cebada ( $\text{g/m}^2$ ); x: biomasa de <i>Lolium rigidum</i> ( $\text{g/m}^2$ ).								

### 6.8. Relación entre el rendimiento y los componentes del rendimiento de la cebada.

El análisis de correlación entre el rendimiento y sus componentes, considerando los datos de todas las parcelas conjuntamente, mostró que tanto el número de espigas, el número de granos por espiga y el peso de 1000 granos estaban correlacionados con el rendimiento (tabla 26). Las variables más correlacionadas fueron el número de espigas ( $r=0,80$ ) y el peso de 1.000 granos ( $r=0,78$ ) y en menor medida, el número de granos por espiga ( $r=0,45$ ). Sin embargo, como las correlaciones entre el peso de 1000 granos con el número de espigas ( $r=0,59$ ) y número de granos por espiga ( $r=0,44$ ) fueron significativas, para cuantificar el peso real que tuvieron estos dos componentes sobre el rendimiento final de la cebada fue preciso calcular sus correlaciones parciales con el rendimiento (tabla 27).

El índice de correlación parcial entre rendimiento y número de espigas considerando constante el peso de 1.000 granos ( $r=0,67$ ) mostró que continuaba existiendo una relación entre ambas variables altamente significativa. Los índices de correlación entre rendimiento y peso de 1.000 granos considerando constante el número de espigas ( $r=0,64$ ) y el número de granos ( $r=0,73$ ) también manifestaron una elevada correlación, en conformidad con los coeficientes de correlación totales obtenidos anteriormente. No fue significativo en cambio el índice de correlación parcial entre rendimiento y número de granos por espiga considerando como constante el peso de 1.000 granos ( $r=0,18$ ), confirmando que este componente, el número de granos por espiga, tuvo poca incidencia sobre el rendimiento.

El hecho de que el número de espigas por  $m^2$  y el peso de 1000 granos sean los componentes del rendimiento que han resultado estar más correlacionados con el rendimiento final concuerda con los resultados presentados en los apartados anteriores, en el sentido de que estos mismos componentes resultaron ser los más afectados por la competencia del margall.

En resumen, cerca del 45 % de la variabilidad observada en el rendimiento fue explicada por el número de espigas; cerca del 41 % por el peso de 1.000 granos y el resto atribuible a otras causas que conformarían el error experimental.

La regresión múltiple entre el rendimiento (en  $g/m^2$ ) y los componentes del mismo fue:

$$\text{Rendimiento} = 0,5742 \text{ N}^\circ \text{ espigas}/m^2 + 19,03 \text{ N}^\circ \text{ granos}/\text{espiga} + 3,19 \text{ Peso } 1000\text{gr} - 417,4$$

$$R^2 \text{ (ajustada)} = 89,9.$$

Sin embargo el peso de 1000 granos no ha resultado ser significativo en la ecuación, seguramente por su alta correlación con las otras dos variables, por lo que la regresión múltiple queda finalmente como:

$$\text{Rendimiento} = 0,6528 \text{ N}^{\circ} \text{ espigas/m}^2 + 21,83 \text{ N}^{\circ} \text{ granos/espiga} - 328,8$$

$$R^2 \text{ (ajustada)} = 89,3.$$

**Tabla 26.** Matriz de correlación del rendimiento y los componentes del rendimiento de la cebada para las 36 parcelas.

	Número espigas	Granos por espiga	Peso 1.000 gr	Rendimiento
Número espigas	1,000			
Granos por espiga	-0,080 n.s.	1,000		
Peso 1.000 granos	0,588 ***	0,439 **	1,000	
Rendimiento	0,799 ***	0,445 **	0,781 ***	1,000

\*\* :  $P < 0,01$ ; \*\*\* :  $P < 0,001$ ; n.s.: no significativo.

**Tabla 27.** Matriz de correlaciones parciales entre el rendimiento de la cebada y los componentes del rendimiento que han resultado estar correlacionados entre sí.

	Número espigas	Peso 1000 granos	Granos por espiga	Peso 1000 granos
Rendimiento	0,67	0,64	0,18	0,73
Variable constante	Peso 1000 granos	Número espigas	Peso 1000 granos	Granos por espiga

## 6.9. Conclusiones del ensayo de Western Australia.

1. La densidad de siembra de la cebada afectó al crecimiento de *L. rigidum*, consiguiendo reducir la biomasa y el número de espigas de las plantas de margall del orden de un 70 % al aumentar la densidad de siembra del cultivo.

2. Las pérdidas de rendimiento de la cebada ante altas infestaciones de *L. rigidum* oscilaron entre el 41 % de las parcelas con alta densidad de siembra de cebada y el 86 % de las parcelas con bajas densidades. Debido a que el crecimiento de *L. rigidum* fue menor en las parcelas con altas densidades de siembra del cultivo, las pérdidas de rendimiento de la cebada en estas parcelas fueron siempre inferiores a las restantes.

3. Los componentes del rendimiento más afectados por la competencia de *L. rigidum* fueron el número de espigas y el peso de 1000 granos, los cuales experimentaron reducciones máximas de hasta un 65 % y un 20 % respectivamente.

4. La disminución del número de espigas en el cultivo sugiere que se produjo una competencia por nutrientes entre *L. rigidum* y el cereal en el momento del ahijado de las plantas. La disminución en el peso de 1000 granos de la cebada sugiere que se produjo una competencia por agua entre ambas especies en el momento del llenado del grano.

5. El aumento de la densidad de siembra de cebada permitió reducir las pérdidas de rendimiento del cultivo por un lado y el número de espigas de *L. rigidum* por otro. Este segundo aspecto es particularmente interesante ya que confirma los datos obtenidos en Lleida en el sentido de que también resulta afectada la capacidad reproductiva de *L. rigidum*, con el consiguiente efecto beneficioso que esto reportaría sobre la siguiente campaña por la reducción de la cantidad de semillas que se incorporarían al suelo.

6. El análisis de correlaciones confirmó que los componentes del rendimiento que influyeron más en la caída observada en el rendimiento final de la cebada fueron el número de espigas y el peso de 1000 granos; ambos componentes explicaron un 86 % de la variación observada en la cosecha de cebada.

## Capítulo 7

### Análisis comparativo de la interacción entre *L. rigidum* y cebada en ambos territorios

#### 7.1. Introducción.

En este capítulo se ha realizado una comparación de los resultados de los ensayos de competencia realizados en Lleida y Wongan Hills. El estudio comparativo del efecto de la cebada sobre la biomasa de *L. rigidum* se ha realizado con los datos de las campañas 93/94 y 94/95 en Lleida y la campaña 95 en Wongan Hills ya que en estas tres campañas se observó un efecto del cultivo sobre la mala hierba. Para el estudio del efecto de *L. rigidum* sobre el rendimiento del cultivo se han utilizado los datos de la campaña 94/95 en Lleida y los de la 95 en Wongan Hills ya que en la campaña 93/94 de Lleida no se observó ningún efecto de competencia tal y como quedó reflejado en el capítulo 5.

En el momento de comparar los ensayos hay que tener en cuenta que hubo algunas diferencias de partida entre ambas localidades. En Australia se utilizó una variedad de 2 carreras mientras que en Lleida fue de 6; el suelo en donde se realizaron los ensayos en Australia fue franco arenoso mientras que en Lleida era franco, con las diferencias que esto implica en cuanto a la capacidad de retención de agua; las densidades de siembra de la cebada también fueron diferentes en ambas localidades.

Debido a estas diferentes condiciones de ensayo, no se ha realizado una comparación detallada de los resultados sino que sólo se han pretendido indicar los comportamientos generales y tendencias de la interacción de *L. rigidum* con la cebada, mostrando los comportamientos generales similares de la interacción en ambas localidades.

Con el fin de superar los problemas relativos al uso de diferentes densidades de margall y del cultivo utilizadas en Lleida y Wongan Hills, se han definido dos nuevas variables llamadas densidad relativa de margall (Drm) y biomasa relativa de margall (Brm). Estas variables se han definido como:

$$\text{Drm (\%)} = \text{densidad margall} / (\text{densidad margall} + \text{densidad cebada})$$

$$\text{Brm (\%)} = \text{biomasa margall} / (\text{biomasa margall} + \text{biomasa cebada})$$

Estas variables incorporan en sí mismas el efecto de las densidades empleadas y se han utilizado en las comparaciones realizadas entre ambas localidades en cuanto a la biomasa obtenida de *L. rigidum* y al rendimiento, el número de espigas y la biomasa de la cebada. El resto de componentes del rendimiento de la cebada no se han comparado debido a que en Lleida no resultaron afectados por la competencia.

## 7.2. Efecto de la cebada sobre la biomasa de *L. rigidum*.

Aunque las plantas de *L. rigidum* experimentaron un mayor crecimiento en el ensayo de la campaña 94/95 de Lleida (curva L2 en figura 28a) que en los otros dos ensayos realizados, en ese ensayo también hubo un mayor crecimiento de la cebada por lo que en términos relativos no se apreciaron diferencias significativas entre la biomasa de margall de los tres ensayos llevados a cabo (figura 28b) (tabla 28). A pesar de que las variedades de cebada y de *L. rigidum* utilizadas en Lleida y Wongan Hills eran diferentes, su capacidad competitiva *per se* no resultó ser muy diferente y aunque no es excluible que haya habido algún efecto debido a ese diferente origen, en términos generales el comportamiento de las plantas fue similar y las principales diferencias observadas se debieron a los tratamientos realizados más que a las variedades utilizadas.

En todos los ensayos, la biomasa de margall aumentó de forma exponencial al incrementarse su densidad de plantas aunque con algunas diferencias entre densidades de siembra y campañas (figura 29). En Australia las plantas que crecían a bajas densidades ( $< 200$  plantas/m<sup>2</sup>) tuvieron un crecimiento mayor que en Lleida, originando individuos con mayor biomasa. La biomasa máxima del margall en Wongan Hills se alcanzó a una menor densidad de plantas (a partir de las 250 plantas/m<sup>2</sup> aproximadamente) en relación con Lleida (aproximadamente a partir de las 700 plantas/m<sup>2</sup>).

La biomasa de margall originada por una misma densidad de mala hierba se vio siempre reducida al aumentar la densidad de siembra del cereal (figura 29). En consecuencia, la biomasa máxima de margall que se podía encontrar en una parcela también dependió de la densidad de siembra del cereal y fue menor cuanto mayor era la densidad de siembra de éste. Si comparamos los valores de las biomásas máximas indicadas por los modelos para cada densidad de siembra del cereal en cada campaña y localidad (tabla 29), los porcentajes en que disminuyen al doblar las densidades del cereal cuando éstas densidades son menores de 150 kg/ha oscilan entre el 18 y 23 % tanto en Lleida como en Wongan Hills, mientras que el porcentaje aumenta hasta el 38 % cuando las densidades del cereal son superiores a 150 kg/ha. Es decir, parece que el efecto sobre la biomasa de margall al doblar la densidad de siembra del cultivo cuando ésta es elevada es mayor que si ésta es relativamente baja, pues entonces quedan muy pocos espacios libres de suelo para permitir el desarrollo del margall.

Aunque el valor de estas cifras absolutas es relativo pues harían falta más datos con los que ser contrastados, sí que muestran que se pueden conseguir reducciones significativas en la biomasa del margall haciendo que el cultivo nazca homogéneamente en todo el campo y evitando zonas con baja densidad de plantas.

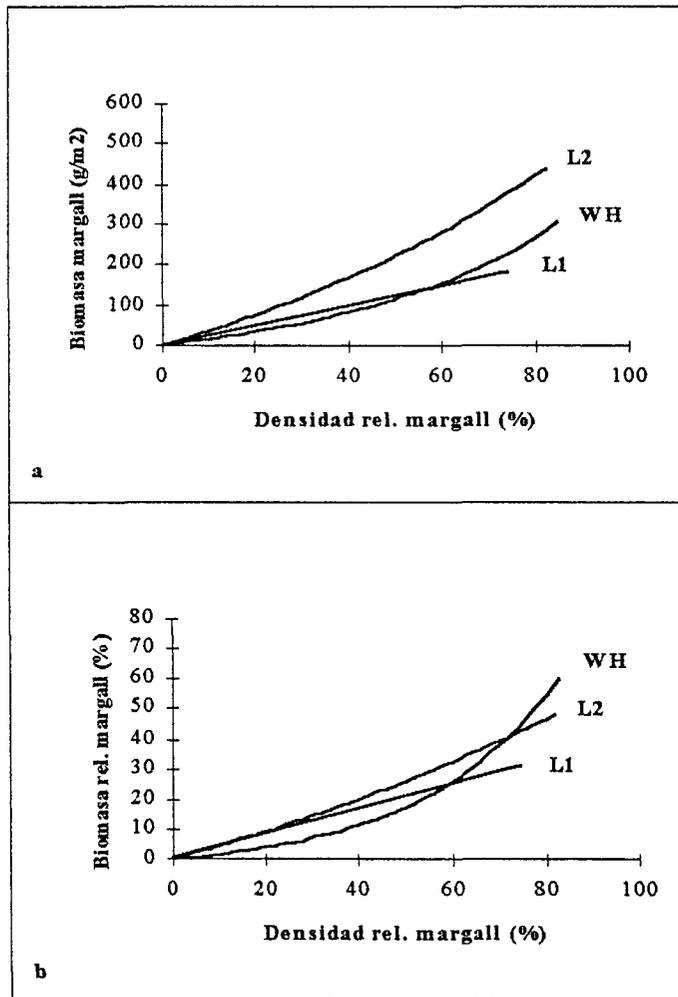
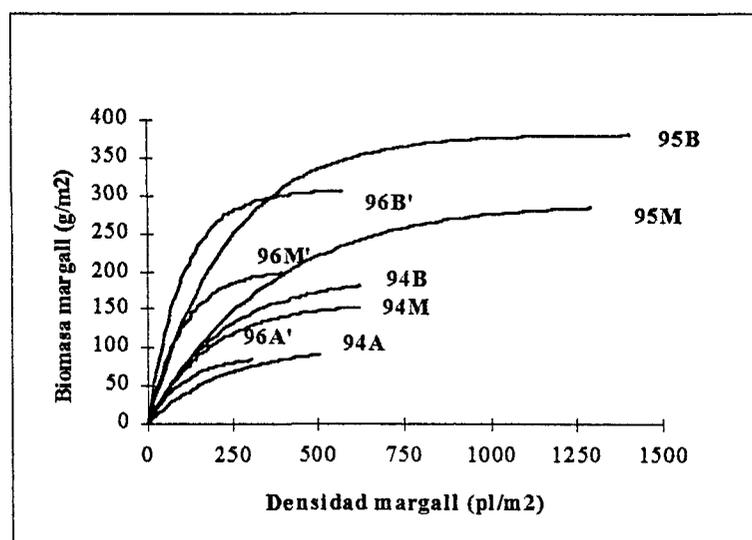


Figura 28. Relaciones entre (a) la biomasa (g/m<sup>2</sup>) y (b) la biomasa relativa (%) de *Lolium rigidum* con su densidad relativa de plantas (%) en la campaña 93/94 (L1), 94/95 (L2) de Lleida y 95 de Wongan Hills (WH) para el conjunto de parcelas.

**Tabla 28.** Modelos de regresión entre la biomasa (en  $\text{g/m}^2$ ) y la biomasa relativa (%) de *Lolium rigidum* con su densidad relativa de plantas para cada localidad y campaña. Los valores entre paréntesis son las desviaciones estándar del parámetro. RMS es la suma de cuadrados medios de los residuos del modelo.

Localidad	Campaña	Regresión	RMS
Lleida	93/94	$y = 3,00 + 3,46x$ (1,04) (0,20)	65
	94/95	$y = -388,968 + 388,968 * 1,009^x$ (357,803) (0,006)	337
-----			
Wongan Hills	95	$y = -54,040 + 54,040 * 1,023^x$ (32,685) (0,007)	2856
-----			
y: biomasa de <i>Lolium rigidum</i> ( $\text{g/m}^2$ ); x: densidad relativa de <i>Lolium rigidum</i> (%).			
Lleida	93/94	$y = 0,688 + 1,65x$ (0,18) (0,04)	1,95
	94/95	$y = -57,973 + 57,973 * 1,007^x$ (65,381) (0,007)	48
-----			
Wongan Hills	95	$y = -4,069 + 4,069 * 1,034^x$ (1,675) (0,005)	58
-----			
y: biomasa relativa de <i>Lolium rigidum</i> (%); x: densidad relativa de <i>Lolium rigidum</i> (%).			



**Figura 29.** Relaciones entre la biomasa de *Lolium rigidum* ( $\text{g/m}^2$ ) y su densidad de plantas ( $\text{plantas/m}^2$ ) en Lleida en función de las densidades de siembra de cebada de 75 (curva B), 150 (M) y 300 Kg/ha (A) para las campañas 93/94 (curvas 94) y 94/95 (95). Igualmente para Wongan Hills (Australia) en función de las densidades de siembra de cebada de 25 (curva B'), 50 (M') y 200 Kg/ha (A') para la campaña 95 (95).

**Tabla 29.** Modelos de regresión entre la biomasa de *Lolium rigidum* (en g/m<sup>2</sup>) y su densidad de plantas en función de la densidad de siembra del cereal (Dc.) para cada localidad y campaña. % red. es el porcentaje en que ha sido reducida la biomasa máxima de *Lolium rigidum* respecto la densidad de siembra más baja utilizada.

Localidad	Campaña	Dc.	Regresión	% red.
Lleida	93/94	75 Kg/ha	$y = 191,56 - 191,56 * 0,995^x$ (18,65) (0,001)	---
		150 Kg/ha	$y = 156,58 - 156,58 * 0,994^x$ (13,85) (0,001)	18,26
		300 Kg/ha	$y = 97,84 - 97,84 * 0,995^x$ (9,32) (0,001)	48,92
	94/95	75 Kg/ha	$y = 380,07 - 380,07 * 0,996^x$ (30,13) (0,002)	---
		150 Kg/ha	$y = 291,95 - 291,95 * 0,997^x$ (19,52) (0,001)	23,19
Wongan Hills	95	25 Kg/ha	$y = 298,51 - 298,51 * 0,990^x$ (39,05) (0,004)	—
		50 Kg/ha	$y = 232,35 - 232,35 * 0,993^x$ (49,36) (0,003)	22,16
		200 Kg/ha	$y = 98,27 - 98,27 * 0,993^x$ (26,42) (0,004)	67,08
y: biomasa de <i>Lolium rigidum</i> (g/m <sup>2</sup> ); x: densidad de plantas de <i>Lolium rigidum</i> (plantas/m <sup>2</sup> ).				

### 7.3. Efecto de *L. rigidum* sobre la cebada.

Cousens (1985) desarrolló un modelo de tipo parabólico para describir la pérdida de rendimiento del cultivo como función de la densidad de mala hierba. Este modelo tiene dos parámetros con un alto significado agronómico y que pueden ser utilizados como índices de competitividad. El modelo es:

$$Y_L = \frac{i*d}{1 + (i/m)*d}$$

donde  $Y_L$  es la pérdida de rendimiento del cultivo,  $d$  es la densidad de mala hierba y  $i$ ,  $m$  son los parámetros del modelo, en donde  $i$  representa la pérdida de rendimiento por unidad de densidad de mala hierba cuando esta densidad se aproxima a cero y  $m$  representa la pérdida de rendimiento cuando la densidad se aproxima a infinito.

Este modelo hiperbólico también es aplicable a variables que no sean el rendimiento y la densidad de plantas con tal que ambas sigan una relación de tipo exponencial. Como de los resultados obtenidos de nuestros ensayos indican que era la biomasa de margall la variable que describía mejor las variaciones observadas en la cebada, en las comparaciones que seguidamente se presentan se relacionó esta variable con la pérdida de rendimiento del cereal y con aquellas variables de cebada que han resultado afectadas por competencia en ambas localidades, tales como el número de espigas y la biomasa de la cebada.

#### 7.3.1. Efecto sobre el rendimiento.

Las relaciones entre la pérdida de rendimiento de la cebada y la biomasa relativa de mala hierba se ajustaron al modelo exponencial anteriormente descrito en ambas localidades (tabla 30). Según los modelos, la pérdida de rendimiento por porcentaje de biomasa relativa de margall cuando ésta se aproxima a 0 es ligeramente superior en Lleida ( $i=0,033$ ) respecto a Australia ( $i=0,024$ ); esto queda reflejado en la figura 30a donde para biomasa relativa de margall de menos del 20 %, la curva de Lleida es ligeramente superior a la de Wongan Hills.

En cambio, las pérdidas máximas esperadas para altas infestaciones de margall serían más altas en Wongan Hills ( $m=1,75$ ) que en Lleida ( $m=0,69$ ). En el ensayo de Australia la estimación de la asíntota o límite superior de la curva ha sido pobre ya que se predicen unas pérdidas de rendimiento superiores al 100 %; esto ha sido debido a que la biomasa relativa de margall más alta no ha sido lo suficientemente elevada como para fijar ese valor, al contrario de lo que ha sucedido

en Lleida. De todos modos se puede afirmar que la pérdida de cosecha para altas densidades de margall fue mucho mayor en Wongan Hills que en Lleida, sugiriendo que el margall se comportó de una manera mucho más competitiva a densidades altas en esta primera localidad. Aunque no se dispone de un balance hídrico del suelo, una distribución de las precipitaciones más homogénea en Australia proporcionó una disponibilidad de agua más constante para las plantas lo que debió ser favorable para el margall. Además, las menores densidades de siembra utilizadas en ese ensayo produjeron parcelas menos densas de plantas lo que permitió una mejor penetración de la luz que debió favorecer también al margall y lo debió convertir en una planta más competitiva que en el ensayo de Lleida. Esta hipótesis concuerda con los resultados de Verschwele y Niemann (1992) en un ensayo entre trigo y algunas malas hierbas gramíneas en donde comprobaron que la penetración de la luz en las parcelas estuvo altamente correlacionada con el crecimiento de las malas hierbas y que también estaba directamente relacionada con la cobertura del suelo por parte del cultivo y con la altura de éste.

### 7.3.2. Efecto sobre el número de espigas.

La relación entre la reducción experimentada por el número de espigas de la cebada y la biomasa relativa de margall en ambas localidades se ajustó al modelo exponencial anteriormente descrito aunque en Lleida la relación encontrada fue casi lineal (figura 30b; tabla 30). En esta última localidad la reducción del número de espigas aumentó de forma casi aditiva con el incremento de la biomasa relativa de margall y no se pudo determinar ninguna asíntota o límite superior. La competencia ejercida por las plantas del margall fue dirigida esencialmente hacia el cereal y no hubo competencia intraespecífica entre las propias plantas de margall debido, probablemente, a que en esa época las biomásas que tenían las plantas no eran lo suficientemente elevadas como para que empezasen también a competir entre ellas. En Wongan Hills en cambio, esta competencia intraespecífica se detectó a partir de un cierto valor, que se podría situar de manera aproximada entre el 20 y 30 % de la biomasa relativa de margall, debido, posiblemente al mayor crecimiento que experimentaron las plantas por la menor densidad de cebada presente.

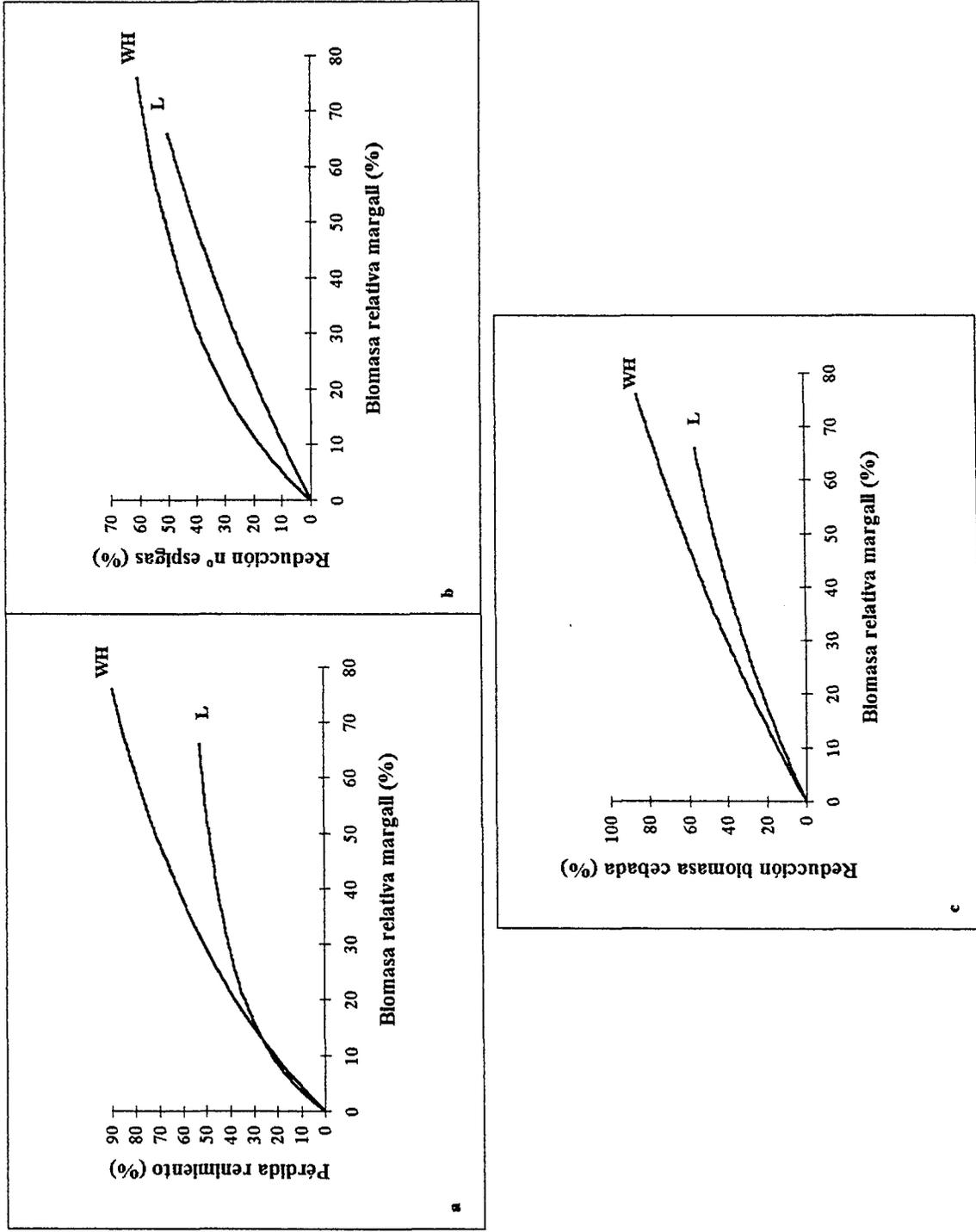
Biomásas relativas equivalentes de margall produjeron mayores reducciones del número de espigas en Wongan Hills. Esto implica que el margall fue mucho más competitivo que en Lleida en los estadios tempranos de desarrollo de las plantas y podría estar también relacionado con la mayor disponibilidad de luz que gozaron las plantas de margall por la menor densidad de siembra de la cebada y quizás también por una emergencia del margall más sincronizada con el cereal, aunque este punto no puede ser confirmado.

## 7.3.3. Efecto sobre la biomasa.

La relación entre la biomasa aérea de la cebada y la biomasa relativa de mala hierba se ajustó a un modelo exponencial en ambas localidades (figura 30c; tabla 30). La ausencia de puntos correspondientes a altas biomasa relativa de margall ha hecho que la asíntota o límite superior de las curvas no estuviese bien determinado y que, según los modelos, las reducciones máximas esperadas fueran en ambos casos superiores al 100 % ( $m=1,66$  en Lleida y  $m=3,14$  en Wongan Hills). En todo caso, lo que indican estas cifras es que en Australia la biomasa del cereal se vio más reducida por el efecto de la competencia del margall que en Lleida, lo que vuelve a indicar que el margall se comportó de manera más competitiva en esa localidad.

**Tabla 30.** Valores de los parámetros del modelo  $y = 100 \cdot i \cdot x / [1 + (i/m) \cdot x]$  que se ha ajustado entre la biomasa relativa de *Lolium rigidum* (%) y la pérdida de rendimiento (%), la reducción del número de espigas (%) y la biomasa (%) de la cebada para Lleida (campaña 94/95) y Wongan Hills (Australia) (campaña 95) considerando todas las parcelas en conjunto.  $i$  y  $m$  son los parámetros del modelo; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; RMS es la suma de los cuadrados medios de los residuos.

Localidad	$i$	D.E.	$m$	D.E.	RMS
<b><u>Pérdida de rendimiento cebada (%)</u></b>					
Lleida	0,033	0,010	0,689	0,152	149
Wongan Hills	0,024	0,004	1,758	0,053	162
<b><u>Reducción número de espigas cebada (%)</u></b>					
Lleida	0,010	0,002	2,120	2,001	68
Wongan Hills	0,022	0,005	0,956	0,273	161
<b><u>Reducción biomasa cebada (%)</u></b>					
Lleida	0,013	0,002	1,658	0,935	66
Wongan Hills	0,016	0,003	3,135	2,696	177



**Figura 30.** Efecto de la biomasa relativa de *Lolium rigidum* (%) y la pérdida de rendimiento de la cebada (a), la reducción experimentada por el número de espigas de la cebada (b) y la reducción experimentada por la biomasa de la cebada (c) en la campaña 94/95 de Lleida (L) y la campaña 95 de Wongan Hills (WH).

#### **7.4. Conclusiones.**

El crecimiento del margall se mostró siempre claramente dependiente de la densidad de siembra del cereal, con una biomasa menor a medida que el cereal fue sembrado a mayor densidad y con unos valores de biomasa absolutos que también dependieron de las condiciones climatológicas del año en cuestión.

Las pérdidas de rendimiento de la cebada fueron claramente mayores en Wongan Hills (Australia) a partir de una biomasa relativa de margall del 20 %. La reducción experimentada por el número de espigas de la cebada y su biomasa aérea fueron también mayores en Wongan Hills para cualquier biomasa de margall.

Debido a que la biomasa relativa conseguida por el margall en las parcelas de Wongan Hills fue semejante a la de Lleida pero que las pérdidas ocasionadas en la cebada fueron mayores en la primera localidad, cabe concluir que la mala hierba resultó ser más competitiva en el ensayo de Wongan Hills que en el de Lleida. En referencia a los componentes del rendimiento, en Lleida sólo se detectó competencia del margall en el número de espigas mientras que en Australia se detectó competencia también en el peso medio de los granos. La competencia que afectó al número de espigas tuvo lugar en estadios tempranos de desarrollo del cereal, que fue cuando en Lleida había una disponibilidad de agua importante. En Australia, las precipitaciones se distribuyeron más homogéneamente a lo largo de la campaña lo que ha debido también tener su importancia en que al final de la campaña se observaran unas mayores pérdidas de rendimiento globales en la cebada.

El uso de densidades de siembra de la cebada menores (25 y 50 kg/ha frente a los 75 kg/ha como densidad menor empleada en Lleida) que debió permitir una mejor penetración de la luz y el menor efecto de la densidad del cultivo sobre el margall también pudieron favorecer la competitividad de la mala hierba.

## Capítulo 8

# Análisis predictivo de pérdidas de cosecha a partir de estimaciones de área foliar

### 8.1. Introducción.

El éxito de un programa de control de malas hierbas cuya finalidad sea la reducción del uso de herbicidas dependerá de la capacidad que tenga de predecir *a priori* los efectos de las malas hierbas sobre el cultivo. Como muchos de los tratamientos herbicidas se han de aplicar cuando la mala hierba está en estadio de plántula, el poder saber si la cantidad de mala hierba presente en ese momento puede provocar o no una pérdida importante de rendimiento en el cultivo aparece como uno de los puntos de mayor importancia en estos programas de control integrado de malas hierbas.

Los primeros modelos predictivos utilizados en malherbología se basaban en los modelos empíricos elaborados a principios de los años 80 que describían las pérdidas de rendimiento del cultivo ante diferentes densidades de mala hierba contabilizadas en el momento de la cosecha (Spitters y Aerts, 1983; Cousens, 1985). Para utilizar estos modelos de forma predictiva era necesario introducir en la variable densidad de mala hierba datos de densidad tomados poco tiempo después de la emergencia de las malas hierbas. Sin embargo, pronto se vio que el periodo de emergencia de la mala hierba con respecto al cultivo determinaba de manera importante las relaciones de competencia y que si se utilizaba la variable densidad de plantas como input del modelo no quedaba bien determinada la capacidad competitiva de la mala hierba sobre el cultivo (Cousens *et al.*, 1987; Kropff, 1988; Wilson y Wright, 1990).

Spitters y Aerts (1983) sugirieron que una relación entre área foliar relativa de la mala hierba y pérdida de rendimiento podría ser más apropiada para predecir pérdidas de rendimiento que una relación basada únicamente en la densidad de la mala hierba. Kropff (1988), utilizando datos simulados, confirmó que existía una estrecha relación entre el área foliar de la mala hierba y la pérdida de rendimiento del cultivo para un amplio abanico de densidades de mala hierba y tiempo de emergencia de ésta con relación al cultivo.

A partir del modelo empírico de tipo hiperbólico de Cousens (1985),

$$Y_L = \frac{iD}{1 + (i/m)D}$$

donde  $Y_L$  es la pérdida de rendimiento del cultivo,  $D$  es la densidad de la mala hierba e  $i$  y  $m$  los parámetros del modelo, Kropff y Spitters (1991) desarrollaron un modelo monoparamétrico que relacionaba la pérdida de rendimiento del cultivo con el área foliar relativa de la mala hierba

determinada poco tiempo después de la emergencia de ésta. Estos mismos autores indicaron que el área foliar relativa de la mala hierba medida en un estadio determinado de crecimiento del cultivo reflejaba a la vez tanto diferencias en densidad como diferencias en el tiempo de emergencia con respecto al cultivo. El modelo propuesto fue:

$$Y_L = \frac{qL_w}{1 + (q-1)L_w}$$

donde  $Y_L$  es la pérdida de rendimiento del cultivo,  $L_w$  es el área foliar relativa de la mala hierba calculada como el cociente entre el área foliar de mala hierba y el área foliar total de mala hierba más cultivo, y  $q$  el coeficiente de daño relativo que se estima resolviendo la ecuación anterior.

Más recientemente, Kropff y Lotz (1992) publicaron una versión de dos parámetros de este modelo en donde el parámetro adicional ( $m$ ) describía la pérdida de rendimiento máxima causada por la competencia de la mala hierba. Este valor podría variar dependiendo de factores ambientales, lo que permitiría explicar la variabilidad de las pérdidas de rendimiento de un cultivo que se observa entre diferentes localidades y años. El modelo propuesto fue:

$$Y_L = \frac{qL_w}{1 + [(q/m) - 1]L_w}$$

donde  $Y_L$ ,  $q$ ,  $L_w$  son descritos en la ecuación anterior y  $m$  es la pérdida máxima de rendimiento causada por las malas hierbas.

La aplicación práctica de estos modelos se encontró con la dificultad de disponer de un método que estimara de manera rápida, precisa y no destructiva el área foliar de las plantas (Knežević *et al.*, 1995). Lotz *et al.* (1992) y Lutman (1992) sugirieron que en estadios tempranos de desarrollo se podría utilizar el índice de cobertura, definido como la proporción de suelo ocupada por la proyección vertical de la parte aérea de una planta en lugar del área foliar, pues vieron que ambas variables se correlacionaban de forma bastante aceptable en esos estadios de desarrollo tempranos. Otros autores han sugerido otros sistemas para estimar la cobertura de forma rápida y lo más precisa posible; Vitta y Fernández-Quintanilla (1996) la estimaron a partir de observaciones visuales; Goldsmith *et al.* (1986) proponen el uso de mallas; Izquierdo *et al.* (1996) el método de las agujas de cobertura o point-quadrats; Lotz *et al.* (1994) utilizaron técnicas más complejas de reflexión de luz, etc.

Actualmente los estudios para encontrar modelos que aporten predicciones de las futuras pérdidas de rendimiento en los cultivos basándose en estimaciones de poblaciones de malas hierbas en estadios tempranos de desarrollo están siendo objeto de intenso estudio; la necesidad de conocer más detalladamente el efecto de los factores abióticos en el desarrollo y morfología de los cultivos y de las malas hierbas limitan por ahora el uso general de estos modelos y hace que sea necesario seguir investigando en este campo (Lotz *et al.*, 1996).

## 8.2. Objetivos de las determinaciones de área foliar.

Teniendo en cuenta la importancia del desarrollo de métodos predictivos de pérdidas de cosecha como herramientas para ser utilizadas en la elaboración de controles integrados de malas hierbas, se ha creído oportuno incorporar esta faceta al trabajo de investigación sobre competencia entre cebada y *L. rigidum*. La investigación se llevó a cabo aprovechando el ensayo de competencia que se realizaba en Lleida; por un lado se estimaron las áreas foliares y la biomasa del margall cuando tenían 3/4 hojas desplegadas y por otro se utilizaron los datos de rendimiento recogidos al final de la campaña.

Los objetivos perseguidos fueron:

- a) Estudiar la relación entre área foliar y biomasa, con el fin de evaluar la posibilidad de sustituir en los modelos las estimaciones de área foliar con estimaciones de biomasa, más fáciles de realizar.
- b) Estudiar si hay alguna relación entre el área foliar y la biomasa con las pérdidas de rendimiento del cultivo, con el fin de evaluar el potencial predictivo de estas variables.
- c) Comprobar cual de los modelos propuestos en la bibliografía se ajusta mejor a los datos del ensayo.

## 8.3. Metodología empleada en la estimación del área foliar.

Los datos procedentes de las tres campañas se utilizaron para ver si había alguna relación entre la biomasa y el área foliar del margall y, en caso afirmativo, de qué tipo. Sólo los datos procedentes de la última campaña se pudieron emplear para estudiar la relación con las pérdidas de rendimiento de la cebada ya que el diseño experimental de la temporada 92/93 no estaba orientado para obtener las pérdidas de rendimiento de la cebada como ya se comentó en el capítulo 5 y en la campaña 93/94 tampoco se pudo hacer ya que no se detectaron pérdidas de rendimiento.

Las relaciones entre las áreas foliares y las biomásas con las pérdidas de rendimiento se ajustaron a un modelo exponencial genérico y a modelos hiperbólicos propuestos por diferentes investigadores:

a) Modelo exponencial general:

$$Y_L = a - br^{L_w} \quad (\text{a})$$

b) Modelo de densidad de mala hierba (Cousens, 1985):

$$Y_L = \frac{iL_w}{1 + (i/m)L_w} \quad (\text{b})$$

c) Modelo monoparamétrico de áreas foliares (Kropff -Spitters, 1991):

$$Y_L = \frac{qL_w}{1 + (q-1)L_w} \quad (\text{c})$$

d) Modelo biparamétrico de áreas foliares (Kropff-Lotz, 1992):

$$Y_L = \frac{qL_w}{1 + [(q/m)-1]L_w} \quad (\text{d})$$

donde  $a$ ,  $b$ ,  $r$ ,  $i$ ,  $m$  y  $q$  son parámetros y  $Y_L$  es la pérdida de rendimiento del cultivo en porcentaje y  $L_w$  es el área foliar relativa o la biomasa relativa de *Lolium rigidum* en porcentaje.

La comparación de los modelos se realizó basándose en los cuadrados medios de los residuos (RMS). Los estimadores de los parámetros fueron determinados utilizando Genstat versión 5.3.

#### 8.4. Relaciones entre el área foliar y la biomasa de *L. rigidum*.

Las relaciones encontradas entre la biomasa y las áreas foliares han sido de tipo lineal (figura 31; tabla 31), semejantes a las encontradas por Vitta *et al.* (1994) con *Sorghum halepense*. Para valores semejantes de biomasa, el área foliar equivalente fue mayor en la campaña 92/93 que en la 94/95 y el área de ésta fue a su vez mayor que el de la 93/94. Estas diferencias estarían relacionadas con el contenido de agua del suelo desde la emergencia de las plantas hasta el momento en que se llevaron a cabo los muestreos: en el 92/93 se estimó en el momento del muestreo un déficit hídrico acumulado de 21,3 mm, en el 94/95 de 54,3 mm y en el 93/94 de 71,2 mm (valores extraídos de la tabla 4). En situaciones de estrés hídrico el crecimiento de las plantas es menor y como el valor de área foliar lo que indica es el tamaño de la planta, los valores que se obtienen son menores.

La principal limitación encontrada al estimar las áreas foliares ha sido la dificultad en determinar con exactitud su valor debido a que el medidor de área foliar utilizado no era lo suficientemente sensible en algunos casos como para percibir el pequeño tamaño que tenían las plantas y hojas del margall en esos estadios jóvenes de desarrollo. Teniendo en cuenta que los productos herbicidas contra margall son más eficaces cuanto más pequeña es la planta (hasta 3/4 hojas desplegadas) la necesidad de estimar el área foliar de las plantas en ese momento requiere el uso de medidores de área foliar altamente sensibles y de elevado coste. Otro factor importante a tener en cuenta es que el tiempo transcurrido entre que se cortan las plantas y se procesan debe ser lo más corto posible con el fin de evitar excesivas pérdidas de peso por deshidratación en el material recogido y dependiendo de la distancia a la que se hallen los ensayos a veces puede ser difícil de evitar. Por otro lado continua tratándose de un método destructivo y que requiere un elevado consumo de tiempo ya que se ha de pasar todo el material de forma individualizada por el medidor.

Como se ha encontrado una buena relación entre la biomasa y el área foliar es posible pensar en utilizar a la primera como índice de presencia de mala hierba en los modelos de predicción de pérdidas de cosecha. Si se utilizan a las estimaciones de biomasa en los modelos, las pérdidas de peso por deshidratación en el traslado de las muestras no son importantes ya que lo que importa es peso seco y, aunque continua siendo un método destructivo de cálculo, la dedicación que requiere es menor ya que no es preciso pasar individualmente a las plantas y hojas por el medidor.

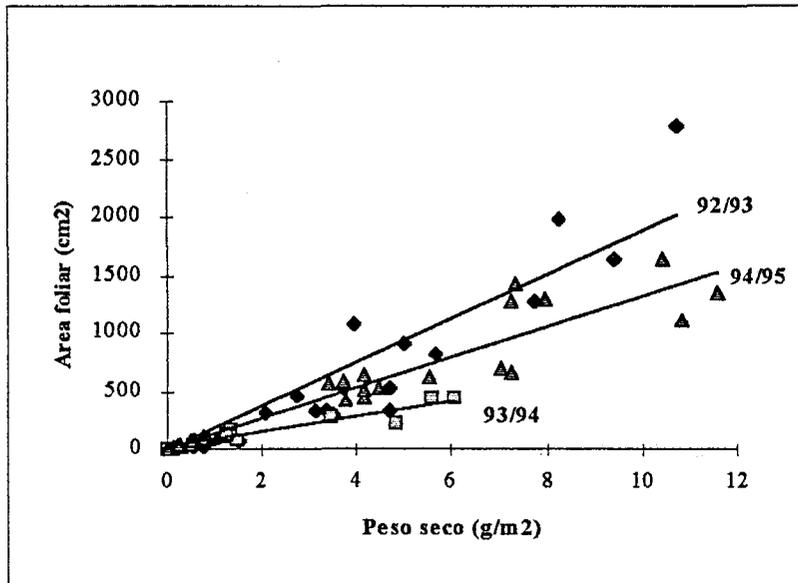


Figura 31. Relaciones entre el área foliar ( $\text{cm}^2$ ) y la biomasa ( $\text{g/m}^2$ ) de *Lolium rigidum* en los muestreos realizados cuando las plantas tenían entre 3 y 4 hojas desplegadas en las campañas 92/93, 93/94 y 94/95.

Tabla 31. Valores de los parámetros del modelo que se ha ajustado al área foliar (en  $\text{cm}^2$ ) de *Lolium rigidum* en función de la biomasa (en  $\text{g/m}^2$ ) en cada campaña.  $a$  es la pendiente de la recta; valores de la pendiente con la misma letra no son significativamente diferentes con  $P < 0,05$ ; D.E. es la desviación estándar de la pendiente; F representa la probabilidad del valor F del modelo (\*\*\*:  $P < 0,001$ );  $r^2$  es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación.

Campaña	$y = ax$				
	a	D.E.	F	$r^2$	CV
92/93	187,05 a	14,04	***	0,87	37,73
93/94	70,59 b	4,40	***	0,92	34,32
94/95	132,05 c	5,09	***	0,91	38,73

### 8.5. Relación entre el área foliar de *L. rigidum* y las pérdidas de rendimiento de la cebada.

El área foliar del margall estimada cuando las plantas tenían entre 3 y 4 hojas desplegadas ha resultado estar relacionada con las pérdidas de cosecha del final de la campaña. Aquellas parcelas que tenían una mayor abundancia de margall en ese momento del ciclo han presentado en general una mayor pérdida de rendimiento en la cebada. Hay que reseñar que en algunas de las parcelas en las que se estimó una área foliar de margall menor del 10 % se encontraron también unas elevadas pérdidas de cosecha (alrededor del 50 %). En situaciones de baja o débil competencia entre cultivo y mala hierba, adquieren importancia otros factores no controlados del medio que pueden disminuir el rendimiento del cereal y originar esa variabilidad que no es explicada por la competencia estricta de la mala hierba (Gill, comunicación personal).

Los datos se han ajustado a los cuatro modelos exponenciales citados. Las variaciones en las pérdidas de rendimiento fueron en general bien descritas por todos ellos (figura 32), aunque el modelo de densidad de mala hierba (véase fórmula b en página 131) y el modelo biparamétrico (d) dieron un mejor ajuste a los datos que el exponencial (a) y que el monoparamétrico (c) según indica la comparación de los residuos (RMS) (tabla 32). La introducción de un segundo parámetro en el modelo monoparamétrico (c) transformándolo en biparamétrico (d) originó una mejora en el ajuste de dicho modelo, de forma semejante a la que encontraron Knežević *et al.* (1995) en el análisis de los datos de su ensayo.

Las pérdidas de rendimiento máximas esperadas para densidades infinitas de mala hierba vienen indicadas por el parámetro  $\alpha$  del modelo exponencial genérico y por el parámetro  $m$  en los otros modelos. Las pérdidas serían del 73 % según el modelo exponencial (a), del 83 % según el modelo de densidad de mala hierba (b) y del 80 % según el modelobiparamétrico (d). Estos dos últimos modelos predicen unas pérdidas de cosecha máximas mayores que el exponencial, otorgando por tanto un mayor índice de competitividad al margall.

El valor de  $q$  llamado coeficiente de daño relativo y que es otro parámetro que mide la competitividad de la mala hierba con respecto al cultivo coincide con la apreciación anterior de otorgar una mayor competitividad al margall en los modelos de densidad de mala hierba (b) y biparamétrico (d), con un valor de 21, mientras que en el modelo monoparamétrico (c) tiene un valor de 11.

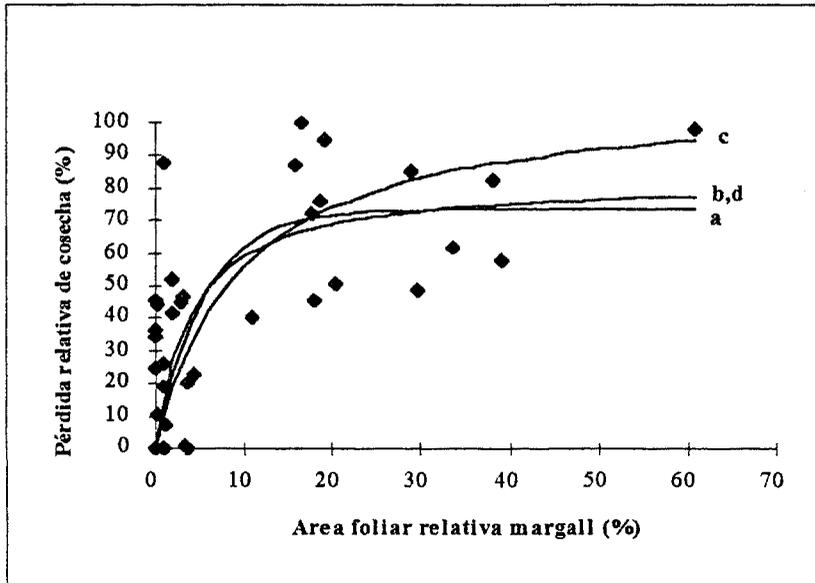


Figura 32. Pérdida de rendimiento de la cebada y área foliar relativa de *Lolium rigidum* evaluada cuando las plantas tenían 3/4 hojas completamente desplegadas en la campaña 94/95 en Lleida, en función de los modelos (a) exponencial general, (b) densidad de mala hierba (Cousens, 1985), (c) monoparamétrico (Kropff y Spitters, 1991) y (d) biparamétrico (Kropff y Lotz, 1992) descritos en el apartado 8.3.

Tabla 32. Estimaciones de los parámetros de los modelos ajustados entre la pérdida de cosecha de la cebada (en %) y el área foliar relativa de *Lolium rigidum* (en %) obtenida cuando las plantas tenían 3/4 hojas desplegadas en la campaña 94/95 de Lleida. Ajuste al modelo (a) exponencial general, (b) densidad de mala hierba (Cousens, 1985), (c) monoparamétrico (Kropff y Spitters, 1991) y (d) biparamétrico (Kropff y Lotz, 1992). Desviaciones estándar de los parámetros entre paréntesis.

a: $y=a-b.r^x$			b: $y=100.i.x/[1+(i/m).x]$			c: $y=q.x/[1+(q-1)x/100]$		d: $y=q.x/\{1+[(q/m)-1]x/100\}$		
a,b	r	RMS	i	m	RMS	q	RMS	q	m	RMS
73,09 (8,00)	0,830 (0,063)	637	0,205 (0,088)	0,827 (0,117)	620	11,361 (3,281)	643	20,480 (0,772)	0,795 (0,900)	620

## 8.6. Conclusiones.

Se han encontrado relaciones lineales entre la biomasa y el área foliar del margall al realizar las estimaciones cuando las plantas tenían 3/4 hojas desplegadas y las canopias de ambas especies aún no se habían superpuesto. La existencia de estas relaciones muestra que ambas variables están directamente relacionadas y que por tanto, se pueden usar datos de biomasa y aplicarlos para su uso en los modelos predictivos, en vez de usar directamente datos de áreas foliares que son más difíciles de obtener.

Se ha encontrado una relación entre la población de margall estimada por su área foliar en un estadio temprano del ciclo y las pérdidas de rendimiento del cultivo al final de la campaña. Esta relación ha sido de tipo exponencial y se ha ajustado bien a los modelos propuestos por Cousens (1985) y por Kropff y Lotz (1992). El modelo exponencial genérico fue el que determinó menores pérdidas de rendimiento ante densidades infinitas de mala hierba y, junto con el modelo de un parámetro propuesto por Kropff y Spitters (1991), fueron los que presentaron un peor ajuste a los datos. Los modelos de Cousens (1985) y Kropff y Lotz (1992) fueron los que consideraron más competitivo al margall.

Aunque los datos proceden de una única campaña, los resultados obtenidos son esperanzadores en el sentido de que parece posible el utilizar datos de abundancia de mala hierba en un estadio temprano de desarrollo para poder predecir las pérdidas de rendimiento del cultivo. Este estadio temprano coincidiría con el momento en el cual se deben tomar las decisiones de si sería o no conveniente realizar un tratamiento herbicida para controlar la mala hierba, por lo que el uso de estos datos en los modelos predictivos adecuados sería una herramienta muy útil para ayudar a tomar esta decisión.

## Capítulo 9

# Determinación del umbral económico de daños

### 9.1. Introducción.

La evaluación de los sistemas agrícolas desde un punto de vista económico se ha venido realizando desde antiguo. La idea de que la maximización del beneficio era sinónimo de maximización de la producción ha estado vigente hasta que la sobreproducción agrícola en algunos países durante la última década comportó, si no precios más bajos, si una considerable reducción de los márgenes de beneficio, y empezó a poner en duda el planteamiento anterior (Avery, 1986). Las nuevas tendencias en la política agraria comunitaria europea tales como la promoción de la reducción de los costes en lugar de la maximización de la producción, la consecución de mayores eficiencias en la producción y el interés por conseguir una mejora de la cualidad de los cultivos, junto con la existencia de una mayor preocupación social en los países desarrollados sobre la conservación del medio ambiente han obligado finalmente a hacer una reflexión sobre el uso de los agroquímicos en el mundo agrario.

Basándose en estas nuevas realidades, actualmente los métodos de desherbaje se encaminan más hacia la contención de las poblaciones de malas hierbas que a su erradicación total, aún cuando esto presuponga tener un cierto nivel de pérdidas de rendimiento. Se trataría de aplicar medidas para controlar las malas hierbas sólo cuando éstas estén verdaderamente justificadas. De este modo se lograría disminuir el coste del control y se realizaría una estrategia medioambiental más aceptable (Cousens, 1987). Esta nueva concepción del manejo de las malas hierbas requiere que se haga una adecuada identificación, cuantificación y seguimiento de las poblaciones de malas hierbas que invaden los cultivos de forma que se tenga un conocimiento que permita tomar las decisiones más apropiadas sobre el manejo de estas poblaciones.

Estas políticas de contención de las poblaciones de malas hierbas requieren el establecimiento de unos niveles máximos y tolerables de densidades de plantas de forma que la población sea considerada no deseable si sobrepasa estos valores. Estos niveles de población son los llamados **umbrales**. Existen diferentes definiciones de umbrales dependiendo sobre qué variables o factores hacen referencia. Cousens (1987) recoge varios de ellos. Desde el punto de vista económico, el más importante es el **umbral económico de daños**. Éste es definido como la densidad de mala hierba a partir de la cual el coste de las pérdidas de rendimiento que provocarían las malas hierbas sobre el cultivo superarían el coste de las medidas de control a tomar.

Se han descrito muchos modelos para el cálculo del umbral económico (Chiang, 1979; Marra y Carlson, 1983; Mumford y Norton, 1984). Todos ellos son intuitivos y asumen una relación lineal entre la pérdida de rendimiento y la densidad de mala hierba. También asumen que la

maximización del beneficio es equivalente a la maximización del rendimiento. Para muchas especies en las que el cultivo es cultivado para consumo y no para semilla, estas presunciones son probablemente válidas en la región en que se mueve el umbral económico (Cousens *et al.*, 1985).

Marra y Carlson (1983) por ejemplo, igualan los costes del control a realizar con las pérdidas de rendimiento que se esperan por no realizarlo:

$$C_h + C_a = P.H.D^*.L$$

donde  $C_h$  y  $C_a$  son el coste del herbicida y su aplicación respectivamente,  $P$  es el precio esperado del producto cosechado,  $H$  es la proporción de mala hierba controlada,  $D^*$  es la densidad umbral de mala hierba y  $L$  es la pérdida de rendimiento que provoca una planta de mala hierba, todo ello con las unidades apropiadas.

Cousens *et al.* (1985) ampliaron este modelo para poder utilizarlo en el caso de que la respuesta del rendimiento del cultivo ante la mala hierba sea de tipo hiperbólico:

$$C_h + C_a = P.R_{wf} [i.D^*/(1+i.D^*/a) - i.D^*(1-H)/(1+i.D^*(1-H)/a)]$$

donde  $i$  y  $a$  son los parámetros del modelo de pérdida de rendimiento,  $R_{wf}$  es el rendimiento de las parcelas libres de mala hierba y el resto de parámetros están descritos anteriormente.

Tal como se desprende de las ecuaciones de los modelos, el umbral económico de una cierta especie en un cierto cultivo no tiene un valor constante. Cualquier factor que afecte a alguno de los parámetros del modelo dará lugar a un valor umbral diferente. Así por ejemplo, una modificación de la densidad del cultivo afectará a los parámetros  $i$  y  $a$  que se refieren a la pérdida de rendimiento; una modificación de la dosis de herbicida o el cambio de herbicida afectará a los parámetros  $C_h$  y  $C_a$  que hacen referencia al coste del herbicida y a  $H$  que hace referencia a su eficacia; una variación en las condiciones climatológicas o las técnicas culturales de un año para otro afectaran a  $R_{wf}$  que es el rendimiento potencial del cultivo, etc. Auld y Tisdell (1986) discuten algunos de estos factores que pueden afectar el cálculo del umbral económico. Cousens *et al.* (1985, 1986) y Auld y Tisdell (1986) también indican que la presencia de malas hierbas puede influir en la cualidad del rendimiento y, por tanto, en el precio de venta y en el umbral económico.

Por todo ello, si se indica un valor determinado como umbral económico de una mala hierba en un cultivo determinado, los supuestos que se han tenido en cuenta al realizar el cálculo deberían quedar especificados lo más detalladamente posible.

## 9.2. Cálculo del umbral económico de *L. rigidum* en cebada.

### 9.2.1. Modelo utilizado.

Para el cálculo del umbral económico de *L. rigidum* en los ensayos en los que se observaron pérdidas de rendimiento, es decir, en la campaña 94/95 en Lleida y en la 95 en Wongan Hills se partió de la siguiente igualdad:

$$(\text{Cantidad de cosecha perdida}) * \text{precio cosecha} = \text{coste tratamiento} + \text{herbicida}$$

La cantidad de cosecha perdida se calculó como diferencia entre el rendimiento esperado en ausencia de mala hierba ( $R_{wf}$ ) y el rendimiento esperado ante la densidad de mala hierba ( $R_{wd}$ ) que se trataba de determinar, obtenidos ambos valores a partir de los modelos resultantes del ajuste de los puntos:

$$\text{Cantidad cosecha perdida} = R_{wf} - R_{wd}$$

En los ensayos en los que la relación entre la cosecha y la densidad de plantas de margall fue de tipo lineal,  $R_{wf}$  viene dado por el término independiente  $a$ , de forma que la anterior igualdad queda como:

$$[a - (a + bD)] * P = C_h + C_a$$

En los ensayos en que dicha relación fue de tipo exponencial,  $R_{wf}$  viene dado por  $(a + b)$ , de forma que la anterior igualdad queda entonces:

$$[(a + b) - (a + br^D)] * P = C_h + C_a$$

donde  $a$ ,  $b$  y  $r$  son los parámetros de los modelos de regresión entre el rendimiento del cereal y la densidad de margall,  $D$  es la densidad de plantas de margall que tratamos de averiguar (en plantas/m<sup>2</sup>),  $P$  es el precio esperado de la cosecha (en ptas/g) y  $C_h$  y  $C_a$  son el coste del herbicida y el de su aplicación respectivamente (en ptas/m<sup>2</sup>).

Resolviendo estas ecuaciones para  $D$  se obtiene la densidad de plantas de margall a partir de la cual estaría justificado el realizar un tratamiento herbicida si la eficacia de éste fuera del 100 %. Como normalmente no se consiguen nunca estos valores de eficacia, hay que disminuir el valor de  $D$  en función de la eficacia esperada ( $E$ ), con lo que el umbral económico de tratamiento real ( $UE$ ) vendrá dado por:

$$UE = D * E$$

### 9.2.2. Supuestos realizados para el cálculo del umbral.

Como herbicida antimargall se ha elegido clortoluron por ser uno de los más utilizados en la región. Isoproturon, otro de los herbicidas más utilizado, tiene el mismo coste en ptas/litro que el anterior, por lo que los cálculos son equivalentes a los del clortoluron.

Como valor del coste del herbicida se ha tomado el precio de venta al público en 1996 que fue de 1000 ptas/l; como coste de la aplicación se ha tomado el valor medio de 1.000 ptas/ha de acuerdo con los precios vigentes en el mercado (M.A.P.A., 1996). La dosis del herbicida a aplicar es de 2,5 l/ha, por lo que el coste total del tratamiento se ha estimado en 3.500 ptas/ha.

Como rendimiento de la cebada en ausencia de mala hierba para la campaña 94/95 en Lleida se ha tomado el valor de 315 g/m<sup>2</sup> indicado por el modelo lineal ajustado a todas las parcelas. Para la campaña 95 llevada a cabo en Wongan Hills (Australia) se ha tomado el valor de 396 g/m<sup>2</sup> si la densidad de siembra del cultivo era de 25 o 50 kg/ha y el valor de 309 g/m<sup>2</sup> si la densidad de siembra era de 200 kg/ha, debido a que se ajustaron modelos diferentes en función de las densidades.

Como precio esperado del grano se ha tomado el precio medio que fue pagado a los agricultores durante el año 1995, que fue de 25 ptas/kg (M.A.P.A., 1996).

Respecto a la eficacia del herbicida, se han considerado tres diferentes eficacias con el fin de abarcar tres posibles situaciones: eficacia excelente (control del 96 % de la población), buena (85 %) o mala (45 %). Estos porcentajes y su valoración se basan en los resultados obtenidos por Taberner *et al.* (1996) en unos ensayos herbicidas contra *L. rigidum* realizados en Catalunya en campos de cereal de invierno.

### 9.2.3. Umbral económico.

El umbral económico de *Lolium rigidum* correspondiente a los ensayos analizados osciló entre 108 y 122 plantas/m<sup>2</sup> en Lleida y entre 25-29 plantas/m<sup>2</sup> y 2-3 plantas/m<sup>2</sup> en el ensayo de Wongan Hills para las densidades de siembra del cultivo de 200 kg/ha y 25/50 kg/ha respectivamente. Todos estos valores hacen referencia a una eficacia del herbicida buena (85 %) o excelente (96 %). Si la eficacia es mala (45%), el umbral se reduciría hasta 51 plantas/m<sup>2</sup> en el caso de Lleida y hasta 12 plantas/m<sup>2</sup> y 1 planta/m<sup>2</sup> en el caso de Wongan Hills para densidades de siembra del cultivo de 200 kg/ha y 25/50 kg/ha respectivamente (tabla 33).

Lo primero que muestran estos valores es que en Lleida se requirió una densidad de plantas de margall mayor que en Australia para que la pérdida de cosecha producida por competencia fuera

semejante e igual al coste del tratamiento. Es decir, para conseguir pérdidas de rendimiento equivalentes fue necesario que en Lleida hubiera una mayor población de margall en las parcelas. Otro factor importante a resaltar es que el umbral económico para las dos densidades de siembra más bajas del ensayo de Wongan Hills es de 1 a 3 plantas/m<sup>2</sup>, lo que equivale a decir que para esas densidades de cebada se debe mantener el campo prácticamente limpio de margall ya que las pérdidas que provocarían la simple presencia de una planta de *L. rigidum* ya casi sería equivalente al coste del tratamiento.

Estos resultados son debidos a la diferente competitividad del margall según las situaciones. En Lleida, el mayor umbral económico encontrado indica que fue la localidad en la que el margall se comportó de forma menos competitiva por lo que sería posible mantener poblaciones mayores en las parcelas; en Wongan Hills, el menor umbral económico indica que las poblaciones que se podrían tolerar en las parcelas habrían de ser menores ya que el margall se ha comportado de manera más competitiva y provoca mayores pérdidas. Estos resultados concuerdan con los de competencia expuestos en los capítulos 5 y 6, en donde se constató que las pérdidas del cereal en Australia fueron mayores y se atribuyeron en gran medida a que el margall se había comportado de forma más competitiva en esa localidad.

El bajo valor del umbral económico obtenido en el caso de densidades de siembra de cebada de 25 o 50 kg/ha en Wongan Hills reafirma la importancia que pueden llegar a tener las zonas de terreno con una baja densidad de cultivo en lo referente a potenciar las relaciones de competencia de la mala hierba sobre el cultivo. En estas áreas es necesario un control mucho más riguroso de las poblaciones ya que en ellas el margall y las malas hierbas en general pueden expresar todo el potencial de crecimiento que les confiere su plasticidad fenotípica y crecimiento indeterminado (Ghersa y Roush, 1993). No se ensayó ninguna densidad de cebada tan baja en Lleida pero posiblemente también el umbral económico hubiera sido bastante menor que el que se ha encontrado para el resto de densidades.

La importancia de conocer exactamente la eficacia del herbicida resulta ser poco importante con tal que el tratamiento tenga una eficacia aceptable (mayor del 85 %). La variación que se encuentra al considerar una eficacia del 85 o del 96 % en Lleida es de 14 plantas (de 108 a 122 plantas/m<sup>2</sup>) y en Wongan Hills de 4 (de 25 y 29 plantas/m<sup>2</sup>). Desde un punto de vista práctico al realizar el conteo de plantas en el campo, la diferencia de considerar un valor u otro es mínimo teniendo en cuenta que muchas veces es difícil contar exactamente todas las plantas debido a su pequeño tamaño o porque al emerger muy juntas no se pueden distinguir con facilidad. La diferencia más importante se encuentra al considerar una eficacia baja del herbicida (40 %), ya que entonces el umbral disminuye ostensiblemente: en Lleida baja hasta 51 y en Wongan Hills hasta 12 plantas/m<sup>2</sup>. Si el tratamiento realizado resulta que por diversas causas tiene una mala eficacia, las pérdidas provocadas por las plantas supervivientes continuaran siendo muy elevadas. Si antes de realizar el tratamiento ya se espera una mala eficacia habrá que realizarlo a un umbral económico mucho menor, es decir, será más probable que el tratamiento tenga que ser realizado. De ahí que para ahorrar costes, lo que es más importante sea asegurarse de que el tratamiento a realizar tuviera la mayor eficacia posible.

Los valores de los umbrales económicos calculados son comparables a los encontrados por otros autores en gramíneas y cereales de invierno. Zanin *et al.* (1993) encontraron umbrales para *Lolium multiflorum* en trigo situados entre 25 y 35 plantas/m<sup>2</sup> si se utilizaba como herbicida diclofopmetil e isoproturon mezclados con otros herbicidas; Vacher y Fabre (1986) también para *Lolium multiflorum* en trigo dieron un umbral de 35 plantas/m<sup>2</sup> pero se desconoce el herbicida. Sin embargo como el valor de los umbrales depende de la capacidad competitiva de la mala hierba y esta puede variar en función de factores tales como las condiciones ambientales, suelo, etc. es muy arriesgado realizar comparaciones. De ahí que Cousens *et al.* (1988) indiquen que la utilidad de los umbrales económicos de tratamiento pase por que la determinación de las relaciones entre pérdida de rendimiento y densidad de mala hierba sea lo más precisa y exacta posible ya que si los parámetros estimados tienen una baja precisión, el intervalo en el que se moverá el umbral económico puede que exceda el coste de la aplicación.

**Tabla 33.** Umbrales económicos para *Lolium rigidum* en cebada en Lleida (campaña 94/95) y Wongan Hills (campaña 95).  $R_{w}$  es el rendimiento de las parcelas libres de mala hierba (en g/m<sup>2</sup>) de acuerdo con los modelos de regresión ajustados entre el rendimiento de la cebada y la densidad de *Lolium rigidum* y presentados en los capítulos 5 y 6;  $a$ ,  $b$  y  $r$  son los parámetros de los modelos de regresión lineal y exponencial;  $P$  es el precio esperado de la cosecha (en ptas/gramo),  $C_h$  y  $C_a$  son el coste del herbicida y de su aplicación respectivamente (en ptas/m<sup>2</sup>),  $E$  es la eficacia esperada del tratamiento (en %) y  $UE$  es el umbral económico (en plantas/m<sup>2</sup>).

Localidad	$R_w$	$a$	$b$	$r$	$P$	$C_h+C_a$	$E$	$UE$
<b>Lleida</b>								
75 y 150 kg/ha	315	315,10	-0,11	---	0,025	0,35	96	122,2
							85	108,2
							40	50,9
-----								
<b>Wongan Hills</b>								
25 y 50 kg/ha	396	87,04	305,36	0,99	0,025	0,35	96	3,2
							85	2,8
							40	1,3
200 kg/ha	309	309,08	-0,47	---	0,025	0,35	96	28,6
							85	25,3
							40	11,9

### 9.3. Conclusiones.

El umbral económico del margall en el ensayo realizado en Lleida durante la campaña 94/95 osciló entre las 108 y 122 plantas/m<sup>2</sup> para una eficacia del tratamiento del 85 al 96 %. Como no se apreciaron diferencias en las pérdidas de rendimiento de la cebada en función de la densidad de siembra, el umbral económico resultó ser también independiente de la densidad del cultivo.

El umbral económico en el ensayo de Wongan Hills de la campaña 95 fue sensiblemente inferior al de Lleida y varió en función de la densidad del cultivo debido a que también las pérdidas de rendimiento variaron en función de la densidad de éste. Para la densidad de siembra de cebada de 200 kg/ha el umbral osciló entre 25 y 29 plantas/m<sup>2</sup> y para las densidades de 25/50 kg/ha entre 2 y 3 plantas/m<sup>2</sup>. La mayor capacidad competitiva demostrada por el margall en este ensayo hizo que las poblaciones de margall que podrían ser toleradas fueran menores que en Lleida.

Para densidades de siembra del cultivo bajas (25, 50 kg/ha) el umbral económico fue casi cero indicando que se debía mantener el campo completamente libre de *Lolium rigidum*. En esta situación el margall se comportó de manera muy competitiva y escasos individuos ya provocaron pérdidas que igualaban el coste del tratamiento.

El umbral económico se mostró dependiente de la localidad y posiblemente lo sea también de la densidad de siembra del cultivo tanto en cuanto estos factores pueden modificar la capacidad competitiva de las especies. Por extensión, también lo ha de ser de todos aquellos factores que modifiquen esta capacidad.

## Capítulo 10

### Conclusiones finales

1. El aumento de la densidad de siembra de la cebada ha permitido reducir de forma considerable el desarrollo y la capacidad reproductiva de *L. rigidum*. En el ensayo 92/93 se observó una disminución de la biomasa de la mala hierba del 85 %, del número de espigas del 80 %, del número de semillas del 60 % y del peso de 1000 semillas del 40 % al aumentar la densidad de cebada de 0 a 400 plantas/m<sup>2</sup>. En el ensayo 93/94 se observó una disminución de biomasa del 49 % al aumentar la densidad de cebada de 75 a 300 kg/ha y en la 94/95 del 23 % al aumentarla de 75 a 150 kg/ha. En Australia se consiguió una reducción del 70 % en la biomasa y el número de espigas de *L. rigidum* al aumentar la densidad de siembra del cultivo de 25 a 200 kg/ha.

2. En la campaña 93/94 no se observaron pérdidas de rendimiento en la cebada como consecuencia de la presencia de *L. rigidum*; fue un año extremadamente seco, en el que todas las plantas sufrieron un elevado estrés hídrico desde el inicio de la campaña; bajo estas condiciones parece que *L. rigidum* no se pudo establecer con éxito y la competencia que ejerció sobre la cebada fue muy débil y no pudo ser detectada.

3. En la campaña 94/95 la cosecha de cebada resultó afectada, disminuyendo de forma lineal conforme aumentaba la densidad de *L. rigidum*; esta pérdida de rendimiento fue semejante para las dos densidades de siembra de cebada utilizadas (75 y 150 kg/ha). Una densidad de 1000 plantas/m<sup>2</sup> de *L. rigidum* provocaron unas pérdidas del 36 % en la producción de cebada. La competencia se produjo esencialmente en un período temprano de la campaña, pues el único componente del rendimiento afectado fue el número de espigas por m<sup>2</sup> de la cebada (entre un 26 y un 33 % de reducción). En este período de tiempo hubo una importante disponibilidad de agua en el suelo debido a las importantes precipitaciones que tuvieron lugar los días previos a la siembra.

4. La competencia recíproca establecida entre ambas especies no se hizo evidente en términos de reducción de biomasa de las plantas hasta después del estadio Zadocks 12-13, que fue cuando los muestreos realizados pusieron en evidencia una reducción de biomasa tanto en el cultivo como en la mala hierba.

5. Las pérdidas de rendimiento en Australia oscilaron entre el 48 y el 100 %, siendo mayores en las parcelas con menor densidad de siembra del cereal (25 y 50 kg/ha). La competencia de *L. rigidum* con la cebada fue importante al inicio y al final del ciclo, afectando al número de espigas de la cebada y al peso medio de los granos. La presencia de *L. rigidum* produjo reducciones del 65 % en el número de espigas de la cebada y del 20 % en el peso de 1000 granos.

6. En Lleida la competencia más intensa tuvo lugar por nutrientes al inicio de la campaña, en el momento del ahijado; en Australia tuvo lugar por nutrientes al inicio de la campaña y por agua al final del ciclo, en el momento del llenado del grano.

7. Aunque se desconoce con precisión la influencia que ha tenido el contenido de agua del suelo sobre el desarrollo de las plantas en los ensayos y sobre las relaciones de competencia entre ellas, los datos que disponemos parecen sugerir que la presencia de este elemento ha determinado la intensidad de la interacción entre *L. rigidum* y cebada. Los períodos en los que observó que había tenido lugar competencia coincidieron con aquellos períodos en los que hubo agua disponible para las plantas en el suelo; en Lleida, en donde sólo hubo una elevada disponibilidad de agua en los meses iniciales de la campaña 94/95, sólo se detectó competencia ese año y en esa época; en Australia, en donde hubo una mayor disponibilidad de agua a lo largo de todo el ciclo, la competencia se detectó al inicio y al final del ciclo y las pérdidas de rendimiento globales fueron muy superiores a las de Lleida.

8. La ausencia de suficiente agua a disposición de las plantas parece afectar más a *L. rigidum* que a la cebada; si la carencia de agua se produce al inicio del ciclo, *L. rigidum* emerge más tarde que la cebada y se encuentra en desventaja con ésta que ya lleva explorando y explotando los recursos del medio durante más tiempo; si la carencia continua o se produce durante el ciclo, *L. rigidum* parece cesar su crecimiento y resultar muy afectado por la presencia de la cebada, de tal modo que lo que se observa es más bien una competencia de la cebada sobre *L. rigidum*.

9. La importancia de la densidad de siembra del cultivo en reducir las pérdidas producidas por la competencia de *L. rigidum* fue doble; por un lado se consiguieron reducir las pérdidas de rendimiento por el freno que provocó la cebada en el crecimiento de *L. rigidum* y que se manifestó por la menor biomasa que adquirieron plantas, al tener una menor biomasa la competencia que pudieron ejercer sobre la cebada fue menor; por otro lado se consiguió reducir la capacidad reproductiva de *L. rigidum*, con el consiguiente efecto beneficioso que esto conlleva para la siguiente campaña al disminuir la cantidad y el peso de la semilla de las cariósides que se incorporan al banco de semillas del suelo al final de la campaña.

10. La densidad de plantas, como variable descriptiva de la abundancia de mala hierba, no aporta ninguna información sobre el tamaño de las plantas sino únicamente en cuanto a su número. Si un determinado número de malas hierbas tiene un desarrollo mayor que otro como consecuencia de una emergencia más precoz o de que la densidad de cultivo es menor en esa área, su efecto competitivo sobre el cultivo también sería mayor y esto no quedaría reflejado de ninguna manera en ese dato de densidad que se habría tomado. La biomasa en cambio refleja diferencias de tamaño entre las plantas y por tanto incorpora en sí misma información sobre la densidad de siembra del cultivo y sobre el período de emergencia de la mala hierba. Esta variable proporciona estimaciones directas de las pérdidas de rendimiento del cultivo, al contrario que la variable densidad de plantas de *L. rigidum*, en donde es necesario tener en cuenta la densidad de siembra de la cebada para hallar o estimar las pérdidas.

11. *L. rigidum* se comportó de forma muy competitiva si la densidad de siembra del cereal fue baja (25, 50 kg/ha). Una mala siembra o una mala nacencia del cereal que produzca la aparición de rodales con una baja o nula densidad de cultivo facilitará el establecimiento, crecimiento y desarrollo de *L. rigidum* en esas áreas, apareciendo plantas altamente competitivas y con un mayor número y tamaño de semillas.

12. Las estimaciones de área foliar de *L. rigidum* llevadas a cabo en un estadio temprano de la campaña estuvieron altamente correlacionadas con las pérdidas de cosecha registradas al final de la campaña, con lo que parece posible establecer relaciones consistentes entre abundancia de *L. rigidum* al inicio de la temporada y pérdidas de cosecha al final de ella con el objetivo de elaborar modelos de predicción de pérdidas.

13. Las estimaciones de biomasa llevadas a cabo en un estadio temprano de la campaña estuvieron altamente correlacionadas con las de área foliar, por lo que parece factible utilizar directamente las estimaciones de biomasa para predecir las pérdidas de producción sin tener que determinar las áreas foliares, que son más difíciles de tomar. Las plantas de *L. rigidum* son aún muy pequeñas en esa época por lo que la determinación de las áreas foliares requeriría un aparato medidor altamente sensible o la utilización de técnicas de medición más complejas. El uso de biomasa evitaría estos problemas.

14. El umbral económico de tratamiento fue mayor en Lleida (de 108 a 122 plantas/m<sup>2</sup>, dependiendo de la eficacia esperada del tratamiento) que en Australia (de 25 a 29 plantas/m<sup>2</sup>). El mayor poder competitivo de *L. rigidum* en Australia también se ha reflejado en el valor del umbral económico. En el caso de muy bajas densidades de cebada (25 kg/ha), la alta capacidad competitiva de *L. rigidum* hizo que el tratamiento fuera ya rentable para una densidad de 2 plantas/m<sup>2</sup>, de acuerdo con los supuestos realizados.

15. El uso de un modelo empírico que explique la interferencia entre la cebada y *L. rigidum* basándose únicamente en datos de densidad o biomasa de mala hierba es poco preciso debido a la variabilidad de los resultados que se pueden presentar entre años y localidades. Esta variabilidad hace que los valores de los parámetros del modelo tengan una elevada desviación estándar y por tanto, los valores de predicción presenten una baja precisión. La utilización de modelos que permitan incorporar datos de tipo climático sería el proceder más válido para determinar la intensidad de la competencia entre *Lolium rigidum* y cebada con un mayor grado de precisión en áreas de clima mediterráneo, en donde uno de los principales factores limitantes para el crecimiento de las plantas es el agua.

## Capítulo 11

### BIBLIOGRAFÍA

- AMARO, P.; GUERREIRO, A.R. (1971). Infestantes de maior importancia nas searas de trigo em Portugal. **1<sup>er</sup> Symposium Nacional de Herbologia**. Lisboa. 7-18.
- ANTÚNEZ, M.; DOMINGO, F.; GARCIA, J.F.; BOIXADERA, J.; HERRERO, C. (1995). Cartografia detallada (escala 1: 25.000) dels sòls de l'àrea regada del Canal de Pinyana (el Segrià-Depressió Central Catalana). **Departament d'Agricultura Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya**. Informe no publicado.
- APPLEBY, A.P.; OLSON, P.D.; COLBERT, D.R. (1976). Winter wheat yield reduction from interference by Italian ryegrass. **Agronomy Journal**, 68: 463-466.
- ASPINALL, D. (1965). The effects of soil moisture stress on the groth of barley. II. Grain growth. **Australian Journal of Agricultural Research**, 16: 265-275.
- ASPINALL, D.; NICHOLS, P.B.; MAY, L.H. (1964). The effects of soil moisture stress on the groth of barley. I. Vegetative development and grain yield. **Australian Journal of Agricultural Research**, 15: 729-745.
- AULD, B.A.; TISDELL, C.A. (1986). Economic threshold/critical density models in weed control. **Proceedings of the European Weed Research Society Symposium 'Economic Weed Control'**. Wageningen. Holanda. 261-268.
- AVERY, G.J. L. (1986). The future of the cereals policy of the European Community. **Proceedings of the European Weed Research Society Symposium 'Economic Weed Control'**. Wageningen. Holanda. 29-38.
- BAKER, H.G. (1972). Seed weight in relation to environmental conditions in California. **Ecology**, 53: 997-1010.
- BOLÒS, O.; VIGO, J.; MASALLES, R.M.; NINOT, J.M. (1990). Flora Manual dels Països Catalans. Ed. Pòrtic S. A. 1247 pp.
- BORGES, A.E.L. (1975). Some germination and phenological aspects of *Lolium rigidum*. **Proceedings of the European Weed Research Society Symposium on Status, Biology and Control of Grassweeds in Europe**, 49-58.
- CADEVALL, J. (1936). Flora de Catalunya. **Institut d'Estudis Catalans, Secció de Ciències**, VI: 288-291.

- CARLSON, H.L.; HILL, J.E. (1985). Wild oat (*Avena fatua*) competition with spring wheat: plant density effects. **Weed Science**, 33: 176-181.
- CAREME, Cl.; FRASELLE, J. (1988). Connaissances recentes sur les populations des mauvaises herbes et les herbicides utilisés dans les cereales d'hiver en Tunisie. **VII International Symposium Biology, Ecology and Systematic of Weeds**, 2: 383-392, Dijon.
- CHIANG, H.C. (1979). A general model of the economic threshold level of pest populations. **FAO Plant Protection Bulletin**, 27: 71-73.
- COCKS, P.S.; DONALD, C.M. (1973). The germination and establishment of two annual pasture grasses (*Hordeum leporinum* Link and *Lolium rigidum* Gaud.). **Australian Journal of Agricultural Research**, 24: 1-10.
- COUSENS, R. (1985). A simple model relating yield loss to weed density. **Annals of Applied Biology**, 107: 239-252.
- COUSENS, R. (1987). Theory and reality of weed control thresholds. **Plant Protection Quarterly**, 2: 13-20.
- COUSENS, R. (1992). Weed competition and interference in cropping systems. **Proceedings of the 1st International Weed Control Congress**. Melbourne, 113-117.
- COUSENS, R. (1996). Comparative growth of wheat, barley, and annual ryegrass (*Lolium rigidum*) in monoculture and mixture. **Australian Journal of Agricultural Research**, 47: 449-64.
- COUSENS, R.; WILSON, B.J.; CUSANS, G.W. (1985). To spray or not to spray: the theory behind the practice. **Proceedings of the 1985 British Crop Protection Conference - Weeds**. 671-678.
- COUSENS, R.; DOYLE, C.J.; WILSON, B.J.; CUSANS, G.W. (1986). Modelling the economics of controlling *Avena fatua* in winter wheat. **Pesticide Science**, 17: 1-12.
- COUSENS, R.; BRAIN, P.; O'DONOVAN, J.T.; O'SULLIVAN, A. (1987). The use of biologically realistic equations to describe the effects of weed density and relative time of emergence on crop yield. **Weed Science**, 35: 720-725.
- COUSENS, R.; FIRBANK, L.G.; MORTIMER, A.M.; SMITH, R.G.R. (1988). Variability in the relationship between crop yield and weed density for winter wheat and *Bromus sterilis*. **Journal of Applied Ecology**, 25: 1033-1044.
- CUSANS, G.W.; WILSON, B.J. (1975). Some effects of crop row width and seed tare on competition between spring barley and wild oat, *Avena fatua* L., or common couch *Agropyron repens* (L.) Beauv. **Proceedings of the EWRS Symposium 'Status, Biology and Control of Grass Weeds in Europe'**, 77-86.

- DAVIDSON, R.M. (1990). Management of herbicide resistant annual ryegrass, *Lolium rigidum*, in crops and pastures. **Proceedings 9th Australian Weeds Conference**, Adelaide, 230-233.
- D.A.R.P., GABINET TÈCNIC DEL (1992). Estadístiques Agràries i Pesqueres de Catalunya. **Generalitat de Catalunya**. Barcelona.
- EVANS, S.A. (1977). The influence of plant density and distribution and applied nitrogen on the growth and yield of winter wheat and spring barley. **Experimental Husbandry**, 33: 120- 126.
- FIRBANK, L.G.; COUSENS, R.; MORTIMER, A.R; SMITH, R.G.R (1990). Effects of soil type on crop yield-weed density relationships between winter wheat and bromus sterilis. **Journal of Applied Biology**, 27: 308-318.
- FROUD-WILLIAMS, R.J.; CHANCELLOR, R.J.;DRENNAN, D.S.H. (1981). Potential changes in the weed floras associated with reduced cultivation systems for cereal production in temperate regions. **Weed Research**, 21: 94-109.
- GALES, K. (1983). Yield variation of wheat and barley in Britain in relation to crop growth and soil conditions - a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 34: 1085-1104.
- GALLAGHER, J.N.; BISCOE, P.V.; WALLACE, J.S. (1975). Barley and its environment. 5. Stability of grain weight. **Journal of Applied Ecology**, 12: 319-336.
- GAMMIE, D. (1996). Winter crop variety sowing guide 1996. **Division of Plant Industries, NSW Agriculture**. Orange. Australia. 71 pp.
- GARCIA-BAUDIN, J.M. (1982). Importancia de los "vallicos" en los cereales de invierno españoles. **Boletín del Servicio de Plagas**, 8: 179-184.
- GARCIA-BAUDIN, J.M. (1984). Espèces adventices graminées dans les céréales d'hiver (blé et orge) espagnoles. 3rd. **Symposium Weed Problems in the Mediterranean Area EWRS**. 389-396.
- GARCIA-BAUDIN, J.M. (1988). Gramineas adventicias en los cereales de invierno españoles. 2: Especies adventicias del género *Lolium* en los cereales (trigo y cebada) españoles. **Phytoma España**. Fascículo 2, pp. 33-55.
- GHERSA, C.M.; ROUSH, M.L. (1993). Searching for solutions to weeds problems. **BioScience**, 43(2): 105-109.
- GILL, G.S. (1995). Development of herbicide resistance in annual ryegrass populations (*Lolium rigidum* Gaud.) In the cropping belt of Western Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, 35, 67-72.

- GILL, G.S. (1996). Why annual ryegrass is a problem in Australian agriculture?. **Workshop on Wild Oats, Annual Ryegrass and Vulpia**. CRC Weed Management Systems. Working papers. Orange. Australia. No publicado.
- GILL, G.S.; POOLE, M.L. (1986). Variation in competitive ability of annual ryegrass in wheat crops of Western Australia. **Australian Weeds Research Newsletter**, 35: 15-19.
- GILL, G.S.; POOLE, M.L.; HOLMES, J.E. (1987). Competition between wheat and brome grass in Western Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 27: 291-294.
- GOLDSMITH, F.B.; HARRISON C.M.; MORTON A.J. (1986). Description and analysis of vegetation. En: Moore P.D. & Chapman S.B. eds. **Methods in Plant Ecology**. 2nd edition, Oxford, UK, Blackwell Scientific Publications, 437-524.
- GRAMSHAW, D.; STERN, W.R. (1977). Survival of annual ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud.) In a Mediterranean type environment. II. Effects of short term burial on persistence of viable seed. **Australian Journal of Agricultural Research**, 28: 93-101.
- GUERRERO, A. (1990). Cultivos herbáceos extensivos. Ed. **Mundiprensa**. Madrid. 751 pp.
- HAY, R.K.M.; WALKER, A.J. (1989). An introduction to the physiology of crop yield. **Longman Scientific and Technical**. Essex, England. 292 pp.
- HARPER, J.L. (1977). Population Biology of Plants. London. **Academic Press**. pp 892.
- HEAP, J.; KNIGHT, R. (1982). A population of ryegrass tolerant to the herbicide diclofop-methyl. **Journal of the Australian Institute of Agricultural Science**, 48: 156-157.
- IZQUIERDO, J., KUČ, A.; RECASENS, J. (1996). Using the Point-quadrat method to evaluate weed infestations at early observations. **Proceedings of the 9th EWRS Symposium 'Challenges for Weed Science in a Changing Europe'**. Budapest. 451-456.
- IZQUIERDO, J.; RECASENS, J. (1989). Efecto de la precipitación y de la temperatura en las germinación y mortalidad de las malas hierbas. **Actas de la Reunión 1992 de la Sociedad Española de Malherbología**. Lleida. 153-159.
- JANA, S. ; THAI, K.M. (1987). Patterns of changes of dormant genotypes in *Avena fatua* populations under different agricultural conditions. **Canadian Journal of Botany**, 65: 1741-1745.
- JAUZEIN, Ph.; MONTEGUT, J. (1983). Graminées nuisibles en Agriculture. **École Nationale Supérieure d'Horticulture de Versailles**. 390-401.
- KEMP, D.R., AULD, B.A.; MEDD, R.W. (1983). Does optimizing plant arrangements reduce interference or improve the utilisation of the space ?. **Agricultural Systems**, 12: 31-36.

- KLOOT, P.M. (1983). The genus *Lolium* in Australia. **Australian Journal of Botany**, 31: 421-35.
- KNEŽEVIĆ, S.Ž.; WEISE, S.F.; SWANTON, C.J. (1995). Comparison of models depicting density of *Amaranthus retroflexus* L. and relative leaf area as predictors of yield loss in maize (*Zea mays* L.). **Weed Research**, 35: 207-214.
- KROPFF, M.J. (1988). Modeling the effects of weeds in crop production. **Weed Research**, 28: 465-471.
- KROPFF, M.J.; van LAAR, H.H. (1993). Modelling crop-weed interactions. **CAB International**. Oxon. UK. 271 pp.
- KROPFF, M.J.; LOTZ, L.A. (1992). Systems approach to quantify crop-weed interactions and their application in weed management. **Agricultural Systems**, 40: 265-282.
- KROPFF, M.J.; SPITTERS, C.J.T. (1991). A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds. **Weed Research**, 31: 97-105.
- LEGUIZAMON, E.S.; VITTA, J.I. (1989). Análisis de la función del daño por sorgo de Alepo (*Sorghum halepense* (L.) Pers. en soja (*Glycine max* (L.) Merr.). **Proceedings of World Soybean Research Conference IV**. Buenos Aires, Argentina. Asociación Argentina de la soja, 1632-1638.
- LEMERLE, D.; MICHAEL, P.W.; SUTTON, B.G. (1979). The competitive abilities of wheat and triticale against different densities of *Lolium rigidum*. **Proceedings of the 7th Asian-Pacific Weed Science Conference 1979**, 447-450.
- LIEBL, R.; WORSHAM, A.D. (1987). Interference of Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum*) in wheat (*Triticum aestivum*). **Weed Science**, 35: 819-823.
- LOTZ, L.A.; KROPFF, M.J.; BOS, B.; WALLINGA, J. (1992). Prediction of yield loss based on relative leaf cover of weeds. **Proceedings of the First International Weed Control Congress**. Melbourne. Australia. Weed Science Society of Victoria, 2: 290-292.
- LOTZ, L.A.; KROPFF, M.J.; WALLINGA, J.; BOS, B.; GROENEVELD, R.M.W. (1994). Techniques to estimate relative leaf area and cover of weeds in crops for yield loss prediction. **Weed Research**, 34: 167-175.
- LOTZ, L.A.; CHRISTENSEN, S.; CLOUTIER, D.; FERNANDEZ-QUINTANILLA, C.; LÉGÈRE, A.; LEMIEUX, C.; LUTMAN, P.J.W.; PARDO IGLESIAS, A.; SALONEN, J.; SATTIN, M.; STIGLIANI, L.; TEI, F. (1996). Prediction of yield losses using relative leaf area models. **Second International Weed Control Congress**. Copenhagen. 61-66.
- LUSH, W.M.; GROVES, R.H. (1981). Germination, emergence and surface establishment of wheat and ryegrass in response to natural and artificial hydration-dehydration cycles. **Australian Journal of Agricultural Research**, 32: 731-739.

- LUTMAN, P.J.W. (1992). Prediction of the competitive effects of weeds on the yields of several spring-sown crops. IXème Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes. Dijon. Francia. ANPP, 337-345.
- M.A.P.A. (1986). Métodos oficiales de análisis de suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- M.A.P.A. (1996). Boletín mensual de estadística. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 8-9/1996.
- MARTIN, R.J.; CULLIS, B.R.; McNAMARA, D.W. (1987). Prediction of wheat yield loss due to competition by wild oats (*Avena* spp.). *Australian Journal of Agricultural Research*, 38: 487-499.
- MARRA M.C.; CARLSON, G.A. (1983). An economic threshold model for weeds in soybeans (*Glycine max*). *Weed Science*, 31: 604-609.
- McGOWAN, A.A. (1970). Comparative germination patterns of annual grasses in north-eastern Victoria. *Australian Journal of Agricultural Animal Husbandry*, 10: 401-404.
- MEDD, R.W.; AULD, B.A.; KEMP D.R.; MURISON, R.D. (1985). The influence of wheat density and spatial arrangement on annual ryegrass, *Lolium rigidum* Gaudin, competition. *Australian Journal of Agricultural Research*, 36: 361-71.
- MONAGHAN, N.M. (1980). The biology and control of *Lolium rigidum* as a weed of wheat. *Weed Research*, 20: 117-121.
- MONTEGUT, J. (1970). Atlas des Mauvaises Herbes. *Procida*.
- MUMFORD, J.D.; NORTON, G.A. (1984). Economics of decision making in pest management. *Annual Review of Entomology*, 29: 157-174.
- O'DONOVAN, J.T.; de St REMY, E.A.; O'SULLIVAN, P.A.; DEW, D.A.; SHARMA, A.K. (1985). Influence of the relative time of emergence of wild oat (*Avena fatua*) on yield loss of barley (*Hordeum vulgare*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Science*, 33: 498-503.
- OLARRIETA, J.R.; ASCASO, E.; BOIXADERA, J. (1991). Mapa de sòls detallat (escala 1: 25.000) de l'àrea regable del Canal Algerri-Balaguer (La Noguera). Departament d'Agricultura Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya. Informe no publicado.
- PEARCE, G.A.; QUINLIVAN, B.J. (1971). The control of annual ("Wimera") ryegrass in cereal crops. *Journal of Agriculture of Western Australia*, (4<sup>th</sup> series) 12: 558-62.
- PETERS, N.C.B. (1984). Time of onset of competition and effects of various fractions of an *Avena fatua* population on spring barley. *Weed Research*, 24: 305-315.



- POOLE, M.L. (1979). Competition between crops and ryegrass. **Proceedings of the Western Australia Weeds Conference**, Muresk, 95-97.
- POOLE, M.L.; GILL, G.S. (1987). Competition between crops and weeds in southern Australia. **Plant Protection Quarterly**, 2: 86-96.
- POWLES, S.B.; MATHEWS, J.M. (1991). Multiple herbicide resistance in annual ryegrass (*Lolium rigidum*), the driving force for the adoption of integrated weed management. En **'Resistance 91-Achievements and Developments in Combating Pesticide Resistance'**. Eds. I. Denholm, A. Devonshire y D. Hollomon. Elsevier Applied Science: Londres y Nueva York. 75-87.
- RADOSEVICH, S.R.; HOLT, J.S. (1984). Weed ecology: Implications for vegetation management. Ed. **J. Wiley and Sons**. New York. 827 pp.
- RADOSEVICH, S. R.; ROUSCH, M.L. (1990). Cap 16-The role of competition in agriculture. En **'Perspectives on Plant Competition'**. Edited by J.B. Grace y D. Tilman. Academic Press, Inc., 341-363.
- RECASENS, J.; RIBA, F.; IZQUIERDO, J.; FORN, R.; TABERNER, A. (En prensa). Gramíneas infestantes de los cereales de invierno de Cataluña. **Ecología**.
- RERKASEM, K., STERN, W.R.; GOODCHILD, N.A. (1980a). Associated growth of wheat and annual ryegrass. I. Effect of varying total density and proportion in mixtures of wheat and annual ryegrass. **Australian Journal of Agricultural Research**, 31: 649-658.
- RERKASEM, K., STERN, W.R.; GOODCHILD, N.A. (1980b). Associated growth of wheat and annual ryegrass. II. Effect of varying the time of ryegrass germination in stands of wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**, 31: 659-672.
- RERKASEM, K., STERN, W.R.; GOODCHILD, N.A. (1980c). Associated growth of wheat and annual ryegrass. III. Effects of early competition on wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**, 31: 1057-1067.
- RIBA, F.; RECASENS, J.; TABERNER, A. (1990). Flora arvense de los cereales de invierno de Cataluña. **Actas Reunión SEMh 1990**, 239-246. Córdoba.
- SANS, F.X. (1991). Estudios sobre la dinámica de poblaciones de la flora arvense en conreus arboris de secà a la comarca de les Garrigues. **Tesis doctoral**. Inédita. 67-77.
- SKORDA, E.A.; EPTHIMIADIS, P. (1989). Effect of wheat seed rate on *Lolium rigidum* competition. **Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference -Weeds-**, 399-404.
- SMITH, D.F. (1968). The growth of barley grass (*Hordeum leporinum*) in annual pasture. 1. Germination and establishment in comparison with other annual pasture species. **Australian Journal expl. Agricultural animal Husbandry**, 8: 478-483.

- SPITTERS, C.J.T.; AERTS, R. (1983). Simulation of competition for light and water in crop weed associations. **Aspects of Applied Biology**, 4: 467-484.
- STREIBIG, J.C.; COMEBELLACK, J.H.; AMOR, R.L. (1984). Regional differences in the weed flora of Victorian cereal crops. **Plant Production Quarterly**, 4: 111-114.
- STREIBIG, J.C.; COMBELLACK, J.H.; PRITCHARD, G.H.; RICHARDSON, R.G. (1989). Estimation of thresholds for weed control in Australian cereals. **Weed Research**, 29: 117-126.
- TABERNER, A. (1996). Biología de *Lolium rigidum* Gaud. Como planta infestante del cultivo de cebada. Aplicación al establecimiento de métodos de control. **Tesis doctoral**. Inédita.
- TABERNER, A.; ROQUE, A.; TARRAGÓ, R.; BISA, R.; SOLÉ, M.; MASANÉS, J.; CASTELLÀ, A. (1996). Control de males herbes en cereals d'hivern. Resultats dels assaigs de les campanyes 1995 i 1996. **Catalunya Rural i Agrària**, 27: 28-38.
- TABERNER, A.; RIBA, F.; RECASENS, J. (1992). Effet de la profondeur d'enfouissement et du regime pluviometrique sur la longevité de semences de *Lolium rigidum* Gaud. et *Bromus diandrus* Roth. **IXème Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes**. 15-23.
- TERRELL, E.E. (1968). A taxonomic revision of the genus *Lolium*. **U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1392**.
- TUTIN, T.G.; HEYWOOD, V.H.; BURGESS, N.A.; MOORE, D.M.; VALENTINE, D.H.; WALTERS, S.M. WEEB, D.A. (1964-80). **Flora Europaea**. Vol. 5. Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- TORNER, C.; GONZALEZ-ANDUJAR, J.L.; FERNANDEZ-QUINTANILLA, C. (1991). Wild oat (*Avena sterilis* L.) competition with winter barley: plant density effects. **Weed Research**, 31: 301-307.
- VACHER, C.; FABRE, E. (1986). Contribution a l'étude de le periode de concurrence d'*Alopecurus myosuroides* (L.) Huds. Et de la nuisibilité de *Lolium multiflorum* L. **Proceedings of the European Weed Research Society Symposium 'Economic Weed Control'**. Wageningen. Holanda. 129-136.
- VERSCHWELE, A.; NIEMANN, P. (1992). Influence of morphology of winter wheat cultivars on light penetration in stand and on the weeds. **16<sup>th</sup> German Conference on Weed Biology and Control**, 181-189, Stuttgart-Hohenheim.
- VITTA, J.I. (1992). Aplicación de modelos matemáticos a la competencia entre cultivos y malas hierbas, **ITEA**, 88V, 3: 153-165.
- VITTA, J.I.; FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. (1996). Canopy measurements as predictors of weed-crop competition. **Weed Science**, 44(3): 511-516.

VITTA, J.I.; SATORRE, E.H.; LEGUIZAMON, E.S. (1994). Using canopy attributes to evaluate competition between *Sorghum halepense* (L.) Pers. and soybean. *Weed Research*, 34: 89-97.

WILLEY, R.W.; HOLIDAY, R. (1971). Plant population and shading studies on barley. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 77: 445-452.

WILSON, B.J.; PETERS, N.C.B. (1982). Some studies of competition between *Avena fatua* L. and spring barley. I. The influence of *A. fatua* on yield of barley. *Weed Research*, 22: 143-8.

WILSON, B.J.; WRIGHT, K.J. (1990). Predicting the growth and competitive effects of annual weeds in wheat. *Weed Research*, 30: 201-211.

WRIGHT, K. J. (1993). Weed seed production as affected by crop density and nitrogen application. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference -Weeds-*, 275-280.

ZADOCKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAC, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421.

ZANIN, G.; BERTI, A.; TONIOLO, L. (1993). Estimation of economic thresholds for weed control in winter wheat. *Weed Research*, 33: 459-467.

ZIMDAHL, R.L. (1980). Weed crop competition. A review. Published by **International Plant Protection Center**. Oregon State University. Corvallis, Oregon. USA. Edited by A.E. Deutsch. 194 pp.







