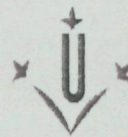




Universitat de Lleida
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària
Departament d'Hortofructicultura, Botànica i Jardineria
Unitat de Botànica



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

Universitat de Lleida
Registre General

27 GEN. 1997

TESI DOCTORAL

E: 353

S:



(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, appearing to read "Jordi Recasens".

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read "César Fernández-Quintanilla".

LLEIDA 1996

0101-0000

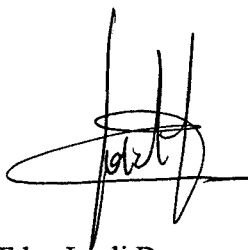
D. Jordi Recasens Guinjuan, Profesor Titular de Universidad del Departamento d'Hortofructicultura Botànica i Jardineria de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agraria, de la Universitat de Lleida, y

D. César Fernández-Quintanilla Gallastegui, Colaborador Científico del Departamento de Protección Vegetal del Centro de Ciencias Medioambientales del CSIC, en Madrid

HACEN CONSTAR

Que el presente trabajo titulado "Competencia entre margall (*Lolium rigidum* Gaudin) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) en condiciones de cultivo mediterráneas" que presenta el Ingeniero Agrónomo D. Jordi Izquierdo i Figarola para optar al grado de Doctor por la Universitat de Lleida, ha sido realizado bajo su dirección y autorizan con esta fecha su presentación

Y para que conste, firman el presente en Lleida y en Madrid el 18 de diciembre de 1996



Fdo: Jordi Recasens Guinjuan



Fdo: César Fernández-Quintanilla Gallastegui

*A la meva àvia, que en pau descansi
Al meu "abuelo" i a Cèlia, que en pau descansin
Als meus pares i germana*

ÍNDICE

Agraïments	IX
Resumen	X
1. Presentación	1
2. Principales características de <i>Lolium rigidum</i> Gaud. como mala hierba	3
El género <i>Lolium</i> . Origen y taxonomía	3
Ecología de <i>Lolium rigidum</i> Gaud.	5
Producción de semillas	5
La dormición de la semilla y la germinación	5
Emergencia de <i>L. rigidum</i>	6
Características del ciclo vegetativo de <i>L. rigidum</i>	7
Importancia y distribución de <i>Lolium rigidum</i>	8
Distribución de <i>L. rigidum</i> en Catalunya	8
Distribución de <i>L. rigidum</i> en Western Australia (Australia Occidental)	9
3. La competencia de <i>Lolium rigidum</i> en los cereales	13
Noción de competencia	13
Factores que afectan a la competencia	14
Factores relacionados con las plantas	14
Las características del cultivo	14
Las características de la mala hierba	15
Factores relacionados con el medio ambiente	16
Modelos para el estudio de la competencia	18
4. Objetivos del estudio de competencia	20
5. Estudio de la competencia entre <i>Lolium rigidum</i> y cebada en Catalunya	21
Localización de los ensayos	21
Caracterización del medio	23
El medio edáfico	23
Textura	23
Características químicas	24
Climatología	24
Las temperaturas	26
La precipitación	27
El contenido de agua del suelo	28
Material vegetal	30
Metodología	31
Diseño experimental	31
Prácticas culturales	32
Estimaciones de biomasa	33
Estimación de la cosecha	35
Estimación de la humedad del suelo	36
Análisis estadísticos	39
Incidencias durante las campañas	40
La competencia evaluada durante el desarrollo de la campaña	41
Resultados del efecto de la cebada sobre <i>L. rigidum</i> .	41
Resultados del efecto de <i>L. rigidum</i> sobre la cebada	44
Discusión	47
La competencia evaluada al final de la campaña	48
Resultados del efecto de la cebada sobre <i>L. rigidum</i> . Campaña 92/93	48
Efecto sobre la biomasa	48
Efecto sobre el número de espigas	48
Efecto sobre el número de semillas por espiga	49
Efecto sobre el peso de 1000 semillas	49

Discusión	49
Resultados del efecto de la densidad de siembra de cebada sobre <i>L. rigidum</i> .	
Campañas 93/94 y 94/95	52
Efecto sobre la biomasa	52
Efecto sobre el número de espigas	53
Discusión	53
Resultados del efecto de la competencia de <i>L. rigidum</i> sobre la cebada.	
Campañas 93/94 y 94/95	57
Efecto sobre el rendimiento y las pérdidas de rendimiento	57
Efecto sobre el número de espigas	64
Efecto sobre el número de granos por espiga	68
Efecto sobre el peso de 1000 granos	72
Efecto sobre la biomasa total de cebada	76
Relación entre el rendimiento y los componentes del rendimiento	81
Discusión	82
Conclusiones del ensayo de Lleida	85
6. Estudio de la competencia entre <i>Lolium rigidum</i> y cebada en Western Australia	86
Características generales	86
Localización del ensayo	88
Caracterización del medio	88
El medio edáfico	88
Climatología	90
Material vegetal	91
Metodología	92
Diseño experimental	92
Prácticas culturales	92
Estimaciones de los parámetros demográficos	93
Estimación de la cosecha	93
Análisis estadísticos	94
Resultados del efecto de la densidad de cebada sobre <i>L. rigidum</i>	95
Efecto sobre la biomasa	95
Efecto sobre el número de espigas	95
Resultados del efecto de la competencia de <i>L. rigidum</i> sobre la cebada	98
Efecto sobre el rendimiento y las pérdidas de rendimiento	98
Efecto sobre el número de espigas	103
Efecto sobre el número de granos por espiga	106
Efecto sobre el peso de 1.000 granos	108
Efecto sobre la biomasa del cultivo	111
Relación entre el rendimiento y los componentes del rendimiento de la cebada	114
Conclusiones del ensayo de Wongan Hills	116
7. Análisis comparativo de la interacción <i>Lolium rigidum</i>/cebada en ambos territorios	117
Introducción	117
Efecto de la cebada sobre la biomasa de <i>L. rigidum</i>	118
Efecto de <i>L. rigidum</i> sobre la cebada	122
Efecto sobre el rendimiento	122
Efecto sobre el número de espigas	123
Efecto sobre la biomasa	124
Conclusiones	126
8. Análisis predictivo de pérdida de cosecha a partir de estimaciones de área foliar	127
Introducción	127
Objetivos de las determinaciones de área foliar	129
Metodología empleada en la estimación del área foliar	129
Relaciones entre el área foliar y la biomasa de <i>L. rigidum</i>	131
Relación entre el área foliar de <i>L. rigidum</i> y las pérdidas de rendimiento de la cebada	133
Conclusiones	135

9. Determinación del umbral económico de daños	136
Introducción	136
Cálculo del umbral económico de <i>L. rigidum</i> en cebada	138
Modelo utilizado	138
Supuestos realizados para el cálculo del umbral	139
Umbral económico	139
Conclusiones	142
10. Conclusiones finales	143
11. Bibliografía	146

Agraïments

Agraeixo en primer lloc la Direcció General de Recerca per haver-me atorgat una beca de Formació de Personal Investigador (FI/ 92-58) per dur a terme el doctorat, així com una borsa de viatge per fer una estada de 3 mesos a Austràlia. També vull agrair la mateixa entitat per atorgar-me una beca per a la Recerca a l'Estranger i de Cooperació Interregional relacionada amb els estudis de 3r cicle que estava duent a terme i que em va permetre perllongar la meua estada a Austràlia 3 mesos més.

També faig palés el meu agraïment a totes aquelles persones que han fet possible la meua participació en l'anomenat "Proyecto de Investigación del Plan Nacional de I+D en Ciencias Agrarias CICYT" titulat "Ecologia y control de *Lolium rigidum* en sistemas de producció sostenibles para áreas de secano: demografía y asignación de recursos" (AGF93-0752-C04-04), mercés al qual he pogut realitzar la tesi doctoral. En atenció a les persones d'altres parts de l'Estat que han participat en aquest projecte, la tesi ha estat redactada en castellà.

Tot seguit vull expressar el meu agraïment a les següents persones que m'han ajudat d'una manera o altra en la realització d'aquest treball:

El Dr. **Jordi Recasens**, professor titulat del Departament d'Hortofructicultura, Botànica i Jardineria, i el Dr. **César Fernández-Quintanilla**, col·laborador científic del Departamento de Protección Vegetal del Centro de Ciencias Mediambientales del CSIC de Madrid, co-directors d'aquesta tesi, per haver-me donat l'oportunitat de participar en el "projecte Lolium" i pels seus consells i ajut durant la fase experimental del treball i en la fase de redacció.

El Dr. **Andreu Taberner**, cap de la Secció de Malherbologia del S.P.V.-DARP de la Generalitat de Catalunya, i el Sr. **Antonio Roque**, pel suport logístic que em van facilitar per a la realització dels assaigs i per ajudar-me en la feina "práctica" de camp en molts moments de la campanya.

La família **Lladonosa**, per cedir-me un del seus camps per dur a terme els assaigs i al seu noi, en Josep, per fer de tractoriste en el moment de la sembra.

Na **Maria**, del laboratori de cereals de l'IRTA i el Dr. **Carlos Cantero**, per deixar-me utilitzar alguns aparells per fer el processament de les mostres.

Com a conseqüència del viatge a Austràlia, vull agrair la Weed Science Branch del Department of Agriculture of Western Australia, principalment el Dr. **Gurjeet Gill** i el Dr. **Paul Pheloung**, per haver-me acollit i haver-me ajudat en la realització de l'assaig de camp, en la interpretació dels resultats obtinguts i en l'ús del software adient. També agraeixo la Biometrics Branch del mateix Departament pel seu inestimable ajut en l'anàlisi de les dades dels assaigs.

Finalment n'**Amela Kuč**, en **Ricard Blanco**, en **Joserra** i tots aquells que d'una manera o una altra m'han ajudat en coses o moments puntuals durant aquests darrers 4 anys de treball.

RESUMEN

Se ha realizado un estudio de la competencia ejercida entre margall (*Lolium rigidum* Gaud.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) en condiciones de cultivo mediterráneas. Se realizaron tres ensayos en Lleida durante el periodo 1992/1995 y uno en Wongan Hills (Australia Occidental) durante el año 1995. En cada ensayo se sembraron un rango diferente de densidades de cebada y margall con el objetivo de estudiar la influencia de la densidad del cultivo sobre el crecimiento y el desarrollo del margall y estudiar la influencia de la mala hierba sobre el rendimiento y los parámetros del rendimiento de la cebada.

El aumento de la densidad de siembra de cebada permitió reducir de forma considerable el desarrollo y la capacidad reproductiva de *L. rigidum*. En el ensayo de la campaña 92/93 se observó que al aumentar la densidad de cebada de 0 a 400 plantas/m² se producía 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 %. 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.

En la campaña 1993/94 realizada en Lleida no se detectó ningún efecto de competencia del margall sobre la cebada, atribuyéndose al hecho de que durante toda esa campaña hubo un elevado déficit de agua en el suelo que, junto a una germinación tardía del margall, hicieron que éste se mostrara menos competitivo. En la campaña siguiente, en cambio, se observó una pérdida de rendimiento semejante en todas las densidades de la cebada y que fue ajustada a un modelo de tipo lineal. Una densidad de 1000 plantas/m² 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 m² del cultivo (entre un 26 y un 33 % de reducción).

En la campaña 1995 realizada en Wongan Hills, las pérdidas de rendimiento oscilaron entre el 48 y el 100 %, siendo mayores en las parcelas con menor densidad de siembra del cereal. La competencia de *L. rigidum* con la cebada fue importante al inicio y al final del ciclo, de forma que su presencia produjo reducciones del 65 % en el número de espigas de la cebada y del 20 % en el peso de 1000 granos de la misma.

El mayor poder competitivo de *L. rigidum* en Australia también se reflejó en el valor del umbral económico; éste fue mayor en Lleida (de 108 a 122 plantas/m², dependiendo de la eficacia esperada del tratamiento) que en Wongan Hills (de 25 a 29 plantas/m²).

Capítulo 1

Presentación

Una estimación *a grosso modo* a escala mundial indica que un 10 % de las pérdidas en la producción agrícola son debidas al efecto de la competencia de las malas hierbas sobre los cultivos (Zimdahl, 1980). A pesar de que la utilización de herbicidas para su control está muy extendida, la aparición de problemas relacionados con su uso, como la creación de resistencias en las malas hierbas, la necesidad de reducir el coste de los inputs en los sistemas agrarios y la creciente preocupación social hacia los problemas medioambientales (en este caso referente al efecto que puedan tener los herbicidas y sus residuos sobre el medio ambiente), están ejerciendo una fuerte presión para el desarrollo de sistemas de producción que tengan un mínimo impacto ambiental. Aunque la aplicación de los herbicidas permitió la intensificación de la agricultura a mediados de siglo, actualmente parece evidente que es necesario desarrollar métodos alternativos de control que no comporten los problemas antes reseñados.

Para desarrollar estos métodos de control es necesario conocer con detalle los mecanismos que controlan el crecimiento de las plantas y también los que regulan las interacciones entre ellas. Una vez comprendidos estos mecanismos, se estaría en condiciones de elaborar planes de acción que, actuando sobre algún factor que influyera en éstos, permitieran reducir el efecto de las malas hierbas sobre el cultivo. De lo que se trataría es de incidir en el manejo de las poblaciones de malas hierbas más que de conseguir una erradicación completa de ellas en el campo. Actualmente, y con los trabajos experimentales sobre competencia realizados durante esta última década por investigadores de diferentes países, ya se empiezan a disponer de bastantes datos sobre esos mecanismos en diferentes malas hierbas en condiciones de campo.

Lolium rigidum Gaudin es una de las malas hierbas gramíneas más importantes de las áreas cerealistas de las regiones de clima mediterráneo. Reduce el rendimiento de los cultivos por competencia directa por los recursos del suelo y se considera que es una de las principales malas hierbas gramíneas infestantes en los campos de cereal de estas regiones (García-Baudín, 1988). Se dispone de ciertos conocimientos sobre su ecología, procedentes de trabajos realizados principalmente en Australia (Smith, 1968; McGowan, 1970; Gramshaw y Stern, 1977; Cousens, 1996) y también de su interacción con ciertos cultivos, principalmente triticale y trigo, en donde se han estudiado aspectos del cultivo tales como su época de siembra (Rerkasem *et al.*, 1980b), su densidad de siembra (Skorda y Efthimiadis, 1989; Medd *et al.*, 1985), la competitividad de las diferentes variedades (Appleby *et al.* 1976), el uso de nuevos sistemas y técnicas de laboreo (Froud-Williams *et al.*, 1981), etc.. Sin embargo, hay muy poca información disponible sobre la interacción con la cebada, siendo ésta el cultivo predominante en las áreas de secano de clima mediterráneo.

En el año 1989 la superficie dedicada a los cereales de invierno en Catalunya fue de unas 372.000 ha, de las cuales el 67,5 % eran ocupadas por cebada (DARP, 1992). Estimaciones

obtenidas a partir de una prospección realizada ese mismo año en cereal cifraron en unas 180.700 ha (45,8 %) el total de hectáreas que tenían *L. rigidum* como mala hierba, en las cuales dicha especie se encontró como mala hierba esporádica o a muy baja densidad en unas 36.300 ha (9,2 %) y al nivel de infestación en unas 144.400 ha (36,6 %) (Recasens *et al.*, en prensa). Teniendo en cuenta la alta proporción de superficie que ocupa la cebada, queda manifiesta la gran importancia de *Lolium rigidum* como mala hierba en este cultivo, con poblaciones muy abundantes en densidad y ampliamente distribuidas por todo el territorio.

La ausencia de trabajos de investigación sobre la interacción *L. rigidum*/cebada en agroecosistemas mediterráneos indujo a la realización de esta tesis, en la que se pretenden cuantificar las pérdidas de rendimiento en cebada en función de un factor agronómico como es la densidad de siembra del cultivo en el área cerealista de secano de Lleida. Complementariamente y con los mismos objetivos se realiza un estudio similar en la zona cerealista de Australia, con un clima muy similar pero con una distribución de las precipitaciones diferente.

Capítulo 2

Principales características de *Lolium rigidum* Gaud. como mala hierba

2.1. El género *Lolium*. Origen y taxonomía.

El género *Lolium* es originario de Oriente Medio, desde donde se extendió hacia el Mediterráneo y de ahí hacia el centro de Europa vía el río Danubio, y hacia el norte de África, siguiendo la colonización romana. Su expansión está relacionada con el desarrollo del cultivo del trigo en estas áreas (Jauzein y Montegut, 1983).

Desde que Linneo estableció los límites del género en 1753 este taxón ha sido objeto de estudio por parte de diferentes autores, lo que supuso la proliferación de nombres de especies y subespecies muchos de los cuales eran sinónimos porque hacían referencia a taxones ya descritos previamente. Otro hecho que indujo y aun induce a confusión es el referente a la facilidad que tienen las especies de este género para hibridarse entre ellas dando lugar a individuos con características intermedias entre unas especies y otras que han dificultado la delimitación de las especies. Aún hoy en día la clasificación botánica de este género es confusa y la delimitación de especies y subespecies aun no está claramente definida, como queda reflejado en la revisión que hace Kloot (1983) sobre la nomenclatura que diferentes autores dan al género *Lolium*.

De acuerdo con el tratamiento que realizan Terrell (1968) y Tutin *et al.* (1964-1980), el género *Lolium* está formado por 8 especies, todas ellas diploides ($2n=14$). De acuerdo con estos autores, tres de ellas, *L. perenne* L., *L. multiflorum* Lam. y *L. rigidum* Gaud. son autoincompatibles y de polinización cruzada anemófila; las restantes son autocompatibles. Aunque todas las especies son interfértiles y se pueden obtener híbridos experimentalmente, los cruzamientos entre ellas son raros en condiciones de campo. Entre las especies autoincompatibles se dan con frecuencia casos de intercruzamientos tanto en su área de distribución original como en sus nuevos hábitats, originándose híbridos fértiles que pueden continuar cruzándose y retrocruzándose obteniéndose casi una población continua para cada carácter (Kloot, 1983).

Las principales características de estas especies se recogen en el cuadro 1 a partir de datos aportados por Tutin *et al.* (1964-1980), Kloot (1983) y García Baudín (1992).

Lolium rigidum Gaudin es la especie objeto de estudio en esta tesis. El nombre común en Catalunya es margall, aunque también se conoce con el nombre de raigràs. Los nombres de margall o *Lolium rigidum* serán utilizados indistintamente en esta tesis.

Cuadro 1. Características ecológicas de las especies del género *Lolium*. El ciclo de las plantas puede ser anual (A), bianual (B) o perenne (P). Datos extraídos de Tutin *et al.* (1964-80), Kloot (1983) y García-Baudín (1988).

Especie	Ciclo	Altura	Distribución en Europa	Frecuencia	Carac. ecológicas	Hábitat
<i>L. multiflorum</i> Lam.	A/B	<130 cm	Sur. Pluriregional.	Común.	Alta respuesta al N.	Cultivada como forraje. Ruderal (márgenes de caminos, prados, pastos). Campos cultivados.
<i>L. perenne</i> L.	P	<90 cm	General. Pluriregional.	Común.	Alta respuesta al N. Suelos arcillosos.	Cultivada como forraje. Ruderal (márgenes de caminos, prados, pastos).
<i>L. persicum</i> Boiss. & Hohen	A	<60 cm	No citada.	No citada.		Ruderal (márgenes de caminos). Campos de cereal.
<i>L. rigidum</i> ssp. <i>rigidum</i> Gaudin	A	<70 cm	Sur. Latemediterránea.	Muy común.	Xerófila. Suelos con buen drenaje, calcáreos.	Campos cultivados.
<i>L. rigidum</i> ssp. <i>lepturoides</i> (Boiss.) Semmen & Maur. (<i>L. loliaceum</i> Hand. - Mazz.)	A	<35 cm	Sudeste. Latemediterránea.	Común.	Xerófila. Suelos con buen drenaje, calcáreos.	Campos cultivados.
<i>L. remotum</i> Schranck (<i>L. linicola</i> A. Braun)	A	<120 cm	Centro y este.	En regresión. Rara.	Xerófila. Alta respuesta al N.	Ruderal. Campos de lino.
<i>L. temulentum</i> L.	A	<120 cm	Norte y centro. Pluriregional.	En regresión. Rara.	Xerófila. Alta respuesta al N.	Campos de cereal.

2.2. Ecología de *Lolium rigidum* Gaud.

2.2.1. Producción de semillas.

El margall es un gran productor de semillas. McGowan (1970) encontró una media de 1.043 semillas por planta en campos agrícolas en Australia, pero sin especificar el tipo de cultivo. Rerkasem *et al.* (1980a) contabilizaron entre 31.000 y 45.000 semillas/m² en campos de trigo en regadío. Davidson (1990) habla de 26.000 por m² en un pasto no pastoreado. Taberner (1996) ha llegado a contabilizar hasta 27.700 semillas/m² y 940 semillas por planta en una parcela no tratada con herbicida. Estos dos últimos autores hablan de 2.500-9.000 semillas/m² de margall en campos de trigo y cebada tratados con herbicidas selectivos. Aunque estas cantidades pueden ser sensiblemente menores que los testigos no tratados, son aún muy elevadas y pueden causar problemas en los cultivos siguientes.

Esta gran capacidad que tienen las plantas individuales para producir un gran número de semillas y multiplicarse puede tener gran importancia de cara a la siguiente campaña agrícola, si se considera la cantidad de semillas que pueden aportar al suelo las plantas que escapen a la aplicación del herbicida.

2.2.2. La dormición de la semilla y la germinación.

Ensayos realizados en condiciones de laboratorio por Taberner (1996) indican que las semillas poseen una dormición innata muy importante que les impide germinar durante el verano aun cuando las condiciones de humedad sean favorables. Esta dormición parece atenuarse en otoño para ser reemplazada por una dormición secundaria en invierno que se mantiene con ligeras variaciones hasta la primavera, en que disminuye de nuevo.

Gramshaw y Stern (1977) indican que la ausencia de luz parece jugar un papel importante en la adquisición de estas dormiciones; hecho a tener en cuenta cuando se estudia la persistencia a corto plazo de las semillas enterradas en el suelo.

La emergencia de las semillas es máxima (79 %) cuando se encuentra en profundidades comprendidas entre 1,5 a 2,5 cm, decreciendo hasta un 34 % a una profundidad de 7,5 cm (Smith, 1968). Pearce y Quinlivan (1971) y Taberner *et al.* (1992) también encontraron resultados parecidos. Gramshaw y Stern (1977) sugieren que este efecto inhibitorio de la profundidad es causado por la pobre aireación existente a ese nivel.

Como ocurre en otras especies, la germinación de *L. rigidum* está altamente influenciada por la temperatura. Según Cocks y Donald (1973), la temperatura óptima de germinación varía entre 15 y 30° C, con una reducción a partir de esta temperatura y una inhibición completa a temperaturas superiores a 36° C. Es este mecanismo de dormición el que permite a la planta sobrevivir a las altas temperaturas del verano al impedir la germinación cuando hay lluvias estivales “accidentales”.

Las lluvias de finales del verano y otoño tienen también una gran influencia en la germinación. Estudios realizados por Lush y Groves (1981) mostraron que la semilla de *L. rigidum* podía sobrevivir a ciclos de hidratación/deshidratación, como por ejemplo los provocados por las lluvias estivales, pero que sin embargo estos ciclos podían doblar la velocidad de germinación al reducir la dormición de la semilla.

2.2.3. Emergencia de *L. rigidum*.

El patrón de emergencia de *L. rigidum* parece estar relacionado con el cultivo al cual está asociado y las condiciones climatológicas. Así, en Catalunya y en el caso de cereales de invierno, hay casi un único periodo anual de nacencia, el otoñal/invernal (Taberner, 1996) que se inicia con la llegada de las lluvias post-estivales y se puede extender hasta diciembre. En cambio, en el caso de cultivos frutícolas de secano es posible encontrar una segunda nacencia durante la primavera relacionada con las lluvias y las labores que se acostumbra a realizar en esa época del año (Sans, 1991).

En Australia McGowan (1970) encontró que alrededor de un 80 % de la emergencia de *L. rigidum* se efectúa a finales del otoño mientras que un 5 % tiene lugar a mediados del invierno, se supone que en cultivos de cereal.

De acuerdo con Gramshaw y Stern (1977) la emergencia de *L. rigidum* en otoño está regulada principalmente por la interacción entre la dormición que aun poseen las semillas, la ocurrencia de lluvias a finales del verano y principios del otoño y el periodo en que el suelo permanece con la humedad adecuada después de que empiecen las lluvias. En condiciones de campo, la temperatura y la luz parecen influir poco en la germinación al inicio de la estación.

Otro factor que favorece la germinación son las labores. Gill (1994 y 1995, datos no publicados) en un suelo franco arenoso en Western Australia encontró que en todos los tratamientos en que se había realizado alguna labor cultural en el suelo la germinación del margall era mayor y más rápida.

Un porcentaje importante de las semillas que no emergen durante las lluvias del primer año es aun viable un año más tarde. Taberner *et al.* (1992) encontraron en un ensayo en condiciones controladas que alrededor de un 20,3 % de semillas de margall situadas a 0,5 y 20 cm de profundidad permanecían viables un año después de ser enterradas al estar sometidas a un régimen pluviométrico de 300 mm anuales, condiciones muy semejantes a las de los secanos cerealistas

catalanes. Estos autores sugieren que ha habido una aparición de dormición relacionada con la falta de agua en ambas profundidades a la que puede haberse añadido, en el caso de las semillas enterradas a 20 cm, el efecto de la profundidad de enterramiento.

2.2.4. Características del ciclo vegetativo de *L. rigidum*.

Aunque en estudios realizados en los años 60 hablaban de la influencia del fotoperiodo y de la vernalización en el desarrollo de las plantas y el inicio de la floración, estudios más recientes (Borges, 1975) reconocen la mayor importancia de la temperatura sobre la duración de los estadios fenológicos de *L. rigidum*.

Del estudio de Taberner (1996) sobre fenología realizado en condiciones de campo en Lleida, se desprende que el desarrollo de los diferentes estados fenológicos esta muy relacionado con los grados-día acumulados, de manera que la fecha en la que se inicia un nuevo estado fenológico dependerá del número de días que se precisan para completar los grados-día del periodo anterior.

Según el mismo autor, el estado fenológico de mayor duración es el de plántula y posteriormente se produce una rápida evolución hasta llegar a la madurez; el final del ciclo está claramente marcado por las elevadas temperaturas estivales.

La mortalidad invernal de plántulas es muy reducida. En la misma área geográfica de Lleida, el autor anterior encontró mortalidades que oscilaban entre un 0 y 15 % en margall que competía con cebada. Por su parte, Izquierdo y Recasens (1989) en un campo agrícola en situación de no cultivo encontró una mortalidad del 10 %.

2.3. Importancia y distribución de *Lolium rigidum*.

L. rigidum es encontrado en una gran variedad de hábitats, desde márgenes de caminos y áreas ruderales a bosques y zonas arenosas, siendo capaz de colonizar estos medios rápidamente (Bolós *et al.* 1990). Como mala hierba de cereales y pastos se ha introducido en las regiones cálidas y templadas del mundo entero, desde los países ribereños del Mediterráneo hasta Australia (Jauzein y Montegut, 1983; Streibig *et al.*, 1984) a partir de su primitivo lugar de origen, el Mediterráneo Oriental.

En muchos países del área mediterránea se ha señalado a *L. rigidum* como una de las gramíneas arvenses más importantes en los cereales de invierno (Montegut, 1970; Careme y Fraselle, 1988; García-Baudín, 1992), siendo prácticamente la única especie de su género que se encuentra como infestante en ellos; en la Península Ibérica es muy abundante en los cereales portugueses (Amaro y Guerreiro, 1971) y españoles, con gran incidencia en la región del Duero y el nordeste peninsular (García-Baudín, 1984, Riba *et al.*, 1990, Recasens *et al.*, en prensa).

Varios caracteres de tipo ecológico presentes en esta especie han contribuido a su éxito como mala hierba en los campos agrícolas. Según Gill (1996), entre estos caracteres cabría resaltar:

a) Alta variabilidad genética. La inestabilidad genética de este diploide ha podido contribuir a su habilidad para adaptarse a un amplio rango de condiciones climáticas y edáficas. Se han visto importantes diferencias en la ratio de desarrollo de las poblaciones según la localidad de procedencia.

b) Gran producción de semillas. Ya ha quedado documentado este punto en el apartado 2.2.1. Las plantas tienen una gran capacidad de regenerar las poblaciones originales a partir de los individuos supervivientes a los tratamientos.

c) Alta plasticidad. *L. rigidum* tiene una excelente capacidad de ahijamiento y de explotar el espacio disponible.

d) Alta supervivencia de las semillas durante el verano. La dormición innata de las semillas previene la germinación estival. Hasta un 80 % de semillas germinan al inicio de la estación de crecimiento y del resto hasta un 20 % puede permanecer viable al año siguiente.

2.3.1. Distribución de *L. rigidum* en Catalunya.

Una de las primeras citas de la presencia de esta especie en campos cultivados fue proporcionada por Cadevall (1936) en su Flora de Catalunya, citándola como presente en la zona centro y nordeste de Catalunya. En una flora más reciente, Bolós *et al.* (1990) la consideran una planta común, presente en cultivos y zonas ruderales.

No es hasta 1989 en que se realiza una prospección por toda el área cerealista de Catalunya en la que se recogen datos que permitieron cuantificar la importancia actual de *L. rigidum* y de otras gramíneas en dichos cultivos y localizar geográficamente las áreas del territorio con mayor presencia de estas especies (Riba *et al.*, 1990; Taberner, 1996; Recasens *et al.*, en prensa). *L. rigidum* fue encontrado en el 55 % de las parcelas visitadas tanto de secano como de regadío y formaba parte de la flora arvense en el 75 % de las parcelas en las que se constataron infestaciones de malas hierbas gramíneas. Respecto a su distribución, *L. rigidum* fue observado en más del 90 % de las comarcas cerealistas (figura 1), presentando cualquier magnitud de infestación tanto en secano como en regadío pero normalmente con infestaciones superiores a 30 espigas/m² e incluso a 100 espigas/m² en algunos casos.

Estas observaciones confirmaron los datos aportados por García-Baudín (1982) en el sentido de la importante presencia de esta especie en la mitad norte de la Península Ibérica.

En resumen, *L. rigidum* es la especie gramínea más extendida en las áreas cerealistas de Catalunya y también la que se presenta, en general, con más abundancia.

2.3.2. Distribución de *L. rigidum* en Western Australia (Australia Occidental).

L. rigidum es también la especie gramínea más importante en Australia. Se ha encontrado en todos los estados y en muchas de las islas que rodean al continente, aunque está más extendido en la parte sur del país (figura 2). Otras dos especies también se hallan presentes; son *L. perenne* y *L. multiflorum* así como híbridos de estas tres (Kloot, 1983).

L. rigidum es una especie arvense frecuente en los campos agrícolas y los pastos. Aunque inicialmente se sembraba en la fase de pasto de las rotaciones de cultivo en el sur de Australia, actualmente está considerada muy nociva debido a que desarrolla toxicidad para el ganado cuando las agallas inducidos por los nematodos son colonizadas por un *Corynebacterium* sp. (Monaghan, 1980).

No se dispone de datos cuantitativos sobre la frecuencia y presencia de esta especie, pero por medio de observaciones propias y de comentarios escuchados a investigadores del país, los índices de infestación podrían ser muy elevados en determinadas áreas.

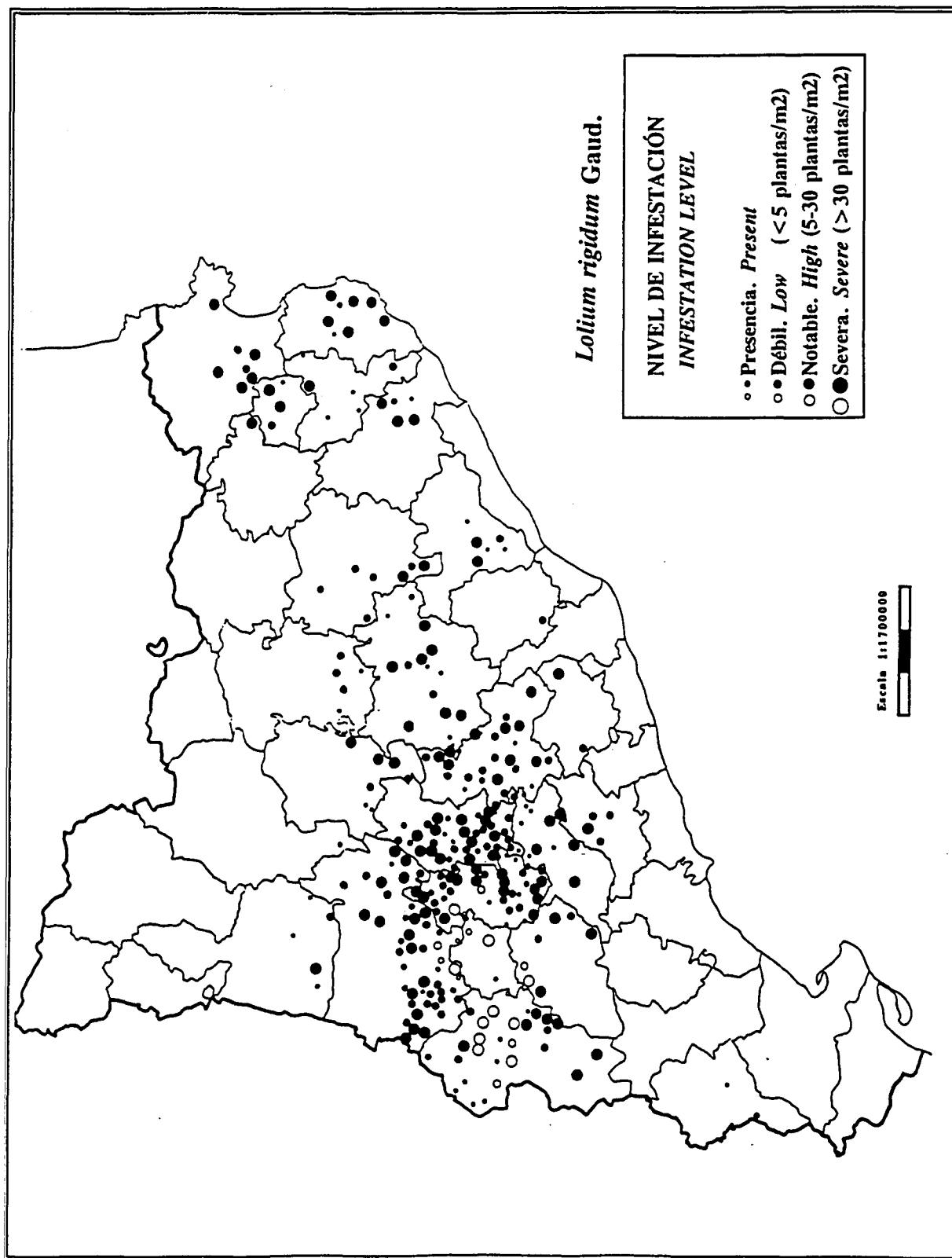


Figura 1. Distribución geográfica y niveles de infestación de *Lolium rigidum* Gaud. en Catalunya según Recasens *et al.* (en prensa). Círculos negros: secano; círculos blancos: regadio.

Diversos hechos contribuirían a la nocividad de esta especie en Australia (Gill, 1996):

a) Adaptación al clima. El sur de Australia es una región de clima mediterráneo, con veranos calurosos y secos e inviernos húmedos y poco rigurosos, a los que el margall está perfectamente adaptado por su origen también mediterráneo.

b) Introducción deliberada sobre una gran área. Antes de que se conociera su efecto tóxico sobre el ganado, se recomendó su utilización a gran escala por su fácil establecimiento, resistencia a las heladas, productividad y palatabilidad para el ganado.

c) Suelos relativamente poco fértiles con poco recubrimiento por parte de los cultivos. La baja fertilidad de los suelos australianos junto con la baja densidad de siembra utilizada en los cereales permite a las malas hierbas crecer y reproducirse con gran éxito en el cultivo.

d) Frecuente aporte de nuevas semillas al banco de semillas. Muchos ganaderos aun valoran el forraje temprano que proporciona *L. rigidum* durante la fase de pasto en la rotación de cultivos. *L. rigidum* es controlado sólo durante el año que precede al cultivo, por lo que queda un banco de semillas residual substancial que causa problemas al siguiente año.

e) Una corta estación de crecimiento. La estación útil para el crecimiento de los cultivos dura de 6 a 8 meses. Un retraso en la siembra para permitir a las malas hierbas germinar y eliminarlas entonces podría provocar una reducción de la producción ya que podría provocar que el cultivo se encontrase con una falta de humedad en el suelo antes de poder acabar su ciclo. Por ello los cultivos son sembrados normalmente antes de que gran parte del banco de semillas haya germinado.

f) Alta dependencia de los herbicidas selectivos. Debido a las anteriores razones, los agricultores australianos han confiado grandemente en los herbicidas selectivos y no selectivos para el control de las malas hierbas; sin embargo, este sistema es altamente susceptible de desarrollar resistencias, como así ha sucedido. Según Gill (1996), algunas estimaciones recientes sugieren que más de 0,5 millones de ha de la zona agrícola del sur de Australia están pobladas con malas hierbas resistentes, y estas cifras parecen ir en aumento cada año. El mismo autor añade que aunque no hay datos disponibles, el coste de *L. rigidum* para la agricultura australiana se debe haber incrementado sustancialmente en los últimos 10 años por la expansión del desarrollo de resistencias a los herbicidas selectivos advertido ya por diversos autores (Heap y Knight 1982; Powles y Matthews, 1991; Gill, 1995). El aumento del uso de técnicas de mínimo laboreo puede favorecer también la extensión de esta especie (Froud-Williams *et al.*, 1981).

Medidas culturales que complementasen la opción herbicida deberían ser desarrolladas para obtener un mejor control de las poblaciones de margall.

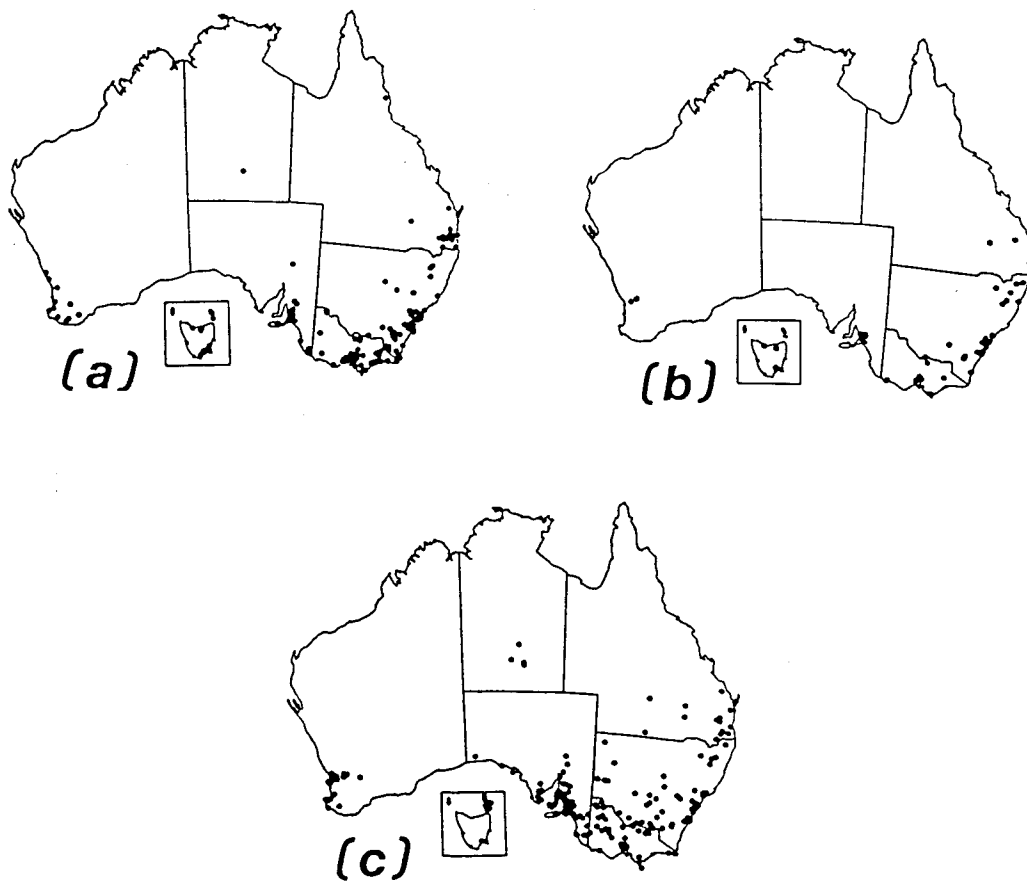


Figura 2. Localidades de Australia en las que se han encontrado especies de *L. perenne* (a), *L. multiflorum* (b) y *L. rigidum* (c) según Kloot (1983). La distribución actual de *L. rigidum* se extendería por dos grandes áreas correspondientes a las actuales zonas cerealistas del país: una localizada en el sudoeste de Australia Occidental y otra más amplia que abarcaría todo el sudeste del país.

Capítulo 3

La competencia de *Lolium rigidum* en los cereales

3.1 Noción de competencia.

Uno de los procesos más complejos que tienen lugar en los agroecosistemas es el relacionado con las interacciones que se establecen entre las plantas por el uso de la luz, el agua y los nutrientes del medio que las rodea. Cuando dos plantas interactúan pueden tener lugar varios procesos que pueden conducir a que una de ellas, las dos o ninguna resulten beneficiadas. Estos posibles procesos incluyen la competencia, alelopatía, parasitismo y comensalismo (Radosevich y Holt, 1984). Según Cousens (1992), competencia estrictamente definida sería la captura de un recurso limitante del medio por un individuo a expensas del otro; como posiblemente fue éste el primer proceso de interferencia definido a menudo el término “competencia” es utilizado como sinónimo de “interferencia”.

Muchos autores han desarrollado definiciones de competencia desde diferentes perspectivas y dando más importancia a unos factores o a otros. Zimdahl (1980) hace una recopilación de estas definiciones.

En las definiciones más actuales de competencia en los agroecosistemas se incluyen diversos factores que van asociados a estos procesos de interacción. Así, Kropff y van Laar (1993) incorporan el término rendimiento del cultivo, definiendo la competencia como el proceso de captura y utilización de elementos comunes por el cultivo y sus malas hierbas asociadas, en un sistema caracterizado por una disponibilidad de recursos (nutrientes, agua) relativamente alta debido al aporte externo que se realiza para maximizar los rendimientos. Estos autores consideran especialmente importante el efecto que tiene sobre el crecimiento del cultivo la captura de los recursos por parte de las malas hierbas porque esta acción resultará en unas pérdidas de rendimiento en el cultivo cuando la cantidad de recurso disponible no pueda abastecer a la demanda de todas las plantas. Posiblemente, esta una de las definiciones que refleja más fielmente lo que es y supone para el cultivo la competencia con las malas hierbas en los sistemas agrícolas actuales.

3.2. Factores que afectan a la competencia.

La competencia entre malas hierbas y cultivo es un proceso en el que intervienen dos factores, cada uno de los cuales tienen a su vez diferentes componentes:

- a) Las plantas: cultivo y mala hierba.
- d) El medio ambiente.

3.2.1. Factores relacionados con las plantas.

Radosevich y Roush (1990) exponen que la velocidad con la que se desarrolla una planta en un hábitat tan perturbado y productivo como es el agrícola es un factor clave en el éxito competitivo de una especie. No sería tan sólo el índice de crecimiento relativo, sino también las características fisiológicas, morfológicas y de distribución de recursos de las plantas las que influirían en ese éxito al incidir en el tamaño de la planta y en los parámetros de crecimiento del NAR (tasa de asimilación neta) y LAR (tasa de área foliar). Por todo ello, aquellos factores que afecten a estos índices tendrán finalmente un peso importante en el resultado del proceso de competencia. Factores tales como las características del cultivo y de la mala hierba, el tiempo de emergencia de las plantas, su distribución espacial en el campo, etc. pueden influir en el proceso de competencia.

3.2.1.1. Las características del cultivo.

El porte de la planta, altura, distribución de la canopia, eficiencia en la utilización de los recursos, etc. son factores que inciden en los índices anteriormente mencionados favoreciendo o desfavoreciendo al cultivo en su interacción con la mala hierba. Debido a que muchas de estas cualidades son intrínsecas no tan solo de las especies sino también de los cultivares, es previsible que haya diferencias significativas de respuesta según sea el cultivo y las variedades.

Existen diferencias entre la competitividad de los cultivos ante una misma mala hierba. El trigo parece ser más sensible a la competencia de *Lolium rigidum* que el triticale (Lemerle *et al.*, 1979) y la cebada (Poole, 1979). Cousens *et al.* (1987) también manifestó que la cebada era un mejor competidor que el trigo ante *Avena fatua*.

En cuanto a cebada y *L. rigidum*, en un estudio comparativo de crecimiento de estas dos especies y el trigo realizado por Cousens (1996), se indica que los hábitos de crecimiento de la cebada hacen que ésta tenga una mayor capacidad de suprimir a la mala hierba y de mantener sus rendimientos por las siguientes razones: tiene un desarrollo más rápido que las otras dos especies en las primeras fases del ciclo; tiene un alto índice de producción de hojas en las primeras fases

de desarrollo; tiene un hábito de crecimiento más postrado que el del trigo, ocupando un mayor espacio físico.

Respecto a las diferencias varietales, Appleby *et al.* (1976) encontraron que las variedades de porte alto de trigo resultaban menos afectadas por la competencia de *Lolium multiflorum* que las de porte más bajo. Resultados similares encontraron también Carlson y Hill (1985) en variedades de trigo creciendo en competencia con *Avena fatua*. Cultivares que permitan una mayor penetración de la luz tendrán una menor capacidad de suprimir el crecimiento de las malas hierbas y por tanto una menor capacidad competitiva respecto a otros que por sus características morfológicas tengan un mayor índice de cobertura de suelo (Verschwele y Niemann, 1992).

Relacionado con lo anterior está el factor densidad de cultivo. Cuanto más denso sea el cultivo mayor efecto habrán de tener esas cualidades individuales de las plantas sobre el crecimiento de la mala hierba. En trigo, Medd *et al.* (1985) encontraron que el efecto de *Lolium rigidum* sobre la producción fue reducido sustancialmente al incrementar la densidad de siembra de 40/75 a 200 plantas por m² y que este aumento provocó una reducción del peso medio de las plantas de margall, de su número de hijuelos y del área foliar. Skorda y Epthimiadis (1989) también encontraron que un aumento de la densidad de siembra del trigo redujo el número de espigas de *Lolium rigidum* y el peso seco, aumentando de forma paralela el rendimiento del cultivo. Estos autores concluyen que debido a este efecto supresor del crecimiento de la mala hierba por parte del cereal, los aumentos de rendimiento debidos al control químico de *Lolium rigidum* son mucho más importantes para bajas densidades de siembra que para altas.

El efecto de la mala hierba sobre el rendimiento también depende del nivel en el que se encuentre la densidad del cultivo y la mala hierba a la vez: el mayor efecto sobre el rendimiento se obtiene cuando el cultivo y la mala hierba se encuentran a densidades bajas o moderadas y se incrementan las densidades del primero (Carlson y Hill, 1985).

3.2.1.2. Las características de la mala hierba.

Además de la densidad de la mala hierba en el campo, otros factores tales como el biotipo (que determina la velocidad de crecimiento y las características morfológicas de las plantas) y el momento de emergencia de la planta con respecto al cereal parecen tener gran influencia en el proceso de competencia.

Las malas hierbas son genéticamente variables; esta diversidad hace que se hable de biotipos diferentes de una misma especie los cuales pueden tener diferente habilidad competitiva. En un ecosistema como es el agrícola, con una alta presión de selección impuesta por el uso de herbicidas o determinadas prácticas agrícolas, determinados biotipos pueden poseer ventajas competitivas respecto a otros y, a medio y largo plazo, llegar a sustituirlos si la presión de selección se mantiene constante (Jana y Thai, 1987).

Debido a que las malas hierbas emergen en sucesivas cohortes, el período de emergencia se prolonga un cierto espacio de tiempo con lo que su aparición en el campo puede ser anterior, simultánea o posterior a la del cultivo. La primera planta que se establece en un lugar empieza a

explorar y a utilizar los recursos disponibles en la zona, adquiriendo una clara ventaja sobre las plantas que se establecen más tarde. O'Donovan *et al.* (1985) señalan que para una determinada densidad de *Avena fatua*, el porcentaje de pérdida de rendimiento de la cebada era mayor cuanto más temprana era la emergencia de la mala hierba respecto al cultivo y que esta pérdida disminuía gradualmente a medida que la germinación era más simultánea. En ensayos con trigo y *Lolium rigidum*, Rerkasem *et al.* (1980b) encontraron que cuando el margall germinaba más tarde que el trigo su habilidad competitiva era menor, pues el trigo restringía de manera muy importante su desarrollo y crecimiento; incluso cuando ambos germinaban al mismo tiempo no se daba una competencia vigorosa entre ellos.

3.2.2. Factores relacionados con el medio ambiente.

Los factores climáticos, la localidad, las características edáficas del suelo y las prácticas culturales pueden modificar la competitividad de una especie al afectar al crecimiento de las plantas y hacer variar la disponibilidad de los recursos nutritivos. Radosevich y Roush (1990) llevaron a cabo unos estudios con diferentes especies en los que demostraron que había una relación consistente entre la capacidad de crecimiento y competitividad de una especie con los factores ambientales imperantes.

Los factores climáticos, como la precipitación, temperatura y viento, pueden tener una influencia sobre el crecimiento de las plantas y por tanto, a su vez, sobre el proceso de competencia. La capacidad de *L. rigidum* de competir con el trigo fue correlacionada con la precipitación durante las fases de germinación y establecimiento de las plántulas (Gill y Poole, 1986). Estos factores climáticos son más importantes cuanto más pequeñas son las semillas porque generalmente éstas tienen una velocidad de extensión de la radícula menor (Baker, 1972). Martin *et al.* (1987) consideraron el contenido de agua del suelo en su modelo de pérdida de rendimiento en trigo debido a *Avena* sp.

No se han encontrado otras referencias bibliográficas en las que se cuantifiquen otros factores climáticos pero, en principio, todos aquellos factores que tengan implicaciones sobre el crecimiento del cultivo y de la mala hierba (en el sentido de favorecer a uno más que a otro) son susceptibles de modificar el proceso de competencia. Es de esperar que la disponibilidad de agua, un recurso escaso en los agroecosistemas mediterráneos, sea *a priori* uno de los factores más importantes a tener en cuenta en nuestro país. De hecho, Poole y Gill (1987) encontraron evidencias que sugerían que condiciones prolongadas de suelo seco después de la siembra podían retardar el establecimiento de *L. rigidum* en relación con el trigo y reducir su efecto sobre el cultivo.

Respecto al medio edáfico, la fertilidad y principalmente la nitrogenada puede tener una gran influencia al favorecer a las especies que respondan más favorablemente a los aportes de nitrógeno. Carlson y Hill (1985) encontraron que la fertilización nitrogenada puede incrementar la competitividad de *Avena sterilis* en trigo. Rerkasem *et al.* (1980c) realizaron un experimento en invernadero con trigo y *L. rigidum* en tiestos con diferentes dosis de nitrógeno y momentos de emergencia; sus resultados indicaron que para altos contenidos de nitrógeno la capacidad

competitiva de la mala hierba fue siempre menor que la del trigo y sólo cuando el contenido era bajo y el margall germinaba antes que el trigo la capacidad competitiva era semejante. Entendían por capacidad competitiva la diferencia entre los rendimientos en asociación y en cultivo puro. Estos resultados parecen sugerir que *L. rigidum* está adaptado a suelos más pobres que el trigo y que responde con menos eficiencia que éste a los aportes de nitrógeno. Appleby *et al.* (1976) en un ensayo de trigo y *Lolium multiflorum* encontraron que la mayor disponibilidad de nitrógeno hizo más competitivo a *L. multiflorum* provocando en general mayores pérdidas de rendimiento en el trigo. Estos resultados que aparentemente contradicen a los anteriores procedieron de un ensayo realizado en el campo mientras que el anterior se realizó en un invernadero en condiciones controladas por lo que la explicación de la discrepancia se podría encontrar en las diferentes condiciones en que se realizaron los ensayos.

El tipo de suelo así como el clima fueron también reseñados por Firbank *et al.* (1990) en un ensayo entre trigo y *Bromus sterilis* como factores que tuvieron una clara influencia en la competencia.

Todos los factores enumerados inciden, en definitiva, en la tasa de crecimiento de las plantas. Debido a que dos o más de estos factores pueden actuar al mismo tiempo en diferente grado y/o en sentidos diferentes, el resultado de la competencia puede ser muy variable de un año para otro para un mismo binomio mala hierba/cultivo.

3.3. Modelos para el estudio de la competencia.

Las pérdidas de cosecha ocasionadas por infestaciones de una determinada mala hierba pueden venir definidas por ecuaciones matemáticas llamadas modelos de competencia. Estos modelos relacionan algún parámetro del cultivo, normalmente alguno que haga referencia al rendimiento o a alguno de sus componentes, con parámetros de abundancia de la mala hierba, normalmente la densidad de plantas, la biomasa o el área foliar.

Una revisión de los principales modelos matemáticos aplicados a la competencia entre cultivos y malas hierbas ha sido dada por Vitta (1992) que divide a los modelos en estáticos, que se caracterizan por ser descriptivos, y dinámicos, que consideran el tiempo como variable independiente. Los primeros consisten en regresiones simples que describen la pérdida de rendimiento de los cultivos en función de variables que caracterizan la importancia de la mala hierba mientras que los segundos incorporan otros factores que están involucrados en el proceso de competencia.

Kropff y van Laar (1993) hacen también una revisión de los modelos utilizados agrupándolos en modelos empíricos y mecanísticos. Los primeros consisten en ecuaciones de regresión que se desarrollan para describir el efecto de las malas hierbas sobre el rendimiento del cultivo, mientras que los segundos son modelos de simulación en los que se identifican los recursos por los cuales se compite y se describen los procesos ecofisiológicos asociados. Estos últimos permitirían conocer la importancia relativa de cada uno de los procesos en el resultado final de la interacción, sin embargo, no son muy útiles para fines de manejo debido a su compleja estructura y los numerosos parámetros que es necesario conocer previamente para su funcionamiento.

Uno de los modelos empíricos y estáticos más ampliamente aceptado es el modelo hiperbólico de Cousens (1985) en el que se relacionan pérdidas de rendimiento (Y_L) con densidad de mala hierba (d).

$$Y_L = Id / (1 + Id/A)$$

I es el porcentaje inicial de pérdida de rendimiento cuando la densidad de la mala hierba se aproxima a cero y A es la pérdida de rendimiento máxima en % cuando esta densidad se aproxima a infinito.

En este modelo un aumento de la abundancia de la mala hierba tiene un efecto aditivo sobre el rendimiento del cultivo hasta llegar a un cierto valor en el que la relación deja de ser lineal para tornarse curvilínea, debido a que las plantas de malas hierbas empiezan a competir entre sí.

Una ampliación de este modelo fue aportada por Spitters y Aerts (1983) y Kropff (1988) en el sentido de utilizar el área foliar relativa de las malas hierbas en lugar de la densidad, para integrar otros factores que hayan podido influir en el proceso de competencia. Este es el caso de la época de emergencia de las malas hierbas con respecto al cultivo factor que, como se ha visto en estudios

anteriores (Cousens *et al.*, 1987; Kropff, 1988) tiene una gran importancia en el resultado final de la competencia.

La ecuación en la forma referida a área foliar es:

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

donde q es el coeficiente de daño relativo, L_w es el área foliar relativa de la mala hierba y m es la pérdida máxima de rendimiento.

Otros autores han ajustado modelos mucho más simples a sus datos experimentales. Leguizamón y Vitta (1989) ajustaron un modelo lineal entre el rendimiento de soja y la densidad de hijuelos de *Sorghum halepense*; Torner *et al.* (1991) optaron por una relación exponencial del tipo $y = a \cdot \exp(-bx)$ para describir el rendimiento de cebada en función de la densidad de *Avena sterilis* al igual que hicieron Gill *et al.* (1987) para describir las pérdidas de rendimiento del trigo en función de la densidad de *Bromus diandrus*.

Aunque sean diferentes, estos modelos están relacionados con el hiperbólico. El modelo lineal es una simplificación del modelo hiperbólico, ya que éste es aproximadamente lineal hasta un cierto nivel umbral (Streibig *et al.*, 1989). Por otro lado, la relación exponencial puede considerarse muy semejante a la hiperbólica.

La respuesta del cultivo ante la interferencia de la mala hierba, aunque predecible en un sentido general, puede variar grandemente según el sistema de cultivo utilizado, la localidad en la que se lleven a cabo los ensayos y el año en que se realicen por la influencia que tienen los factores climatológicos. Por consiguiente, el uso de modelos empíricos no permite realizar buenas predicciones de intensidad de competencia en los sistemas agrícolas debido a que describen únicamente el efecto de las malas hierbas sobre el cultivo para las condiciones específicas en las que se ha desarrollado el ensayo y no permiten las generalizaciones. Los modelos mecanicistas, en fase de desarrollo actualmente, son una primera aportación para tratar de superar estas limitaciones pero tienen el inconveniente de que requieren un conocimiento previo elevado de los procesos ecofisiológicos envueltos en la competencia (de los que se carece en muchos casos), aparte del alto grado de complejidad que suelen tener estos modelos lo que dificulta su manejo.

Los modelos que se utilizaran en esta tesis pertenecen a los llamados modelos empíricos, es decir, modelos descriptivos que consisten en regresiones que describen el comportamiento de las variables de producción del cultivo en función de las variables que caracterizan la abundancia de la mala hierba.

Capítulo 4

Objetivos del estudio de competencia

El objetivo del presente trabajo es el de aportar información que permita un mejor conocimiento de la interferencia entre el margall (*Lolium rigidum*) y la cebada (*Hordeum vulgare*) en áreas de secano de clima mediterráneo. Para ello, los ensayos se llevaron a cabo durante tres años en Lleida, un área de secano cerealista de Catalunya, y fueron completados con un año más de ensayo realizado en Wongan Hills, que es otra área cerealista de secano con clima mediterráneo pero situada en Australia Occidental.

Se pretende conocer por un lado el poder competitivo de la cebada, por medio del estudio del efecto que ésta pueda tener sobre el crecimiento y desarrollo de *L. rigidum* a través de la utilización de diferentes densidades de siembra en los ensayos, y por otro lado el poder competitivo del margall, por medio de la estimación de las pérdidas de cosecha ocasionadas por diferentes densidades de margall y de ver cómo resultan afectados los componentes del rendimiento de la cebada por la competencia de la mala hierba. Además, también se pretende conocer el grado de relación que existe entre dos variables que sirven para cuantificar la presencia de la mala hierba, densidad de plantas y biomasa, con las pérdidas ocasionadas en el cultivo con el objetivo de saber cual de esas dos variables explica mejor las pérdidas.

Para la elaboración de estrategias de control integrado contra malas hierbas es necesario elaborar modelos predictivos de pérdida de cosecha basados en datos de infestaciones tomados en un momento temprano del ciclo; con este fin, se pretende comprobar si en el caso de *L. rigidum* y cebada las estimaciones realizadas cuando las plantas tienen sólo tres o cuatro hojas desplegadas permitirían predecir las pérdidas de rendimiento sufridas por el cereal al final de la campaña de forma precisa y fiable.

Finalmente, como en los sistemas integrados de control de malas hierbas otro de los aspectos que se tienen en cuenta es el que hace referencia a los costes y beneficios, se pretende dar a nivel orientativo unos valores del umbral económico de tratamiento para los años y las localidades en donde se han realizado los ensayos a partir de los datos de pérdidas de cosecha obtenidos.

Capítulo 5

Estudio de la competencia entre *Lolium rigidum* y cebada en Catalunya

5.1. Localización de los ensayos.

La Depresión Central Catalana pertenece a una cuenca sedimentaria de origen terciario que se formó por aporte de materiales erosionados procedentes de pequeñas cordilleras limítrofes, del Sistema Ibérico y del Pirineo. En esta cuenca, en la que predominan las margas y arcillas, los ríos Segre y Cinca excavaron amplios valles y depresiones configurando un relieve de altiplanos de una altitud inferior a los 400 m que presentan unas características climáticas muy homogéneas de tipo continental: veranos secos y calurosos e inviernos fríos y húmedos debido a las nieblas provocadas por las inversiones térmicas, frecuentes en esta época del año en esta área.

Los ensayos de competencia fueron llevados a cabo en el Pla del Segrià, en la Depresión Central Catalana, durante las temporadas 1992/93, 93/94 y 94/95 (**cuadro 2**). El ensayo del primer año fue realizado en el campus de la E.T.S. d'Enginyeria Agrària de Lleida (ETSEA), situado a 3 km de la ciudad de Lleida; los ensayos de los dos siguientes años se realizaron en una finca agrícola privada situada en el término municipal de Alguaire, a unos 16 km de Lleida, en el área cerealista de secano de Catalunya (**figura 3**).

Durante los ensayos no se realizó ningún aporte de agua de riego, estando condicionada la disponibilidad de agua en el suelo a la frecuencia e intensidad de las precipitaciones. Dada la proximidad entre ambas localidades (16 km) y a sus semejantes características geográfico-ambientales, se consideró que ambas localidades eran idénticas a efectos de análisis de los datos.

Cuadro 2. Localización de los ensayos mediante sus coordenadas geográficas.

	Latitud	Longitud	Altura	UTM
Lleida	41°37'33"N	0°35'42"E	192 m	BG9911
Alguaire	41°44'52"N	0°35'11"E	450 m	BG9822

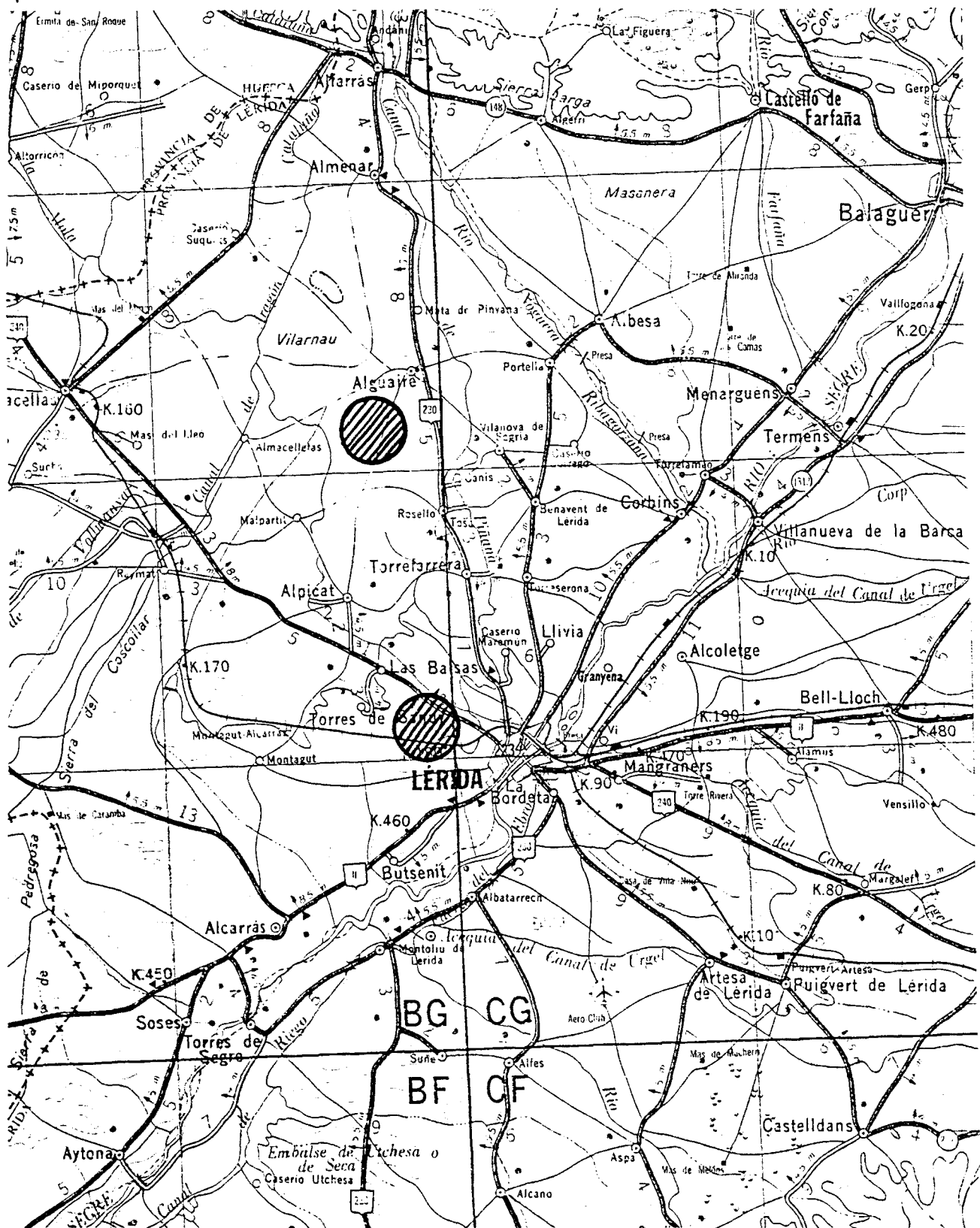


Figura 3. Mapa de localización de los ensayos en el campus de la ETSEA en Lleida (temporada 92/93) y en la finca de Alguaire (temporadas 93/94 y 94/95).

5.2. Caracterización del medio.

5.2.1. El medio edáfico.

El estudio fisicoquímico del suelo se realizó a partir de muestras de tierra tomadas al inicio de cada campaña. Los métodos de análisis utilizados fueron los aprobados por la Comisión de Métodos Oficiales de Análisis (M.A.P.A., 1986).

5.2.1.1. Textura.

El suelo de la parcela de la ETSEA de Lleida utilizado en la campaña 92/93 pertenece a la serie Boixadors (Antúnez *et al.*, 1995) y se clasifica como Xerochrept calcixerólico; es de textura franco-arcillosa con una capacidad de retención de agua (0,33 bares-15 bares) del 20 % en peso (tabla 1).

El suelo de la parcela de la finca de Alguaire utilizado en las campañas 93/94 y 94/95 pertenece a la serie Vedat (Olarieta *et al.*, 1991) y se clasifica como Paleorthid xerólico; es de textura franca, con una capacidad de retención de agua del 11% en peso (tabla 1).

Superficialmente, los suelos de ambas localidades tenían una tendencia al encostramiento por la inestabilidad de los agregados en húmedo. Esta característica, que es muy favorable durante el periodo de crecimiento de las plantas pues evita la evaporación directa del agua del suelo, sería desfavorable durante el periodo de germinación al dificultar ésta, pero la presencia de nieblas y humedad durante esta época impiden que tenga lugar un encostramiento.

Tabla 1. Resultados del análisis físico de los dos suelos en los que se ha realizado la experimentación: ETSEA Lleida (92/93) y Alguaire (93/94 y 94/95).

Fracciones	Campaña	
	92/93	93/94 y 94/95
Arena gruesa (%)	1,4	9,9
Arena fina (%)	29,9	32
Limo (%)	40,1	32
Arcilla (%)	31,6	26,1
Clase textural USDA	Franco-arcillosa	Franca
Retención de agua (% peso)	20	11

5.2.1.2. Características químicas.

En la **tabla 2** se presentan los resultados de los análisis químicos del suelo realizados al inicio de cada campaña.

Campaña 92/93.

La reacción del suelo fue moderadamente básica (pH 7,9), con una conductividad eléctrica baja (0,24 dS/m) no limitante. El porcentaje de materia orgánica oxidable fue bajo (1,6 %). Se trataba de un suelo muy calcáreo (33,1 % de carbonato cálcico equivalente).

El contenido en fósforo asimilable fue medio-bajo (12 ppm) y el de potasio extraíble fue bajo (180 ppm).

Campañas 93/94 v 94/95.

En ambas campañas los ensayos se realizaron en la misma finca. Los resultados del análisis de suelos realizados los dos años al inicio de la estación mostraron resultados muy semejantes.

La reacción del suelo fue moderadamente básica (pH 8,2) con una conductividad eléctrica baja (0,21 dS/m) no limitante. El contenido en materia orgánica oxidable fue bajo (1,8 %). Se trataba de un suelo poco calcáreo (14 % de carbonato cálcico equivalente).

El contenido en fósforo asimilable fue muy alto (48 ppm) y el de potasio extraíble medio (205 ppm). Había un nivel alto de magnesio (105 ppm).

5.2.2. Climatología.

Durante todo el período experimental se recogieron datos sobre precipitación, temperatura y humedad edáfica, considerando a ésta como un indicador del estado hídrico del suelo.

Durante la campaña 92/93 los datos de precipitación y temperatura se obtuvieron del observatorio meteorológico de Lleida, situado a escasos metros de la parcela experimental; para los otros dos años los datos de temperatura provenían de un termohigrógrafo situado en la propia parcela y los de precipitación de un pluviómetro situado en Alguaire, a unos 2 Km del campo.

Los datos de humedad edáfica se obtuvieron de las muestras de tierra que se fueron extrayendo a lo largo de cada campaña del campo experimental.

Tabla 2. Características químicas del suelo al inicio de las tres campañas en Lleida (92/93) y Alguaire (93/94 y 94/95). 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; el extractante utilizado para el potasio y magnesio ha sido el acetato amónico.

Determinación	Campaña		
	92/93	93/94	94/95
pH	7,9	8,2	8,1
CE (dS/m)	0,24	0,21	0,26
Materia orgánica (%)	1,6	1,8	1,8
Carbonato cálcico equivalente (%)	33,1	14	17
Calcáreo activo (%)	--	8	--
Fósforo (P) asimilable (ppm)	12	48	46
Potasio (K) (ppm)	180	205	202
Magnesio (Mg) (ppm)	--	105	105



Foto 1. Vista de la parcela de Alguaire en la que se realizaron los ensayos en las campañas 93/94 y 94/95 y en donde se aprecian las diferentes densidades a las que se sembró la cebada.

5.2.2.1. Las temperaturas.

La evolución de las temperaturas máximas y mínimas a lo largo de las tres campañas en comparación con los valores medios del periodo de 8 años comprendido entre 1982/90 referentes al observatorio meteorológico de Lleida se presentan en la figura 4.

Las temperaturas mínimas de los tres años cabe situarlas dentro de los valores normales medios de la zona, destacando quizá la de enero de 1994 (-1,5°C) que fue sensiblemente más baja que la media (0,3°C).

Las temperaturas máximas de los tres años presentaron algunas diferencias con respecto a las medias. En los periodos comprendidos entre agosto y diciembre del 1993 y del 1994 las máximas fueron inferiores a las medias y en cambio, en los periodos entre enero y julio de las mismas temporadas las máximas fueron superiores. Las altas temperaturas en primavera pueden provocar una aceleración en la maduración de las plantas de tal manera que se pueda adelantar la cosecha, como así sucedió en los dos últimos años de ensayo.

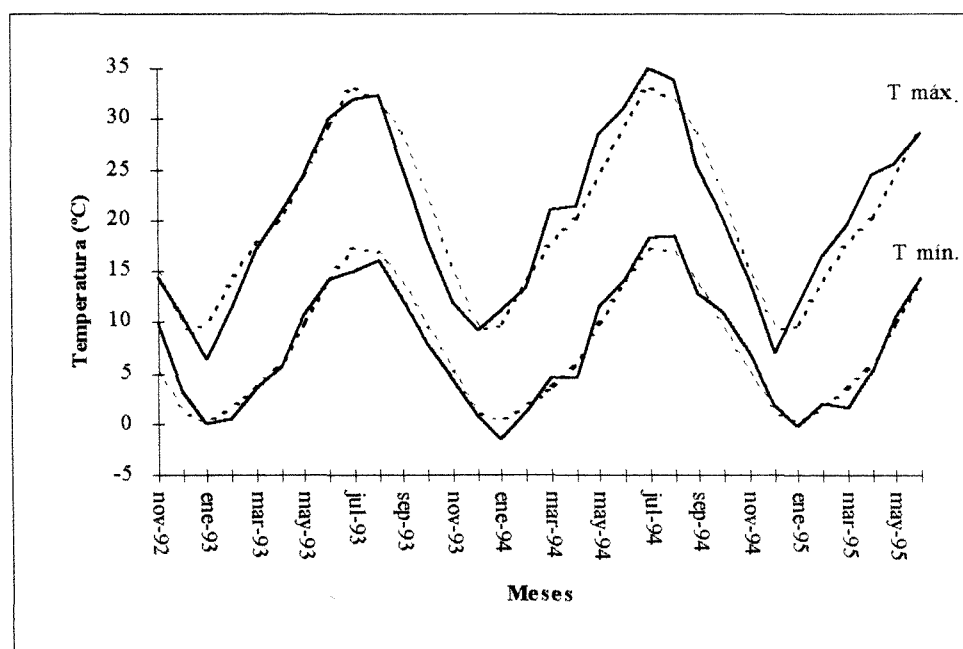


Figura 4. Histograma de las temperaturas medias máximas y mínimas de noviembre de 1992 hasta mayo de 1995 (línea continua) en comparación con sus respectivas temperaturas medias correspondientes al periodo 1982/90 (línea discontinua).

5.2.2.2. La precipitación.

En la **figura 5** se presenta la precipitación recogida durante las tres campañas así como la precipitación media de 8 años en la ciudad de Lleida (1982/90).

La distribución de la precipitación muestra unos períodos de déficit y superávit bien marcados en los tres años. En la temporada 92/93 hubo una relativa falta de precipitaciones durante el invierno pero la primavera fue un poco más lluviosa que la media. El inicio del otoño de 1993 fue muy lluvioso, sin embargo, las bajas o nulas precipitaciones del invierno e inicio de la primavera hicieron que la precipitación recogida durante la temporada de crecimiento (de noviembre a abril) fuera la mitad que la recogida el año anterior (**tabla 3**). El otoño de 1994 fue muy lluvioso, pero las precipitaciones escasearon a partir de entonces hasta completar un año intermedio entre los otros dos; durante esta campaña hubo un aporte de agua en el mes de abril que fue muy importante para el cultivo.

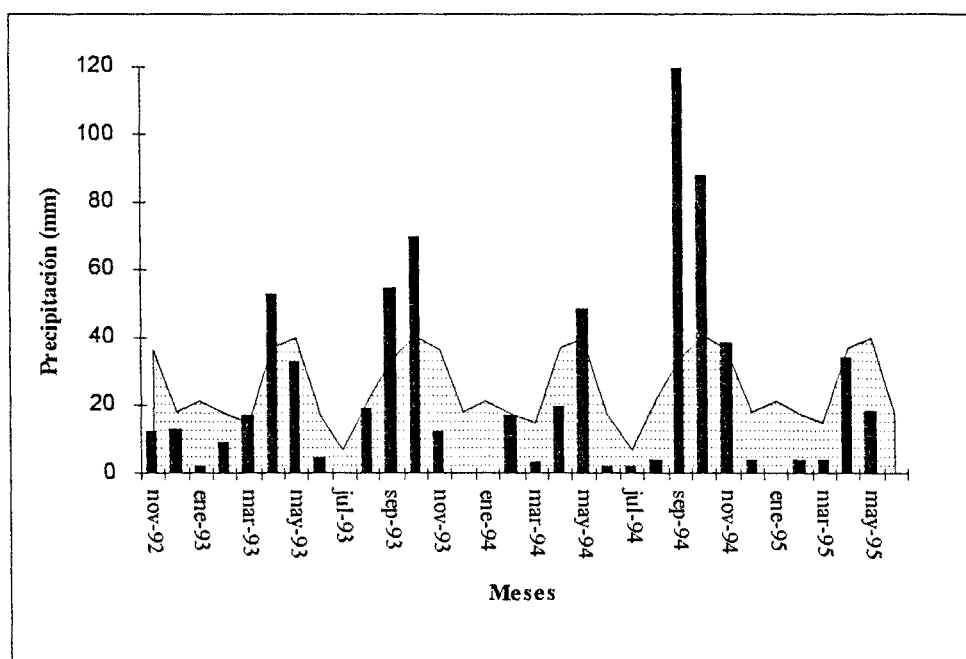


Figura 5. Pluviometría mensual de noviembre de 1992 hasta mayo de 1995 (barras) en comparación con la pluviometría media mensual del período 1982/90 (línea continua).

Tabla 3. Precipitaciones correspondientes al periodo de noviembre a abril para las tres temporadas, época en la que es más importante la presencia de agua disponible en el suelo a disposición de las plantas.

Temporada crecimiento	Precipitación
92/93	103,9 mm
93/94	51,3 mm
94/95	82,9 mm

5.2.2.3. El contenido de agua del suelo.

Las estimaciones del contenido de agua del suelo realizadas en tres momentos puntuales en cada campaña mostraron una clara diferencia en la humedad existente al inicio de cada ciclo. En la campaña 94/95 el contenido de agua en el suelo en el momento de la siembra fue bastante superior (15,14 %) al de la campaña 93/94 (10,02 %). El contenido a finales de invierno y antes de la cosecha fueron muy semejantes ambos años (figura 6).

El balance hídrico confeccionado a partir de los datos de precipitación y evaporación semanales y del tipo de suelo para las tres campañas reflejó también las diferencias anteriormente reseñadas (tabla 4). La campaña 92/93 y la 94/95 mostraron valores de déficit de humedad (7,1 mm y 9,1 mm) inferiores a la 93/94 (24,2 mm). En la primera campaña los valores fueron inferiores hasta bien entrada la primavera, mientras que en la 94/95 el contenido de agua se equiparó con el de la 93/94 a mediados de invierno, aunque fue inferior en abril (90,3 mm en 94/95; 134,5 mm en 93/94) debido a las importantes precipitaciones que tuvieron lugar.

El déficit total de humedad reflejó las diferencias pluviométricas de los tres años; así, la campaña 92/93 fue la más húmeda, la campaña 94/95 se situó en un nivel intermedio y la 93/94 fue la más seca, presentando un elevado déficit de agua ya desde el inicio de la temporada.

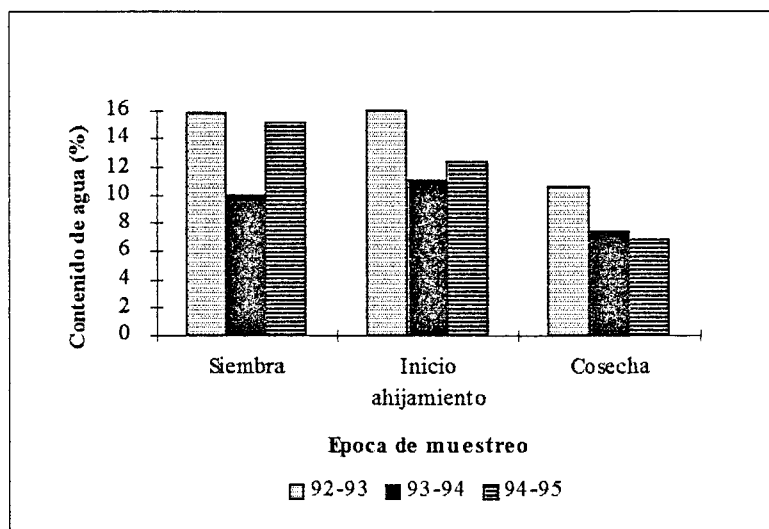


Figura 6. Contenido de agua del suelo (% en peso) en el momento de la siembra, inicio del ahijamiento y previamente a la cosecha para las campañas 92/93, 93/94 y 94/95.

Tabla 4. Balance hídrico del suelo en las campañas 1992/93, 93/94 y 94/95 a partir de los datos de precipitación, evaporación y textura del suelo.

Meses	Déficit de humedad (mm)		
	92/93	93/94	94/95
Diciembre	7,1	24,2	9,1
Enero	14,2	47,0	45,2
Febrero	38,8	44,7	52,9
Marzo	68,0	98,6	104,0
Abril	87,9	134,5	90,3
Mayo	148,8	121,9	153,2
Junio	211,8	203,1	177,4
Déficit acumulado	576,6	674,0	632,1

5.3. Material vegetal.

Los ensayos se realizaron utilizando semillas certificadas R1 de cebada cervecera variedad "Dobla"; se utilizó esta variedad por ser una de las más cultivadas en la región. Un resumen de las características principales de esta variedad se expone en el cuadro 3.

Las semillas de *Lolium rigidum* utilizadas en la primera campaña procedieron de espigas que se habían recolectado en la misma zona al final de la temporada de crecimiento precedente, mientras que las semillas utilizadas en las dos campañas siguientes procedieron de espigas que se habían recogido al final de los ensayos.

Cuadro 3. Características principales de la variedad de cebada Dobla utilizada en Lleida y Alguaire (Guerrero, 1990).

DOBLA	
Origen	Obtenida por San Miguel, Fábrica de Cerveza y Malta S.A. Registrada en 1980.
Uso	Fabricación de cerveza principalmente.
Características	Cebada de seis carreras. Plantas de altura media (90-100 cm), de porte semierecto a medio. Ciclo medio, muy precoz. Exigente en suelo y humedad. Apta para siembras de invierno en zonas frías y temprana en zonas templadas.

5.4. Metodología.

5.4.1. Diseño experimental.

Campaña 92/93.

Se realizó un diseño experimental en parcelas al azar con cuatro repeticiones, con un total de 24 parcelas de 1'5 x 8'5 m². Las densidades de siembra para cada una de las especies fueron las siguientes:

- a) Cebada. Densidad C1, 10 plantas/m².
 Densidad C2, 20 plantas/m².
 Densidad C3, 40 plantas/m².
 Densidad C4, 100 plantas/m².
 Densidad C5, 300 plantas/m².
 Densidad C6, 600 plantas/m².

b) *Lolium rigidum*. Se sembró un peso de semilla que proporcionara una emergencia que fuera equivalente a una densidad de 300 plantas/m².

Durante esta temporada y debido al diseño experimental utilizado únicamente se obtuvieron datos del efecto de la cebada sobre el crecimiento del margall.

Campaña 93/94.

Se realizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones, considerando como factor principal la densidad de cebada y como factor secundario la densidad de *L. rigidum*. Se obtuvieron un total de 60 parcelas de 1,5 x 8,5 m². Las densidades de siembra utilizadas y las densidades reales conseguidas en el campo fueron las siguientes:

- a) Cebada. Densidad A, 300 kg/ha; 670 plantas/m².
 Densidad M, 150 kg/ha; 375 plantas/m².
 Densidad B, 75 kg/ha; 210 plantas/m².
- b) *Lolium rigidum*. Control, 0 plantas/m².
 Densidad 1, 25 plantas/m².
 Densidad 2, 50 plantas/m².
 Densidad 3, 100 plantas/m².
 Densidad 4, 500 plantas/m².

Campana 94/95.

Se realizó también un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones, pero se eliminó la densidad de siembra de cebada más alta debido a que el año anterior la elevada competencia interespecífica entre las plantas de cebada a esas densidades enmascaró el efecto de *L. rigidum*. En su lugar se aumentaron las densidades del margall testadas. Las densidades de siembra utilizadas fueron:

- | | |
|----------------------------|---|
| a) Cebada. | Densidad M, 150 kg/ha. |
| | Densidad B, 75 kg/ha. |
| b) <i>Lolium rigidum</i> . | Control, 0 plantas/m ² . |
| | Densidad 1, 25 plantas/m ² . |
| | Densidad 2, 50 plantas/m ² . |
| | Densidad 3, 500 plantas/m ² . |
| | Densidad 4, 1000 plantas/m ² . |

Durante estas dos temporadas el diseño experimental utilizado permitió obtener datos de la respuesta del cultivo ante la mala hierba y de la respuesta de ésta ante diferentes densidades del cultivo.

5.4.2. Prácticas culturales.

Se han seguido las prácticas agronómicas previas a la siembra usuales de la zona, que consistieron en realizar un pase de cultivador para preparar el terreno y aportar luego el abono de fondo.

La fertilización de fondo consistió en 300 kg/ha de abono complejo del tipo 15-15-15 en la campaña 92/93 y del tipo 10-20-20 en las campañas 93/94 y 94/95. En la fertilización de cobertera se aportó nitrosulfato amónico (26 %) a razón de 200 kg/ha en las campañas 92/93 y 94-95 y nitrato amónico (33.5 %) a razón de 200 kg/ha en la campaña 93/94.

La siembra de la cebada se llevó a cabo con una microsembradora de ensayos de seis rejas, con una distancia entre líneas de 20 cm. La siembra de *L. rigidum* se realizó manualmente al día siguiente, esparciendo las semillas por la superficie de cada parcela e incorporándolas al suelo por medio de un rastrillo.

Los pasillos se mantuvieron limpios de malas hierbas manualmente. El control de malas hierbas dicotiledóneas dentro de las parcelas se consiguió aplicando 2,4-D a razón de 0.75 l/ha de producto comercial todos los años a principios de la primavera y el control de gramíneas tales como *Avena* sp. y *Bromus* sp. se realizó mediante escarda manual.

Para la recolección se utilizó una microcosechadora de ensayos de una anchura de corte de 120 cm.

Las fechas de siembra, de aplicación de fertilizante nitrogenado y de cosecha se detallan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Fechas de siembra, de aplicación de N en cobertera y de cosecha en las tres campañas.

Proceso	Campaña		
	92/93	93/94	94/95
Siembra	5-XII-92	12-XI-93	3-XI-94
Abonado de cobertera	14-II-93	10-II-94	27-I-95
Tratamiento herbicida	16-II-93	12-II-94	8-II-95
Cosecha	30-VI-93	27-V-94	30-V-95

5.4.3. Estimaciones de biomasa.

A lo largo de la campaña se realizaron diversos muestreos de biomasa de cebada y margall durante el estado vegetativo del cultivo que tenían como objetivo comprobar si se había manifestado competencia entre ambas especies (cuadros 5a, b, c).

El primer muestreo fue llevado a cabo en las tres temporadas cuando el margall y la cebada tenían la 3^a/4^a hojas expandidas (estadio fenológico 13-14 según el código Zadocks para cereales), para que coincidiese con el momento en el cual el agricultor debería tomar la decisión de si sería necesario o no realizar un tratamiento herbicida para controlar *L. rigidum*. Los muestreos posteriores se realizaron cuando a simple vista se veía que en algunas de las parcelas la cebada presentaba síntomas de competencia en el sentido de que se observaba que presentaba un menor crecimiento y desarrollo; entonces se realizaba un muestreo general en el ensayo para comprobar si había diferencias de biomasa en el cultivo entre las parcelas como consecuencia de la competencia del margall. Por ello, la época en que se tomaron estas segundas muestras no coincidió necesariamente en las tres campañas. El segundo muestreo en la campaña 92/93 se llevó a cabo al inicio de la antesis (Zadocks 60); en la 93/94 al inicio del encañado (Zadocks 30) y en la 94/95 inmediatamente después de la antesis (Zadocks 69); finalmente, durante la campaña 92/93 se realizó un tercer muestreo al inicio del desarrollo grano pastoso (Zadocks 80). Las fechas de las tomas de muestras se especifican en el cuadro 5. La escala de desarrollo fenológico de Zadocks, Chang y Konzac (1974) se expone en el cuadro 6.

Para los muestreos de biomasa se utilizaron tres cuadrados de 33 x 33 cm² (campaña 92/93) o 50 x 50 cm² (campañías 93/94 y 94/95) lanzados al azar en cada parcela. En el interior de cada cuadrado se procedió a contar el número de plantas de cebada y de margall presentes y después se cortaron al nivel de suelo y se colocaron en bolsas. El material recogido fue secado a 60°C durante 24 horas y después pesado para estimar la biomasa de la parte aérea de las plantas.

En los primeros muestreos de cada temporada, antes de secar el material en la estufa, se sacaban submuestras de cada muestra para estimar el área foliar de las plantas y poder correlacionarlas con las pérdidas de cosecha observadas al final de la campaña, tal como se expone en el capítulo 8 de forma más detallada.

5.4.4. 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 estaba a punto de ser cosechado. Las fechas se especifican en el cuadro 5. Se utilizaron 2 cuadrados de 50 x 50 cm² lanzados al azar en cada parcela, en cuyo interior se contaron el número de plantas de cebada y de *L. rigidum* y el número de espigas de cebada; posteriormente se cortaron al nivel de suelo todas las plantas de ambas especies y se colocaron en bolsas diferentes para cada especie y parcela para ser procesadas.

Las bolsas con cebada fueron pesadas directamente para estimar la biomasa total de las plantas. Posteriormente, de cada bolsa se seleccionaron 20 espigas para contar el número de granos y el peso de 1.000 granos; el resto de espigas fue desgranado mecánicamente y el grano obtenido pesado. Este peso de grano junto con el de las 20 espigas proporcionó una estimación de la producción total de cada parcela.

Las bolsas con *L. rigidum* fueron pesadas para evaluar su peso fresco, secadas a 60°C durante 24 horas y pesadas para estimar su biomasa. En la campaña 92/93 y 93/94 se contó el número total de espigas de cada bolsa y en la 92/93 se seleccionó además un número variable de ellas para contar su número de granos.



Foto 2. Porción de suelo muestreada en cada parcela para estimar el rendimiento y los componentes del rendimiento así como la densidad y biomasa de margall.

5.4.5. Estimación de la humedad del suelo.

Durante cada año al principio de la campaña y coincidiendo con la época de muestreo de biomasa, se tomaron muestras de tierra hasta una profundidad de 30 cm para calcular el contenido de agua del suelo. Se utilizó para ello una barrena manual que extraía un cilindro de tierra de 5 cm de diámetro. Se realizaron 5 extracciones cada vez repartidas por toda la superficie del campo. Las muestras de tierra se separaban en capas de 10 cm para ser analizadas por separado gravimétricamente. Las muestras de suelo eran pesadas antes y después de ser secadas a 105°C durante 36 horas. Se determinaba el contenido de agua por diferencia entre ambos pesos.

Las fechas de las tomas de muestras en las tres temporadas se especifican en el cuadro 5a, b y c.

Cuadro 5a. Fechas de la toma de muestras durante la campaña 92/93.

Fecha	Evento
5,6-XII (0 días)	Siembra de la cebada y de <i>L. rigidum</i> .
16-XII (10 días)	Emergencia de la cebada.
10-I (34 días)	Emergencia de <i>L. rigidum</i> .
8-II (63 días)	Estimación del contenido hídrico del suelo.
10-III (95 días)	Primer muestreo de biomasa.
22-IV (138 días)	Estimación del contenido hídrico del suelo.
30-IV (146 días)	Segundo muestreo de biomasa.
10-VI (187 días)	Tercer muestreo de biomasa.
30-VI (207 días)	Cosecha.

Cuadro 5b. Fechas de la toma de muestras durante la campaña 93/94.

Fecha	Evento
12,13-XI (0 días)	Siembra de la cebada y de <i>L. rigidum</i> .
26-XI (14 días)	Estimación del contenido hídrico del suelo.
3-XII (22 días)	Emergencia de la cebada.
15-XII (35 días)	Emergencia de <i>L. rigidum</i> .
25-I (74 días)	Primer muestreo de biomasa.
2-II (82 días)	Estimación del contenido hídrico del suelo.
2-III (110 días)	Segundo muestreo de biomasa.
14-III (122 días)	Estimación del contenido hídrico del suelo.
27-V (196 días)	Cosecha.
9-VII (239 días)	Estimación del contenido hídrico del suelo.

Cuadro 5c. Fechas de la toma de muestras durante la campaña 94/95.

Fecha	Evento
3,4-XI (0 días)	Siembra de la cebada y de <i>L. rigidum</i> .
7-XI (4 días)	Estimación del contenido hídrico del suelo.
12-XI (9 días)	Emergencia de la cebada.
18-XI (18 días)	Emergencia de <i>L. rigidum</i> .
23-I (81 días)	Primer muestreo de biomasa.
9-II (98 días)	Estimación del contenido hídrico del suelo.
19-IV (157 días)	Estimación del contenido hídrico del suelo.
27-IV (175 días)	Segundo muestreo de biomasa.
30-V (208 días)	Cosecha.

Cuadro 6. Estadios de crecimiento del código de Zadocks, Chang y Konzak (1974).

<u>Código</u>	<u>Descripción</u>	<u>Código</u>	<u>Descripción</u>
<i>Germinación</i>		<i>Emergencia de la inflorescencia</i>	
00	Semilla seca	50	---
01	Se inicia la imbibición	51	Aparece 1ª espiguilla de la inflorescencia
02	---	52	---
03	Imbibición completa	53	¼ inflorescencia emergida
04	---	54	---
05	Radícula emergida de la cariósida	55	½ inflorescencia emergida
06	---	56	---
07	Coleóptilo emergido de la cariósida	57	¾ inflorescencia emergida
08	---	58	---
09	Hoja alcanza la punta del coleóptilo	59	Inflorescencia completamente emergida
<i>Desarrollo de la plántula</i>		<i>Antesis</i>	
10	Aparece la primera hoja	60	---
11	Primera hoja desplegada	61	Principio de la floración
12	2 hojas desplegadas	62	---
13	3 hojas desplegadas	63	---
14	4 hojas desplegadas	64	---
15	5 hojas desplegadas	65	Mitad de la floración
16	6 hojas desplegadas	66	---
17	7 hojas desplegadas	67	---
18	8 hojas desplegadas	68	---
19	9 hojas desplegadas	69	Floración completa
<i>Ahijado</i>		<i>Desarrollo grano lechoso</i>	
20	Sólo el vástago principal	70	---
21	Vástago principal y 1 hijuelo	71	Cariósida acuosa
22	Vástago principal y 2 hijuelos	72	---
23	Vástago principal y 3 hijuelos	73	Principio grano lechoso
24	Vástago principal y 4 hijuelos	74	---
25	Vástago principal y 5 hijuelos	75	Mitad grano lechoso
26	Vástago principal y 6 hijuelos	76	---
27	Vástago principal y 7 hijuelos	77	Final grano lechoso
28	Vástago principal y 8 hijuelos	78	---
29	Vástago principal y 9 hijuelos	79	---
<i>Encañado</i>		<i>Desarrollo grano pastoso</i>	
30	Erección del falso tallo	80	---
31	Primer nudo detectable	81	---
32	Segundo nudo detectable	82	---
33	Tercer nudo detectable	83	Principio grano pastoso
34	Cuarto nudo detectable	84	---
35	Quinto nudo detectable	85	Mitad grano lechoso
36	Sexto nudo detectable	86	---
37	Aparición de la punta de la hoja bandera	87	Final grano lechoso
38	---	88	---
39	Aparición de la lígula de la hoja bandera	89	---
<i>Desarrollo del zurrón</i>		<i>Maduración</i>	
40	---	90	---
41	Extensión de la vaina de la hoja bandera	91	Grano duro, difícil de dividir con la uña
42	---	92	Grano duro, ya no se raya con la uña
43	Zurrón empieza a hincharse	93	Cariósida laxa durante el día
44	---	94	Sobremadurez, paja desintegrándose
45	Zurrón hinchado	95	Semilla latente
46	---	96	Semilla con 50 % de germinación
47	Vaina de la hoja bandera abriéndose	97	Semilla no latente
48	---	98	Dormancia secundaria inducida
49	Aparecen las primeras aristas	99	Dormancia secundaria finalizada

5.4.6. Análisis estadísticos.

Con el objetivo de cuantificar las relaciones encontradas entre la cebada y el margall en los muestreos realizados, se intentaron encontrar las regresiones que mejor se ajustaban a los puntos obtenidos utilizando el paquete estadístico Genstat versión 5.3. en función de la distribución de los puntos, de la distribución de los residuos y del valor de los cuadrados medios residuales (RMS), se realizaba la elección del mejor modelo. Los tres tipos de relaciones encontradas en los análisis fueron:

1. Ausencia de relación. Los datos de la cebada y los del margall analizados no presentaban ningún tipo de dependencia, con lo que no se pudo ajustar ningún modelo y se concluyó que las variables eran independientes una de la otra.

2. Relación de tipo rectilíneo. Las variables analizadas (x,y) presentaban una dependencia decreciente del tipo:

$$y = a - bx$$

en la que una de las variables (y) experimentaba una reducción lineal a medida que aumentaba la otra variable (x). a y b son los parámetros de este modelo, en donde a es el valor máximo de la variable y y b es su constante de decrecimiento.

3. Relación de tipo exponencial. Las variables analizadas (x,y) presentaban una dependencia curvilínea del tipo:

$$y = a + b \cdot r^x$$

en donde el parámetro b puede ser positivo o negativo según la forma de la curva. $(a+b)$ 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 y bk es un estimador de la pendiente inicial.

Alguno de los casos en los que había una ausencia de relación entre las variables (x,y) analizadas eran variables de rendimiento de la cebada confrontadas con variables de abundancia de *L. rigidum*. En estos casos de no dependencia se procedió a hacer un análisis de varianza de la variable de la cebada considerando todos los datos en conjunto para ver si había diferencias entre las diferentes densidades de siembra.

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 considerando conjuntamente los datos de todas las parcelas referentes al rendimiento y sus componentes.

5.5. Incidencias durante las campañas.

Durante la campaña 1992/93 se tuvo que cubrir el ensayo con una red antipájaros al constatar que había una abundante presencia de éstos alrededor del ensayo en el momento del espigado de la cebada. En las siguientes campañas el cambio de localización del ensayo (desplazándolo a una zona completamente cerealista en lugar de realizarlo en una zona frutícola) permitió eludir el problema.

Durante la campaña 1993/94 se observó un ataque de Hemiltosporiosis reticular (Drechslera teres) en la cebada en el estadio fenológico inicio del ahijamiento (Zadocks 21) que afectó a todas las parcelas por igual. La severidad fue evaluada en un 1 %. Se relacionó este ataque con la presencia continuada de temperaturas suaves y hojas húmedas un cierto tiempo por la mañana debido al rocío. La baja incidencia de la infección desaconsejó la aplicación de un producto antifúngico. Los síntomas desaparecieron a la llegada de la primavera.

Durante las campañas 1993/94 y 94/95 la emergencia de *L. rigidum* se produjo cuando la cebada tenía ya una o dos hojas desplegadas (Zadocks 11 ó 12). En la primera de estas campañas el desfase fue mayor que en la segunda, posiblemente debido al menor contenido de humedad en el suelo en el momento de la siembra lo que retrasó la germinación del margall. Además de retrasarse la germinación también se observó que la emergencia se prolongó por espacio de casi un mes mientras que la emergencia de la cebada se consideró finalizada a los 7 días de su inicio. Este largo período de emergencia del margall en esa temporada hizo que algunas plantas adquirieran muy poco desarrollo influyendo decisivamente en el devenir de la competencia.

En el momento en que se realizaron los muestreos de cosecha en las tres campañas, *L. rigidum* estaba fenológicamente en el estadio de desarrollo de grano pastoso (Zadocks 80), es decir, aún no había completado su ciclo. La ausencia de lluvias importantes durante la segunda mitad de la campaña afectó mucho el crecimiento del margall de tal manera que tras varias observaciones realizadas *in situ* se tenía la impresión de que su crecimiento había cesado casi completamente, medio ahogado por la cebada. Una vez que ésta había completado su ciclo y las plantas habían entrado en la fase de senescencia, el margall pudo proseguir con su desarrollo, el cual, lógicamente, se alargó más que el de la cebada.

5.6. La competencia durante el desarrollo de la campaña.

A continuación se exponen los resultados de los muestreos de biomasa de cebada y margall que se realizaron durante el ciclo vegetativo en cada una de las campañas con el fin de conocer como se iba desarrollando la competencia entre ambas especies.

5.6.1. Resultados del efecto de la cebada sobre *L. rigidum*.

Campaña 92/93.

En el primer muestreo del mes de febrero no se apreció aún ningún efecto del cultivo sobre el margall. La biomasa del margall no resultó estar relacionada con la densidad o con la biomasa de la cebada, por lo que se puede decir que aún no se había producido una competencia importante entre ambas especies (figuras 7a y b).

En los dos siguientes muestreos de abril y junio sí se apreció un efecto del cultivo, reflejado en un descenso en la biomasa del margall en función de la densidad y de la biomasa de cebada (figuras 7c, d, e y f). En el muestreo de abril la biomasa de margall pasó de 133 g/m² en ausencia de cebada a 17 g/m² en las parcelas con más de 600 plantas/m², es decir, hubo una disminución del 87 %. En el muestreo de junio se pasó de 427 a 30 g/m², es decir, un 93 % menos. Los porcentajes de reducción son semejantes si se considera biomasa de cebada.

La máxima reducción de biomasa del margall se observó en el muestreo de junio, lo cual es lógico ya que las plantas habían estado compitiendo un mayor período de tiempo.

En estos dos muestreos, la biomasa de margall para bajas densidades (menos de 200 plantas/m²) o bajas biomásas (menos de 500 g/m²) de cebada presentó una elevada variabilidad, haciendo que la determinación el punto de corte de la curva con el eje de las ordenadas, dado por $(a+b)$, sea poco precisa y que las desviaciones estándar de los valores estimados de a y b sean mayores que el valor del propio parámetro en muchos de los casos (tabla 5).

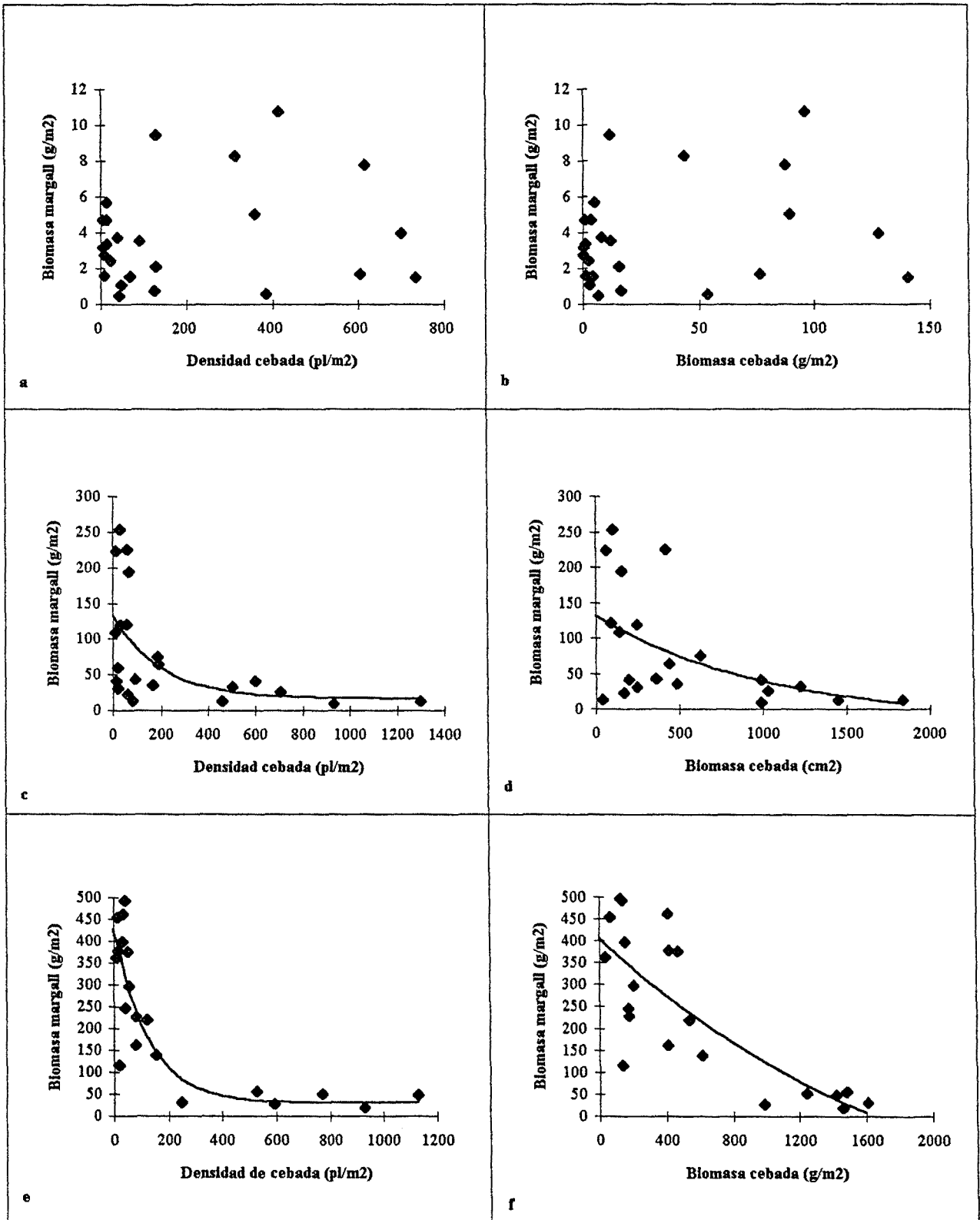


Figura 7. Efecto de la densidad (plantas/m²) y biomasa (g/m²) de cebada sobre *Lolium rigidum* en los tres muestreos de la campaña 92/93 realizados los días 10-III (a,b), 30-IV (c,d) y 10-VI (e,f) de 1993.

Tabla 5. Modelos exponenciales que se han ajustado a la biomasa de *Lolium rigidum* (g/m²) en función de la densidad (plantas/m²) y biomasa (g/m²) de cebada para el segundo y tercer muestreos (30-IV y 10-VI) de la campaña 92/93. No se pudo ajustar ningún modelo a los datos del primer muestreo (25-I). *a*, *b* y *r* son los parámetros del modelo; D.E. es la desviación estándar de los parámetros y RMS es la suma de los cuadrados medios del residuo.

		y = a+br ^x						
	20-IV	a	D.E.	b	D.E.	r	D.E.	RMS
	Dens. cebada	16,60	37,53	116,27	42,11	0,995	0,006	4695
	Biom. cebada	-14,72	145,71	146,80	127,10	0,999	0,002	4963
	9-VI							
	Dens. cebada	30,13	43,18	396,80	62,44	0,992	0,003	8445
	Biom. cebada	-327,53	1065,31	732,75	1023,81	0,9995	0,001	12262

5.6.2. Resultados del efecto de *L. rigidum* sobre la cebada.

Campaña 93/94.

En ninguno de los muestreos realizados en enero y marzo se observó que el margall hubiera afectado a la biomasa de cebada en ninguna de las densidades de siembra del cultivo. La biomasa de cebada se mantuvo más o menos estable en todas las parcelas en relación con la cantidad de margall presente en ellas (figuras 8a, b, c y d) y las diferencias observadas entre parcelas se debieron a la densidad de siembra del propio cultivo: aquellas parcelas con una mayor densidad de siembra presentaron también una mayor biomasa de cebada.

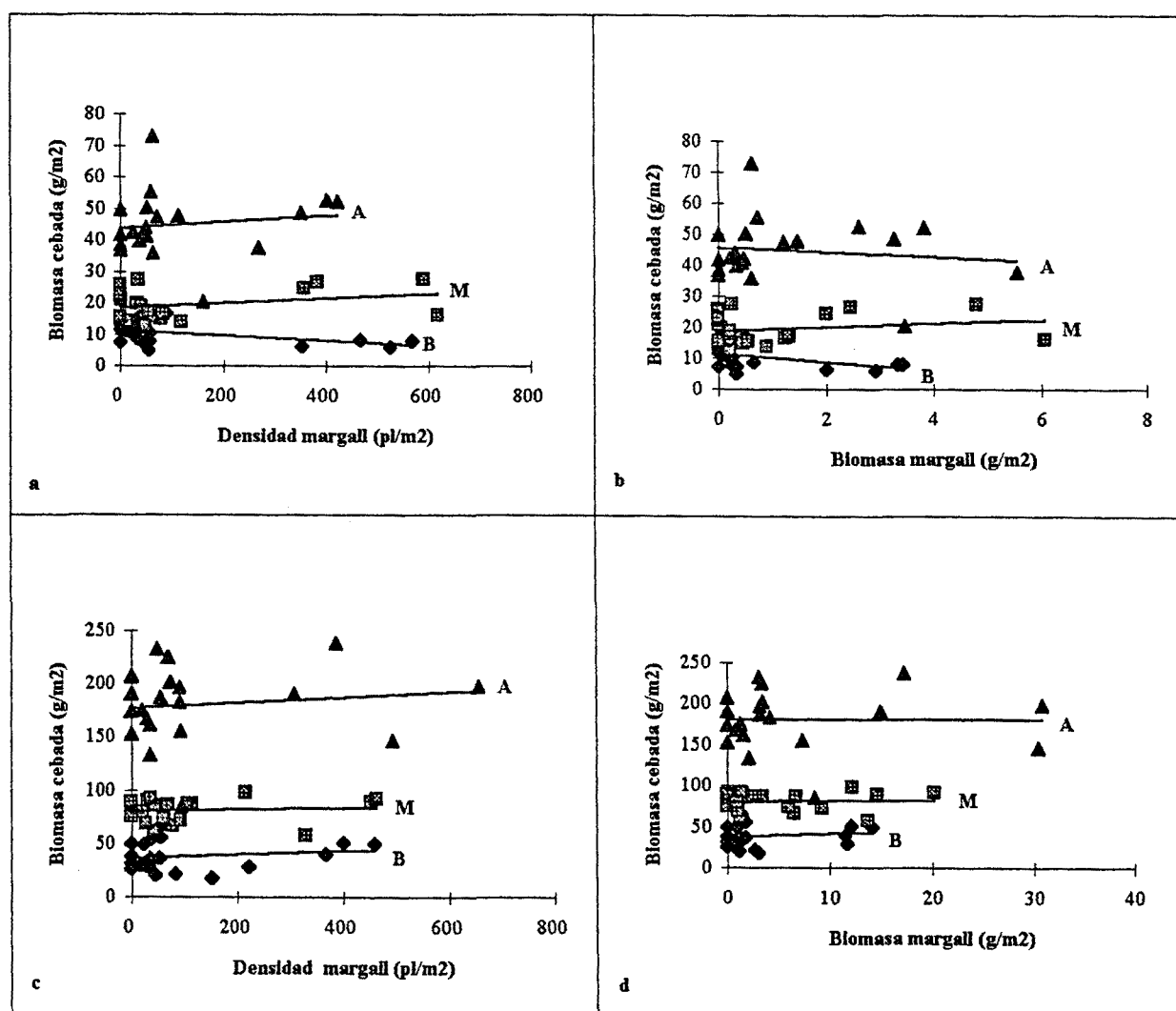


Figura 8. Efecto de la densidad (plantas/m^2) y la biomasa (g/m^2) de *Lolium rigidum* sobre la biomasa (g/m^2) de cebada en los dos muestreos de la campaña 93/94 realizados los días 25-I (a,b) y 2-III (c,d) de 1994 para las densidades de siembra A (300 kg/ha), M (150 kg/ha) y B (75 kg/ha).

Campaña 94/95.

En el primer muestreo realizado en enero no se apreciaron diferencias de la biomasa de la cebada en las parcelas debido a la presencia del margall; las únicas diferencias observadas fueron debidas a la diferente densidad de siembra del cereal, que hizo que las parcelas con una densidad mayor presentaran también una biomasa de cebada mayor (figura 9a y b).

En el segundo muestreo realizado en abril se observó una disminución de la biomasa a medida que aumentaba la mala hierba (figura 9c y d), ajustándose esta disminución a un modelo lineal ya sea considerando como variable la densidad de plantas de margall o su biomasa (tabla 6). La comparación de los modelos para cada densidad de siembra indicó que ambas rectas poseían la misma pendiente, de lo que se desprende que la densidad de siembra no tuvo ningún efecto en alterar la competencia ejercida por el margall, y diferente término independiente, que ponía de manifiesto que la biomasa de cebada continuaba siendo mayor en las parcelas con mayor densidad de siembra.

Tabla 6. Modelos lineales que se han ajustado a la biomasa de cebada (g/m^2) en función de la densidad ($plantas/m^2$) y biomasa (g/m^2) de *Lolium rigidum* en el segundo muestreo (27-IV-95) de la campaña 94/95 para cada una de las densidades de siembra de éste (75 y 150 Kg/ha). *a* y *b* son los parámetros del modelo, los valores con la misma letra dentro de una misma columna indican que no son significativamente diferentes; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (*: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$); r^2 es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo.

y = a+bx							
	a	D.E.	b	D.E.	F	r^2	C.V.
75 kg/ha	230,84 a	12,74	-0,112 a	0,045	*	0,25	21,28
150 kg/ha	272,69 b	11,12	-0,129 a	0,046	*	0,30	15,09
y: biomasa cebada (g/m^2); x: densidad <i>Lolium rigidum</i> ($plantas/m^2$).							
75 kg/ha	241,22 a	11,64	-0,502 a	0,132	**	0,45	18,31
150 kg/ha	277,21 b	10,96	-0,635 a	0,193	**	0,38	14,27
y: biomasa cebada (g/m^2); x: biomasa <i>Lolium rigidum</i> (g/m^2).							

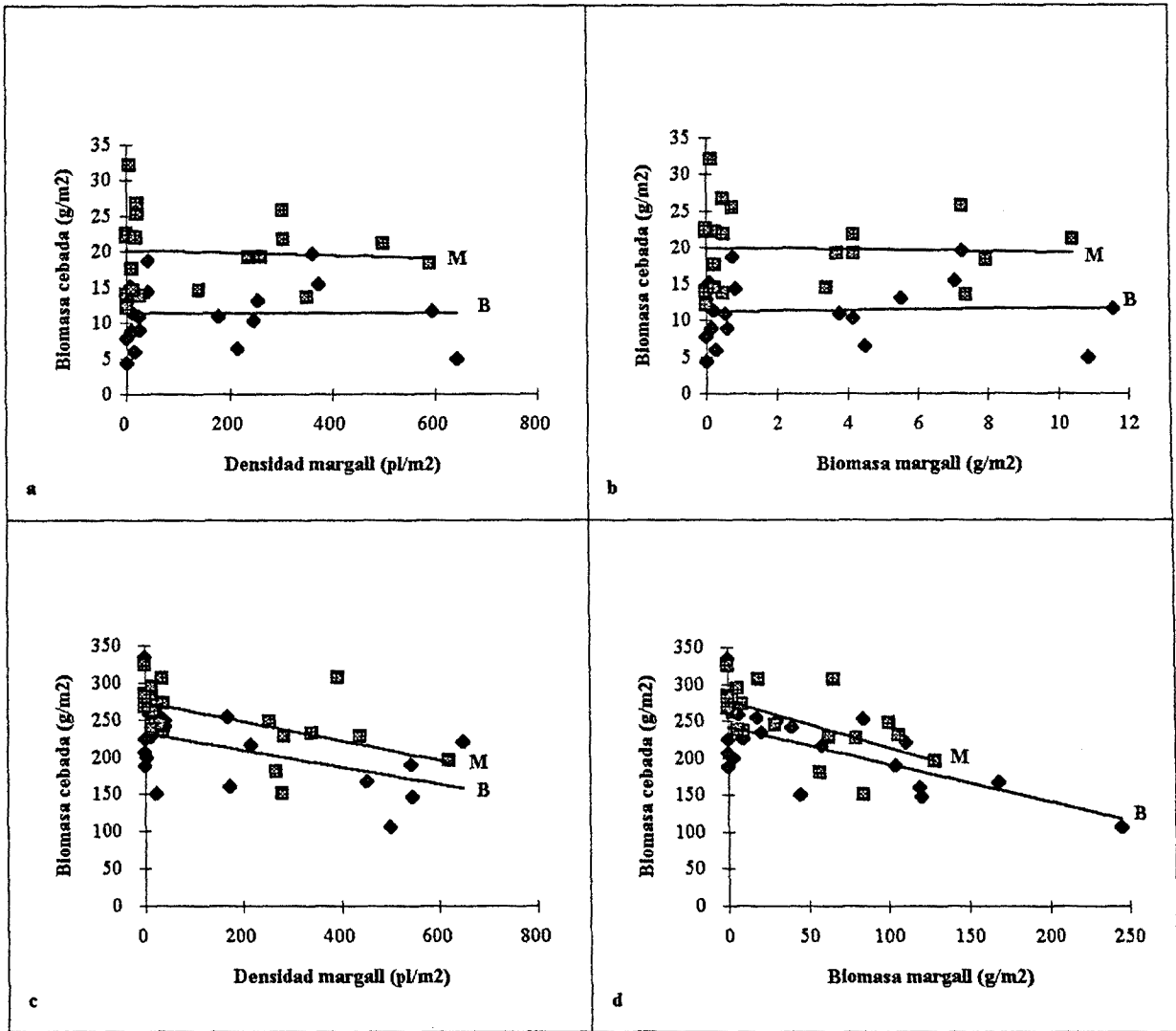


Figura 9. Efecto de la densidad (plantas/m²) y la biomasa (g/m²) de *Lolium rigidum* sobre la biomasa de cebada en los dos muestreos de la campaña 94/95 realizados los días 23-I (a,b) y 27-IV (c,d) de 1995 para las densidades de siembra M (150 kg/ha) y B (75 kg/ha).

5.6.3. Discusión.

Los muestreos realizados cuando las plantas tenían 3/4 hojas desplegadas aún no mostraron la existencia de reducciones de biomasa debidas a competencia entre especies en ninguna de las tres campañas. Los efectos de la competencia entre el margall y la cebada o viceversa no se tradujeron en mermas detectables de la biomasa de una u otra especie hasta con posterioridad al estadio fenológico Zadocks 13/14, es decir, hasta pasadas unas 10 semanas como mínimo después de la siembra. Rerkasem *et al.* (1980b) encontraron que los efectos de la competencia entre trigo y *Lolium rigidum* fueron discernibles a los 28 días de la emergencia. Nuestros resultados se asemejan más a los obtenidos por Medd *et al.* (1985) que indican que los efectos de la competencia en este caso del trigo sobre *Lolium rigidum* fueron evidentes a las 8 semanas después de la siembra.

Aunque la competencia pueda empezar a tener lugar en un momento temprano del ciclo, no sería hasta que las plantas iniciasen la etapa exponencial de crecimiento que los efectos de la interferencia se pondrían de manifiesto en la biomasa. Debido a que es la acumulación de grados día lo que determina el paso de un estado fenológico a otro en una planta, dependiendo de las condiciones climáticas esta fase de crecimiento exponencial, que se correspondería con el periodo de elongación del tallo en las gramíneas, tendría lugar en un momento más cercano o más lejano a la siembra.

La poca disponibilidad de agua ha podido contribuir a que la competencia no fuera muy importante desde el inicio y tardara más en manifestarse en términos de reducciones de biomasa; de hecho, en la campaña 93/94 en que hubo un déficit hídrico importante durante toda la campaña, la competencia no se manifestó ni cuando las plantas hubieron completado el ciclo.

En la campaña 94/95 las dos dosis de siembra de la cebada no modificaron la competencia del margall, y al igual que en la campaña 93/94 el único efecto observable de la diferente dosis de siembra fue que la biomasa de la cebada de las parcelas con mayor densidad de siembra fue superior a la de las otras.

5.7. La competencia evaluada al final de la campaña.

A continuación se exponen los resultados de los muestreos realizados al final de cada campaña con el fin de determinar como afectó la competencia que se estableció durante el ciclo entre la cebada y *L. rigidum* al crecimiento de este último y al rendimiento del cultivo. Debido a que en la campaña 1992/93 se utilizó un diseño experimental específico para el estudio del efecto de la cebada sobre *L. rigidum*, los resultados de esta campaña se exponen de forma separada con respecto a los de las campañas 1993/94 y 1994/95.

5.7.1. Resultados del efecto de la cebada sobre *Lolium rigidum*. Campaña 92/93.

5.7.1.1. Efecto sobre la biomasa.

El aumento de la densidad y la biomasa de cebada en las parcelas provocó una disminución importante de la biomasa del margall que fue bien descrita por una curva de tipo exponencial (figuras 10a y b). De acuerdo con el modelo exponencial ajustado a los puntos (tabla 7), densidades de cebada superiores a 200 plantas/m² redujeron la biomasa de margall a 62 g/m² mientras que la biomasa en condiciones de cultivo puro ascendía a 407 g/m², es decir, se había producido una disminución del 85 %. El porcentaje de reducción es también semejante si en lugar de densidades de cebada se consideran biomasa de cebada, aunque la disminución no es tan rápida como en el caso anterior.

5.7.1.2. Efecto sobre el número de espigas.

La densidad y biomasa de la cebada también afectaron al número de espigas del margall, reduciendo su número de acuerdo a un modelo exponencial (figuras 10c y d).

Según el modelo que incluye la densidad de cebada, el número de espigas por m² se redujo de 946 a 212, un 78 %, al pasar de parcelas libres de cebada a otras con más de 400 plantas/m². En este modelo los parámetros han podido ser determinados con una elevada precisión pues presentan un error estándar bajo.

El modelo que incluye la biomasa de cebada, presenta un término independiente con una desviación estándar superior al valor del propio parámetro (tabla 7). La alta variabilidad del número de espigas de margall encontrada en las parcelas con baja biomasa de cebada ha hecho que la estimación de este parámetro sea poco precisa.

5.7.1.3. Efecto sobre el número de semillas por espiga.

El aumento de la densidad o biomasa de cebada redujo el número de granos por espiga, pero siguiendo una tendencia distinta según se tratase de la densidad o de la biomasa. Mientras que la reducción se ajustó un modelo exponencial para el caso de la densidad de cebada (figura 10e), un modelo rectilíneo fue suficiente para el caso de la biomasa (figura 10f).

Según el modelo que incluye la densidad de cebada (tabla 7), el número máximo de semillas de margall por espiga esperado era de 57 pero densidades suficientemente altas de cebada podían llegar a reducir el número de semillas del margall hasta 22, es decir, un 61 %.

5.7.1.4. Efecto sobre el peso de 1.000 semillas.

El peso de las semillas de margall también ha resultado afectado por el incremento de la densidad y biomasa de cebada (figuras 10g y h). Las reducciones observadas se han ajustado a curvas de tipo exponencial en ambos casos (tabla 7).

El peso de 1.000 semillas pasó de 2,8 a 1,7 gramos (un 39 % de reducción) si consideramos la densidad de cebada, o bien de 3,2 a 1,9 (un 41 %) si consideramos la biomasa.

5.7.1.5. Discusión.

Se ha producido una reducción general de la biomasa total de *L. rigidum* así como de sus componentes del rendimiento con la presencia creciente de la cebada, ya sea contabilizando esta presencia por medio de la densidad de plantas o por medio de la biomasa. Estas reducciones se ajustaron a curvas de tipo exponencial decreciente excepto en el caso del número de semillas de margall por espiga en función de la biomasa de cebada, en que un modelo rectilíneo se ajustó mejor.

Los modelos que describen la relación de las diferentes variables del margall con la densidad de cebada se ajustaron mejor que los que describen esas mismas variables con la biomasa de cebada, ya que la suma de los cuadrados medios de los residuos y las desviaciones estándar de los parámetros fueron casi siempre menores en el primer caso. En las relaciones con la biomasa de cebada se encontró una mayor variabilidad en los datos, sobre todo entre los datos que correspondieron al rango de biomasa de cebada situado entre 0 y 500 g/m². Los términos independientes de estos modelos fueron estimados con muy baja precisión, con desviaciones estándar semejantes e incluso superiores al valor de los propios parámetros. Esta alta variabilidad podría estar asociada al hecho de que a esta baja presencia de cebada las relaciones de competencia entre el cultivo y la mala hierba no fueron muy intensas y bajo estas situaciones otros factores ajenos a la competencia adquirieron una mayor importancia y originaron una variabilidad que no fue controlada (Gill, comunicación personal). También la mayor variabilidad de los datos cuando se relacionan con la biomasa de cebada puede que sea debido a diferencias en la fertilidad del suelo, que permitieron un mayor crecimiento de las plantas en determinadas áreas.

Por todo esto, se puede considerar a la densidad de cebada como el parámetro de abundancia de cebada que mejor explicó las pérdidas acontecidas en el margall.

Las reducciones en los tres componentes del rendimiento estudiados del margall han sido del 80 % en el número de espigas por m², del 60 % en el número de semillas por espiga y del 40 % en el peso de 1000 semillas.

La cebada ha competido con el margall a lo largo de todo el ciclo vegetativo pues todos los componentes del rendimiento del margall se han visto afectados; además ha suprimido con bastante éxito su crecimiento ya que la biomasa final de éste se vio reducida en un 86 % a partir de las 200 plantas/m² de cebada.

La reducción de la biomasa fue muy rápida a bajas densidades de cebada (menos de 100 plantas/m²) en donde pequeños aumentos en el número de plantas de la cebada provocaron grandes reducciones en la biomasa del margall y también sobre el número de espigas de éste. La competencia interespecífica parece ser que fue máxima en este rango de densidades y cualquier adición de una nueva planta de la cebada repercutía inmediatamente sobre el margall. Posteriormente, la adición de nuevas plantas de cebada hizo que éstas empezaran a competir entre sí, de manera que la reducción de la biomasa del margall o del número de espigas dejó de ser lineal para tomarse curvilínea, hasta alcanzar un cierto nivel a partir del cual el efecto de aumentar las plantas de cebada fue casi nulo.

Estos resultados demuestran claramente el efecto perjudicial que puede tener sobre el cultivo el no utilizar una densidad de siembra mínima adecuada o bien no realizar una buena labor de siembra que permita que haya zonas en el campo sin cultivo o con un muy bajo número de plantas.

Estas reducciones experimentadas por los componentes reproductivos de la mala hierba al aumentar la presencia del cultivo se inscriben dentro de las líneas generales encontradas en la bibliografía, en el sentido de que la producción de semillas por las malas hierbas puede ser afectada por cualquier factor que cambie la capacidad competitiva de la población del cultivo. Estudios realizados por Rerkasem *et al.* (1980a) con trigo y *L. rigidum* mostraron que el número de semillas de margall disminuía 4 veces cuando la proporción de trigo aumentaba del 20 al 80 %. Medd *et al.* (1985) encontraron que la biomasa, el número de tallos y el área foliar del margall variaron dependiendo de la densidad de trigo. Cusans y Wilson (1975) encontraron que la producción de semillas de *Avena fatua* se incrementó grandemente cuando la densidad de siembra del trigo disminuyó a la mitad. En general, es esperado un mayor efecto sobre la producción de semillas si la densidad de siembra del cultivo se reduce a la mitad que si se dobla (Wright, 1993). Aunque no hay muchos datos sobre cebada, era de esperar obtener resultados análogos para esta especie y *Lolium rigidum* teniendo en cuenta que está considerada una mejor competidora que el trigo (Poole, 1979).

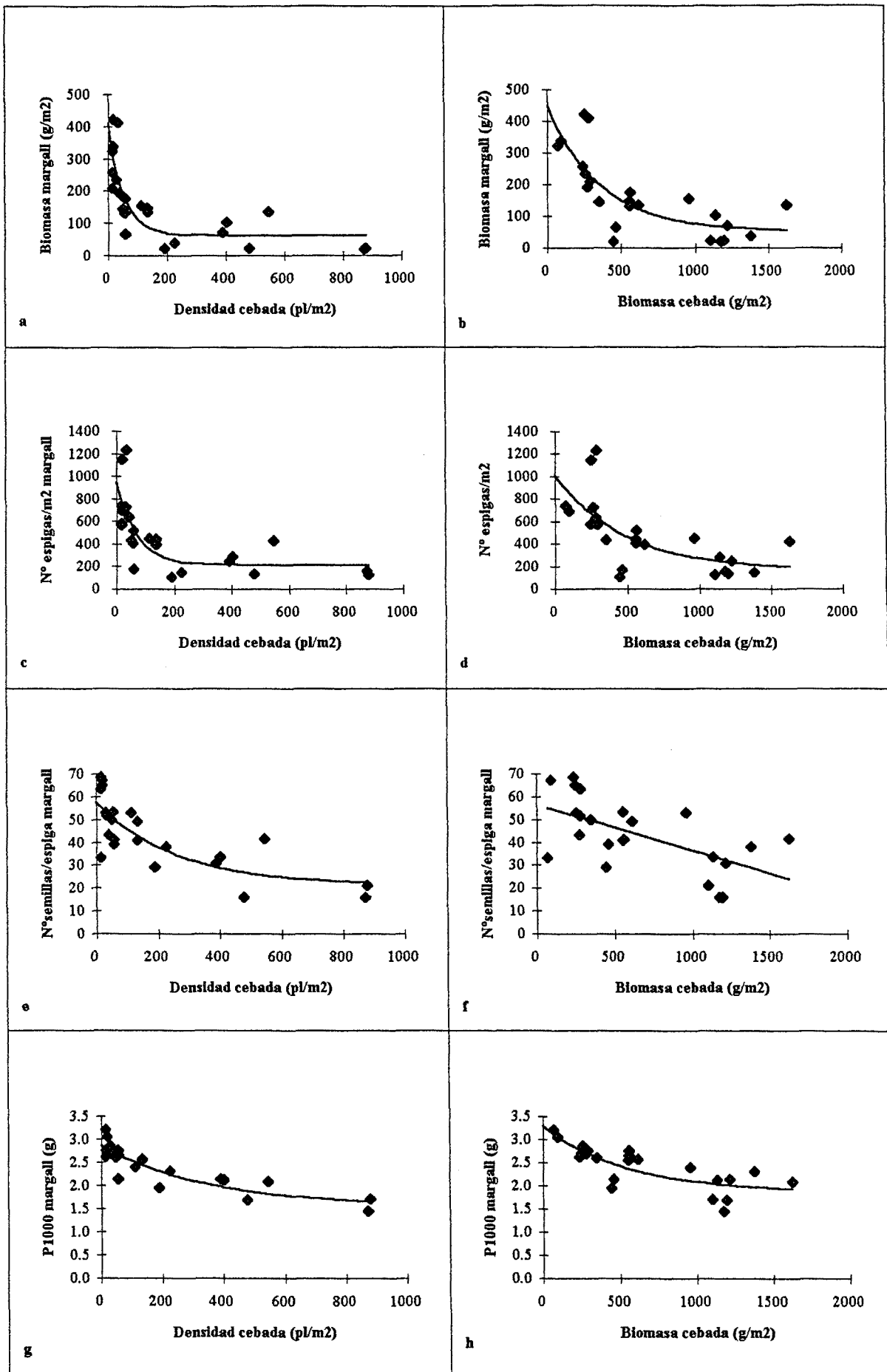


Figura 10. Efecto de la densidad (plantas/m²) y la biomasa (g/m²) de cebada sobre (a,b) la biomasa de *Lolium rigidum*; (c,d) el número de espigas por m² de *Lolium rigidum*; (e,f) el número de semillas por espiga de *Lolium rigidum* y (g,h) el peso de 1.000 semillas de *Lolium rigidum*, en la campaña 92/93.

Tabla 7. Modelos exponenciales y lineales ajustados entre diferentes variables de *Lolium rigidum* y la densidad y la biomasa de cebada en la campaña 1992/93. Los valores entre paréntesis muestran la desviación estándar de los parámetros y RMS es el cuadrado medio de los residuos del modelo.

Variables <i>L. rigidum</i>	Densidad cebada	Biomasa cebada
Biomasa (g/m ²)	$y=62,12+345,97*0,981^x$ (25,75) (72,33) (0,008) RMS=5154	$y=51,98+398,27*0,997^x$ (40,60) (81,20) (0,001) RMS=6125
Nº espigas/m ²	$y=212,30+733,66*0,985^x$ (80,68) (172,80) (0,008) RMS=43849	$y=168,11+838,89*0,998^x$ (170,91) (200,50) (0,001) RMS=52994
Nº semillas/espiga	$y=21,31+36,34*0,996^x$ (8,29) (7,66) (0,003) RMS=98	$y=56,47-0,20x$ (2,60) (0,06) RMS=155
Peso 1000 semillas (g)	$y=1,55+1,30*0,997^x$ (0,27) (0,24) (0,001) RMS=0,047	$y=1,86+1,42*0,999^x$ (0,25) (0,24) (0,001) RMS=0,079

5.7.2. Resultados del efecto de la densidad de siembra de la cebada sobre *Lolium rigidum*. Campañas 93/94 y 94/95.

En las campañas 1993/94 y 94/95 el diseño experimental utilizado para estimar las pérdidas de producción de la cebada permitió estudiar también los efectos que tenían las diferentes densidades de siembra del cultivo sobre el crecimiento del margall; de esta forma se ampliaron los resultados obtenidos durante la campaña precedente sobre el efecto de la cebada sobre la biomasa de margall y sobre el número de espigas.

5.7.2.1. Efecto sobre la biomasa.

Campaña 93/94.

El progresivo aumento de la densidad de *L. rigidum* en las parcelas quedó reflejado en el ensayo por un aumento de tipo exponencial en la biomasa de la mala hierba observado en todas las parcelas. Al aumentar la presencia de la mala hierba este incremento tendía un máximo asintótico que difería según cual fuera la densidad de siembra de la cebada (**figura 11a**).

El efecto de la densidad de siembra de la cebada condicionó el crecimiento de las plantas de margall, de tal manera que 200 plantas por m² de margall produjeron una biomasa de 115 g/m² en las parcelas de densidad de siembra de 75 kg/ha y en cambio, en las parcelas en las que la densidad de siembra fue de 300 kg/ha, la biomasa producida fue de sólo 60 g/m². También se vio modificada la biomasa máxima que se podía encontrar en las parcelas a altas infestaciones de mala hierba: según los modelos (tabla 8), en las parcelas con densidad de siembra de cebada de 75 kg/ha (curva B en la figura) la biomasa máxima esperable era de 192 g/m², en cambio, en las parcelas con densidad de siembra de 300 kg/ha (curva A en la figura) la biomasa era de 98 g/m²; es decir, se producía una disminución del 49 % en la biomasa de *L. rigidum*. En las parcelas con densidades de siembra de 150 kg/ha (curva M en la figura), la biomasa potencial máxima presentaba un valor intermedio de 157 g/m², lo que representa una disminución del 18 % con respecto a la esperada en las parcelas con densidades de 75 kg/ha.

Campaña 94/95.

Se obtuvo una respuesta de tipo exponencial semejante a la de la anterior campaña (figura 11b). Al igual que en aquella, también la densidad de siembra de la cebada condicionó el crecimiento de las plantas y se apreciaron diferencias significativas entre las biomásas de las parcelas, de acuerdo con los modelos ajustados (tabla 8).

Las biomásas máximas esperables a altas densidades de margall se redujeron un 23 % (de 380 g/m² a 292 g/m²) al aumentar la densidad de siembra de 75 a 150 kg/ha.

5.7.2.2. Efecto sobre el número de espigas.

Campaña 93/94.

De forma semejante a lo sucedido con la biomasa, el número de espigas de *L. rigidum* por m² fue aumentando de manera exponencial al incrementarse la densidad de plantas, alcanzando un cierto valor límite que también dependió de la densidad de siembra del cereal (figura 11c).

De acuerdo con los modelos resultantes del ajuste de los datos, el número de espigas máximo fue de 1.425 por m² en las parcelas con baja densidad de siembra y de 852 en las de alta (tabla 9). Aumentando la densidad de siembra el doble (de 75 a 150 kg/ha), el número de espigas disminuyó un 18% y aumentándola cuatro veces (de 75 a 300 kg/ha) la disminución fue del 40%.

5.7.2.3. Discusión.

En los dos años y con independencia de las condiciones climáticas imperantes, siempre se observó una reducción de la biomasa y del número de espigas de *L. rigidum* tanto mayor cuanto mayor fue la densidad de siembra de la cebada. En las dos campañas 93/94 y 94/95 el aumento de 75 a 150 kg/ha de la densidad de siembra del cultivo comportó reducciones de la

biomasa de margall esperada a altas infestaciones del 18 y 23 % respectivamente y siempre una misma densidad de plantas producía menos biomasa en aquellas parcelas en las que la densidad de siembra del cereal era mayor.

La magnitud de la reducción observada en el margall sí parece estar relacionada con las condiciones climatológicas del año. La campaña 93/94 fue un año extremadamente seco en el que el contenido de agua del suelo en el momento de la siembra fue del 10 % en peso (figura 6 en apartado 5.2.2.3) y sólo se recogieron durante toda la época de crecimiento 52,1 mm de precipitación (tabla 3, apartado 5.2.2.3); en cambio, al año siguiente, el contenido de agua en el suelo era del 15 % y aún sin ser un año con una alta pluviometría se llegaron a recoger 82,9 mm de agua. Teniendo en cuenta que la cebada es considerada como un cultivo que responde bien en ambientes secos, el crecimiento de las plantas de margall en competencia con la cebada resultó mucho más afectado en el 93/94 que en el 94/95.

La supresión o reducción del crecimiento de la mala hierba ante aumentos de la densidad del cultivo también ha sido constatada por otros autores (Skorda y Epthimiadis, 1989; Medd *et al.*, 1985), así como la influencia que tienen factores tales como la presencia de agua en el suelo en los procesos de competencia (Martin *et al.*, 1987).

Trabajos realizados sobre la influencia de la densidad de plantas y su correspondiente biomasa en situaciones de monocultivo presentados por Hay y Walker (1989) han mostrado que la biomasa se va incrementando hasta llegar a un cierto valor límite, alcanzado el cual ya no aumenta aunque se incremente el número de plantas debido al efecto de la competencia intraespecífica. Según estos trabajos, el valor de este límite máximo de biomasa se puede alcanzar antes o después dependiendo de factores tales como la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, las condiciones climáticas, la incidencia de plagas, etc., ya que son factores que afectan o pueden afectar el crecimiento de las plantas. Otro factor que podría afectar al valor máximo de biomasa sería la densidad existente de plantas, debido al establecimiento de relaciones de interferencia entre ellas ya sean de la misma o de diferente especie.

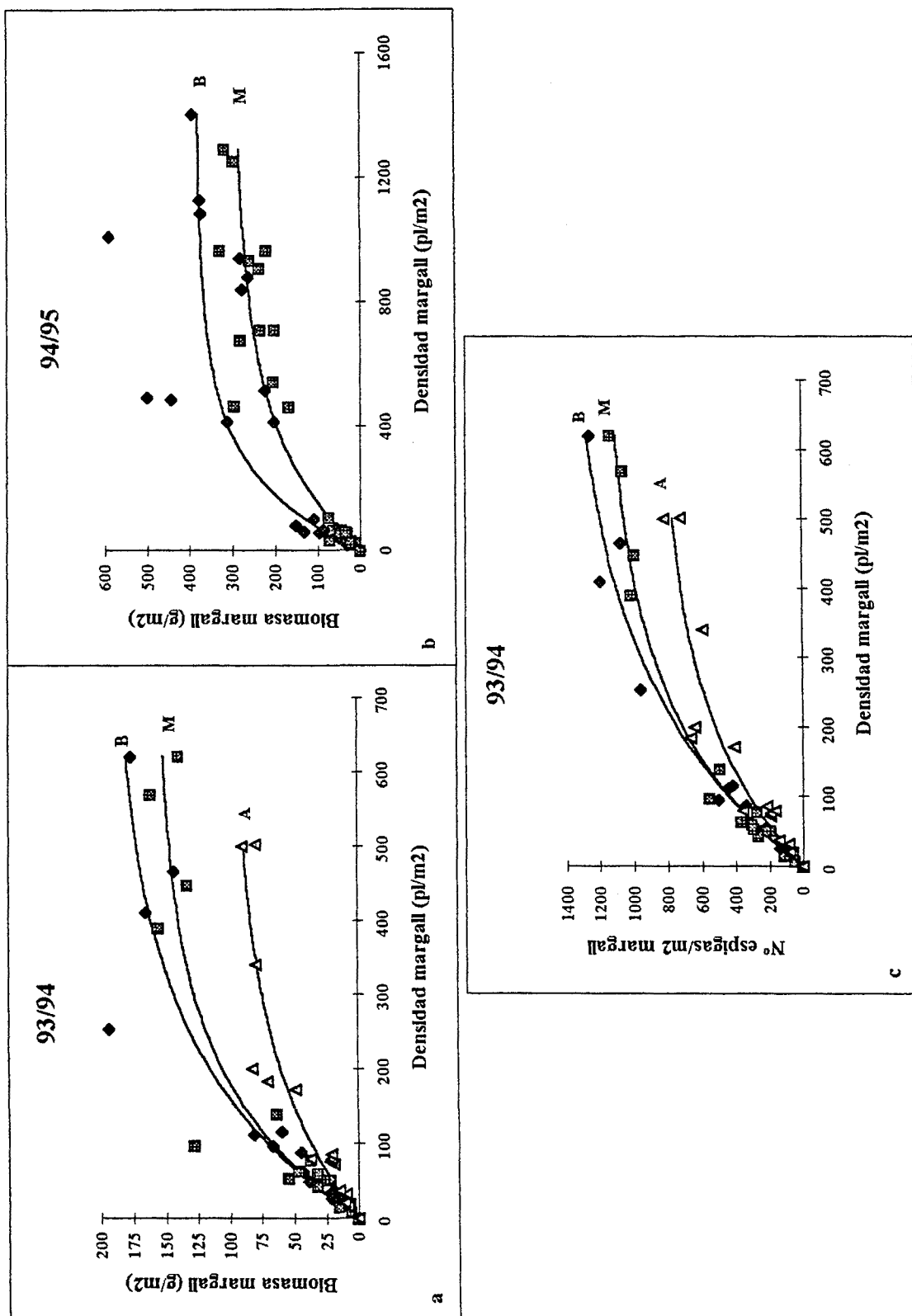


Figura 11. Relación entre la densidad de *Lolium rigidum* (plantas/m²) con su biomasa (g/m²) (a, b) y su número de espigas (c) para las densidades de siembra de cebada de 300 kg/ha (A), 150 kg/ha (M) y 75 kg/ha (B), al final de la campaña.

Tabla 8. Modelos exponenciales que se han ajustado a la biomasa (g/m^2) de *Lolium rigidum* en función de su densidad de plantas en las campañas 93/94 y 94/95 y para las densidades de siembra del cultivo empleadas en cada campaña. 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 y RMS es la suma de los cuadrados medios de los residuos.

	$y = a - b.r^x$				
	a,b	D.E.	r	D.E.	RMS
93/94					
75 kg/ha	191,56 a	18,65	0,995 a	0,001	279
150 kg/ha	156,58 b	13,85	0,994 a	0,001	314
300 kg/ha	97,84 c	9,32	0,995 a	0,001	60
94/95					
75 kg/ha	380,07 d	30,13	0,996 a	0,002	7445
150 kg/ha	291,95 e	19,52	0,997 a	0,001	1231

y: biomasa de *Lolium rigidum* (g/m^2); x: densidad de *Lolium rigidum* (plantas/ m^2).

Tabla 9. Modelos exponenciales que se han ajustado a la biomasa de *Lolium rigidum* (g/m^2) en función de su densidad de plantas en la campaña 93/94 para cada una de las tres densidades de siembra del cultivo. a , b y r son los parámetros del modelo (valores con la misma letra no son diferentes significativamente); D.E. es la desviación estándar del parámetro y RMS es la suma de los cuadrados medios de los residuos del modelo.

93/94	$y = a - b.r^x$				
	a,b	S.E.	r	S.E.	RMS
75 kg/ha	1425,46 a	70,73	0,996 a	0,000	2253
150 kg/ha	1167,40 b	46,13	0,995 a	0,000	2393
300 kg/ha	851,85 c	84,23	0,995 a	0,001	4561

y: número de espigas/ m^2 de *Lolium rigidum*; x: densidad de *Lolium rigidum* (plantas/ m^2).

5.7.3. Resultados del efecto de la competencia de *L. rigidum* sobre la cebada. Campañas 93/94 y 94/95.

En las campañas 93/94 y 94/95 se estudiaron las pérdidas de rendimiento en la cebada en función de la abundancia de *L. rigidum* y de la densidad de siembra de la propia cebada. Los resultados de los ensayos se presentan a continuación.

5.7.3.1. Efecto sobre el rendimiento y las pérdidas de rendimiento.

Campaña 93/94.

La cosecha de cebada de las parcelas libres de margall fue de 217 g/m²; en el resto de parcelas osciló entre los 142 y 289 g/m², con una variabilidad mayor cuando las densidades de mala hierba eran menores de 100 plantas por m² (figuras 12a, b).

El rendimiento de la cebada parece no haber sido afectado por la presencia de margall ya que no se ha detectado ninguna interacción significativa con la abundancia de margall en ninguna de las tres densidades de siembra del cultivo. Los modelos resultantes del ajuste de los datos no han resultado ser significativos en ningún caso (tablas 10a y 10b).

Se ha realizado un análisis de varianza para comprobar si había diferencias de rendimiento en función de la densidad de siembra del cultivo, pero tampoco se detectaron diferencias entre las tres densidades (tabla 16). En función de esto se ha buscado el valor medio de la cosecha de todas las parcelas, el cual se ha estimado en 208 g/m².

La ausencia de reducciones en la cosecha por no competencia con el margall ha hecho innecesario el análisis de las pérdidas de rendimiento.

Campaña 94/95.

La cosecha media de las parcelas libres de margall fue de 347 g/m² mientras que la de las parcelas con margall osciló entre los 121 y 418 g/m², con tendencia a disminuir al aumentar el margall (figuras 12c, d).

La interacción margall/cebada resultó significativa para ambas densidades de siembra, con unos valores de cosecha disminuyendo de forma lineal a medida que aumentaba la abundancia de mala hierba. Los datos obtenidos se ajustaron mejor al modelo si se utilizaba la biomasa como variable de abundancia de la mala hierba en lugar de la densidad de plantas: para la densidad de siembra de la cebada de 75 kg/ha, el modelo lineal mostró una r² de 0,61 para biomasa y sólo de 0,36 para densidad; lo mismo sucedió en la densidad de siembra de 150 kg/ha (0,37 y 0,28 respectivamente) (tablas 10a y 10b).

La presencia creciente de margall afectó por igual a ambas densidades de siembra, tal como lo indica el paralelismo existente entre ambas rectas. Tampoco se apreciaron diferencias significativas en función de la densidad de siembra del cultivo ya que los términos independientes resultaron ser equivalentes. De aquí que se halla buscado una recta común para todos los puntos, la cual presentó una r^2 de 0,30 o 0,51 según si la variable de abundancia del margall era la densidad o la biomasa respectivamente (tablas 10a y 10b).

Las pérdidas de rendimiento de la cebada en función de la densidad y de la biomasa de margall se ajustaron a modelos de tipo exponencial (figuras 13a, b). El análisis de las curvas encontradas para cada densidad de siembra de cebada indicó que no diferían significativamente unas de otras, por lo que se pudo calcular una única curva que englobara a todos los puntos y que definiera la pérdida de rendimiento del cultivo en función de la densidad y en función de la biomasa de mala hierba con un alto nivel de significación. Según este modelo global (tabla 11), las pérdidas de rendimiento del cereal ante una elevada presencia de margall serían del 42 % si se considerasen densidades de margall y del 53 % si se considerasen biomasa, todo ello con independencia de la densidad a la que hubiera estado sembrada la cebada.

Discusión.

En la campaña 93/94 la competencia establecida entre la cebada y el margall no fue suficientemente importante como para manifestarse en términos de reducción de cosecha. En la campaña 94/95 en cambio, sí se observó una disminución del rendimiento de la cebada ante el incremento de margall. Esta disminución se produjo de forma equivalente para las dos densidades de siembra del cultivo, por lo que ésta no tuvo mucha importancia en el proceso de competencia.

La diferencia observada en las respuestas estaría relacionada con la disponibilidad de agua en el suelo. Según los datos presentados en la tabla 3, las precipitaciones recogidas en la época de crecimiento en la campaña 94/95 fueron de 82,9 mm, mientras que en la 93/94 fueron de 51,3 mm. La menor disponibilidad de agua en esta última campaña afectó como ya se ha visto al desarrollo del margall, volviéndolo menos competitivo. Esta escasez de precipitaciones también afectó a la cebada, haciendo que los rendimientos del 93/94 fueran inferiores a los del 94/95.

Las diferencias de biomasa observadas en el cereal durante las campañas como consecuencia de la diferente densidad de siembra del cereal no se han observado en el momento de la cosecha. La producción final en las parcelas no ha guardado ninguna relación con la densidad de siembra del cereal, lo que implica que en las parcelas con menores densidades alguno o algunos de los componentes del rendimiento han debido aumentar para compensar la existencia de este menor número de plantas y dar un rendimiento final similar al de las parcelas con una densidad de siembra mayor.

Los datos de rendimiento de la campaña en que se observaron pérdidas estuvieron mejor correlacionados con la biomasa que con la densidad de plantas de margall, de acuerdo con lo indicado por los coeficientes de correlación. Diversos autores (Wilson y Peters, 1982; Medd *et*

al., 1985) también concuerdan en el hecho de que la biomasa de mala hierba es la variable que explica mejor la cosecha de cereal obtenida, porque refleja la cantidad de mala hierba existente en un área determinada y da por tanto una mejor aproximación de la intensidad de la competencia que es ejercida sobre el cultivo.

Las pérdidas de rendimiento están también mejor descritas por la biomasa que por la densidad de margall, por lo que de acuerdo con nuestros resultados, las pérdidas en la cebada en la campaña 94/95 para altas infestaciones de mala hierba estarían más cercanas al 53 % indicado por el modelo de biomasa que al 42 % indicado por el modelo de densidad de plantas.

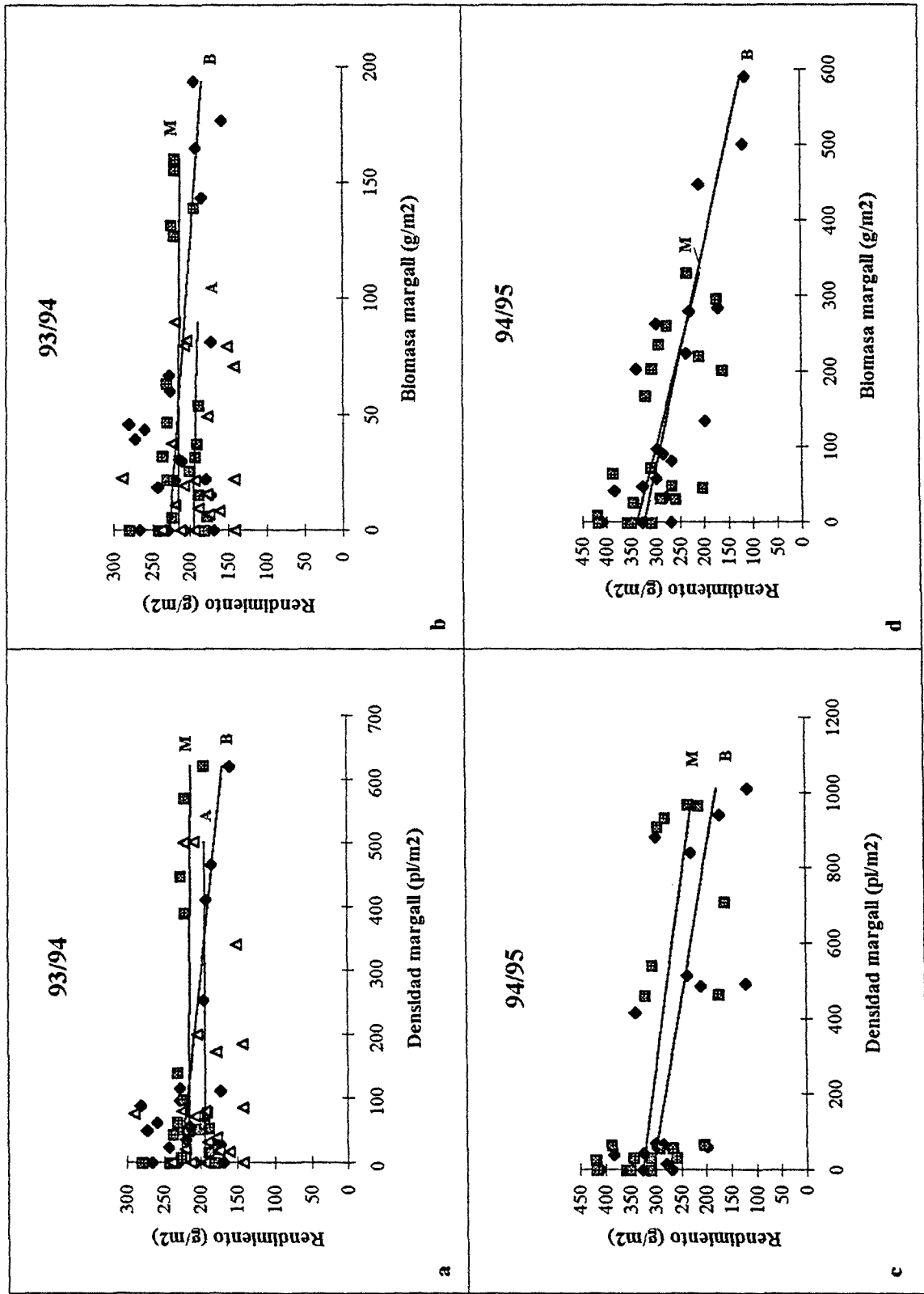


Figura 12. Efecto de la densidad (plantas/m²) y de la biomasa (g/m²) de *Lolium rigidum* sobre el rendimiento de la cebada (g/m²) en las campañas 1993/94 (a y b) y 94/95 (c y d) en función de las densidades de siembra del cultivo empleadas en cada campaña (B: 75 kg/ha; M: 150 kg/ha; A: 300 kg/ha).

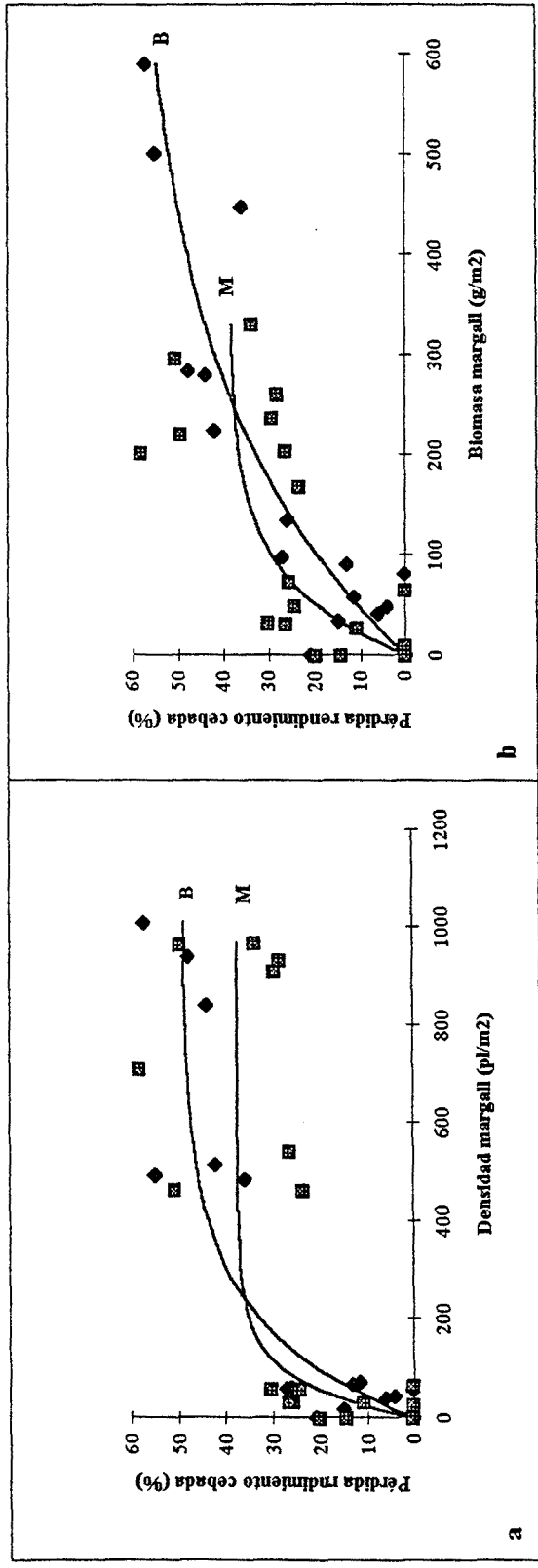


Figura 13. Efecto de la densidad (plantas/m²) y de la biomasa (g/m²) de *Lolium rigidum* sobre las pérdidas de rendimiento de la cebada (%) en la campaña 1994/95 en función de las densidades de siembra del cultivo (B: 75 kg/ha; M: 150 kg/ha).

Tabla 10a. Modelos lineales que se han ajustado al rendimiento de la cebada (g/m^2) en función de la densidad de *Lolium rigidum* (plantas/m^2) para las densidades de siembra del cultivo utilizadas en cada campaña. *a* y *b* son los parámetros del modelo; valores de los parámetros con la misma letra no son significativamente diferentes con $P < 0,05$; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (*: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$; n.s.: no significativo); r^2 es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo.

	y = a + bx						
	a	D.E.	b	D.E.	F	r^2	CV
93/94							
75 kg/ha	226,01	9,39	-0,094	0,045	n.s.	---	---
150 kg/ha	216,27	7,16	-0,008	0,030	n.s.	---	---
300 kg/ha	193,30	10,90	0,002	0,001	n.s.	---	---
94/95							
75 kg/ha	308,24 a	17,56	-0,139 a	0,038	**	0,43	22,53
150 kg/ha	326,09 a	18,75	-0,102 a	0,038	*	0,28	21,81
Global	315,09	13,26	-0,113	0,028	***	0,30	22,89

y: rendimiento de cebada (g/m^2); x: densidad de *Lolium rigidum* (plantas/m^2).

Tabla 10b. Modelos lineales que se han ajustado al rendimiento de la cebada (g/m^2) en función de la biomasa de *Lolium rigidum* (g/m^2) en cada campaña y para cada una de las densidades de siembra del cultivo. *a* y *b* son los parámetros del modelo; valores de los parámetros con la misma letra no son significativamente diferentes con $P < 0,05$; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$); r^2 es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo.

	y = a + bx						
	a	D.E.	b	D.E.	F	r^2	CV
93/94							
75 kg/ha	227,51	10,77	-0,229	0,129	n.s.	---	---
150 kg/ha	216,05	8,11	-0,015	0,106	n.s.	---	---
300 kg/ha	196,03	12,05	-0,081	0,273	n.s.	---	---
94/95							
75 kg/ha	327,88 a	13,72	-0,363 a	0,057	***	0,69	16,48
150 kg/ha	338,40 a	19,21	-0,395 a	0,122	**	0,37	20,46
Global	330,99	11,80	-0,360	0,058	***	0,51	19,29

y: rendimiento de cebada (g/m^2); x: biomasa de *Lolium rigidum* (g/m^2).

Tabla 11. Modelos exponenciales que se han ajustado a las pérdidas de rendimiento (%) de la cebada en función de la densidad (plantas/m²) y la biomasa (g/m²) de *Lolium rigidum*, para las densidades de siembra del cultivo de 75 y 150 kg/ha de la campaña 1994/95. *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
75 kg/ha	49,055 a	4,824	0,995 a	0,002	89
150 kg/ha	37,302 a	4,616	0,986 a	0,006	169
Global	41,834	3,272	0,991	0,003	136

y: pérdidas de rendimiento (%); x: densidad de plantas de *Lolium rigidum* (plantas/m²).

	$y = a - b.r^x$				
	a, b	D.E.	r	D.E.	RMS
75 kg/ha	60,722 a	11,337	0,996 a	0,001	76
150 kg/ha	38,678 a	6,133	0,986 a	0,008	166
Global	53,408	8,851	0,995	0,002	126

y: pérdidas de rendimiento (%); x: biomasa de *Lolium rigidum* (g/m²).

5.7.3.2. Efecto sobre el número de espigas.

Campaña 93/94.

Los valores medios del número de espigas por m² en las parcelas libres de malas hierbas fueron de 308 para las densidades de siembra de 75 kg/ha, de 414 para las densidades de 150 kg/ha y de 576 para las densidades de 300 kg/ha (figuras 14a, b).

El número de espigas por m² no resultó afectado por la presencia de margall en ninguna de las tres densidades de siembra del cultivo; los datos no se pudieron ajustar a ningún modelo (tabla 12a y 12b).

Un análisis de varianza indicó que había diferencias significativas entre las tres densidades de siembra del cultivo. La media de las parcelas con densidad de siembra alta (584) fue más alta que las de densidad media (407) y éstas a su vez, fueron más altas que las de densidad baja (308) (tabla 16).

Campaña 94/95.

El número de espigas por m² en las parcelas libres de mala hierba fue de 589 para las densidades de siembra de 75 kg/ha y de 815 para las de 150 kg/ha, observándose una tendencia decreciente de los valores a medida que aumentaba la presencia de margall en ambas densidades de siembra del cultivo (figuras 14c, d).

El ajuste de los datos a modelos lineales resultó significativo considerando tanto densidad como biomasa de margall, aunque los mejores ajustes se lograron considerando la biomasa. Si consideramos biomasa de margall como variable independiente, se obtuvieron r² superiores a 0,60 y coeficientes de variación (CV) entre 9 y 15 frente a r² inferiores a 0,50 y CV entre 12 y 20 de los modelos con densidad de margall (tablas 12a y 12b).

Tanto si el modelo incluye la densidad como la biomasa de margall, el ajuste obtenido para las dos densidades de siembra posee pendientes iguales pero diferentes puntos de corte con el eje y, es decir, se trata de rectas paralelas pero separadas una de la otra. El desplazamiento indica que el número de espigas de cebada encontrado en las parcelas con densidades de siembra medias fue significativamente mayor que en las parcelas con densidades de siembra bajas, aunque el tasa de disminución ante el incremento de mala hierba (indicado por la pendiente) sea similar en ambos ajustes (0,58 para 75 kg/ha y 0,80 para 175 kg/ha; iguales con P<0,05).

Según estos modelos, una densidad de margall de 1.000 plantas por m² provocaron una reducción del 33 % y del 26 % en el número de espigas de las parcelas con densidad de cebada de 75 y 150 kg/ha respectivamente con respecto a las parcelas libres de malas hierbas.

Discusión.

En la campaña 93/94 no se detectó ningún efecto de la mala hierba sobre el cultivo en lo que se refiere al número de espigas por m² para ninguna de las densidades de siembra de la cebada. El único efecto observado estuvo relacionado con la densidad de siembra, un aumento de la cual comportó un aumento del número de espigas por m² que sería explicado por el mayor número de plantas por unidad de superficie existente en las parcelas.

En la campaña 94/95 se observó una disminución en el número de espigas como consecuencia de la competencia creada por la mala hierba. Cuando se establece competencia entre dos plantas el órgano más afectado es aquél que en aquel momento crece con más rapidez y el proceso fisiológico más afectado es aquél que está teniendo lugar durante ese período (Aspinall *et al.*, 1964). En nuestro caso, la reducción del número de espigas puede estar relacionada con un menor número de hijuelos fértiles; suponiendo que la mayoría de los hijuelos den espiga, un menor número de espigas estaría relacionado con un menor número de hijuelos; como el proceso que rige en gran medida la formación de hijuelos es la capacidad de absorción de nutrientes (nitrógeno principalmente) por parte de la planta (Aspinall *et al.*, 1964), si se establecen relaciones de competencia por estos nutrientes se originará una menor disponibilidad de ellos y en consecuencia el proceso que dará lugar a la formación de los hijuelos resultará afectado.

Para densidades de siembra equivalentes y en las parcelas libres de malas hierbas, el número de espigas en la temporada 94/95 fue netamente superior al de la 93/94. El aumento podría estar relacionado con un mayor ahijamiento producido por la mayor disponibilidad de agua en el suelo que hubo al inicio de esta campaña.

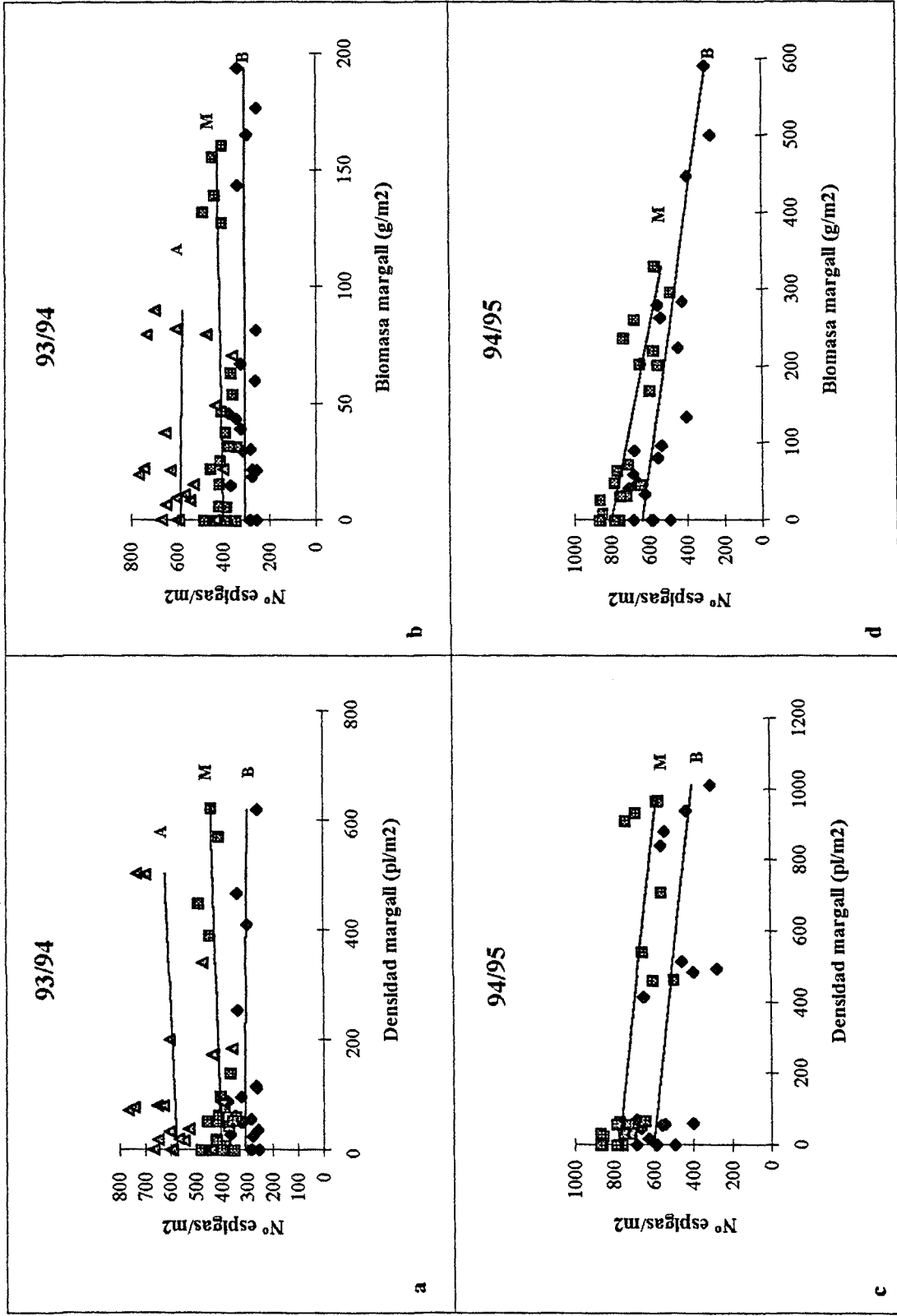


Figura 14. Efecto de la densidad (plantas/m²) y de la biomasa (g/m²) de *Lolium rigidum* sobre el número de espigas por m² de cebada (g/m²) en las campañas 1993/94 (**a** y **b**) y 94-95 (**c** y **d**) en función de las densidades de siembra del cultivo empleadas en cada campaña (**B**: 75 kg/ha; **M**: 150 kg/ha; **A**: 300 kg/ha).

5. COMPETENCIA ENTRE *LOLIUM RIGIDUM* Y CEBADA EN CATALUNYA.

Tabla 12a. Modelos lineales que se han ajustado al número de espigas de cebada por m² en función de la densidad de *Lolium rigidum* (plantas/m²) en cada campaña y para cada una de las densidades de siembra del cultivo. *a* y *b* son los parámetros del modelo; valores de los parámetros con la misma letra no son significativamente diferentes con P<0,05; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo, **: P<0,01; ***: P<0,001); r² es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación.

	y = a + bx						
	a	D.E.	b	D.E.	F	r ²	CV
93/94							
75 kg/ha	310,73	12,51	-0,022	0,059	n.s.	---	---
150 kg/ha	398,03	10,65	0,068	0,045	n.s.	---	---
300 kg/ha	572,20	33,70	0,099	0,173	n.s.	---	---
94/95							
75 kg/ha	601,57 a	32,15	-0,202 a	0,069	**	0,32	20,32
150 kg/ha	772,51 b	24,78	-0,197 a	0,050	***	0,46	11,92
Global	---	---	-0,199	---	---	---	---
y: número de espigas/m ² de cebada; x: densidad de <i>Lolium rigidum</i> (plantas/m ²).							

Tabla 12b. Modelos lineales que se han ajustado al número de espigas de cebada por m² en función de la biomasa de *Lolium rigidum* (g/m²) en cada campaña y para cada una de las densidades de siembra del cultivo. *a* y *b* son los parámetros del modelo; valores de los parámetros con la misma letra no son significativamente diferentes con P<0,05; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo; ***: P<0,001); r² es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo.

	y = a + bx						
	a	D.E.	b	D.E.	F	r ²	CV
93/94							
75 kg/ha	308,6	14,0	-0,011	0,167	n.s.	---	---
150 kg/ha	398,2	12,3	0,169	0,160	n.s.	---	---
300 kg/ha	588,8	37,8	-0,150	0,857	n.s.	---	---
94/95							
75 kg/ha	638,24 a	25,72	-0,576 a	0,106	***	0,62	15,22
150 kg/ha	800,18 b	21,67	-0,800 a	0,137	***	0,65	9,55
Global	---	---	-0,641	---	---	---	---
y: número de espigas/m ² de cebada; x: biomasa de <i>Lolium rigidum</i> (g/m ²).							

5.7.3.3. Efecto sobre el número de granos por espiga.

Campaña 93/94.

El número medio de granos por espiga en la cebada de las parcelas libres de margall fue de 22 para la densidad de siembra de 300 kg/ha, de 29 para la densidad de 150 kg/ha y de 34 para la densidad de 75 kg/ha.

En las parcelas con presencia de margall estos valores apenas variaron por lo que no se apreció ninguna interacción del número de granos por espiga con la presencia de margall en ninguna de las tres densidades de siembra (figuras 15a, b) y ninguno de los modelos que se ajustaron a los datos resultó significativo (tablas 13a y 13b).

Un análisis de varianza para estudiar el efecto de la densidad de siembra indicó que el número de granos difería significativamente entre las tres densidades: la densidad más baja presentó el valor más alto (33 granos por espiga), la media un valor intermedio (29 granos por espiga) y la alta el más bajo (21 granos por espiga) (tabla 16).

Campaña 94/95.

El número medio de granos por espiga en las parcelas libres de margall se estimó en 26 para la densidad de siembra de 150 kg/ha y en 29 para la densidad de siembra de 75 kg/ha.

Los valores fueron también semejantes a los anteriores en las parcelas con presencia de margall (figuras 15c, d), por lo que no se detectó ninguna disminución en el número de granos de las espigas como consecuencia de la presencia del margall y los puntos no se pudieron ajustar a ningún modelo (tablas 13a y 13b).

Un análisis de varianza indicó que había diferencias significativas en el número de granos entre las dos densidades de siembra del cereal: las parcelas con densidades de 75 kg/ha presentaron un mayor número de granos por espiga (28) que las parcelas con densidades de 150 kg/ha (24) (tabla 16).

Discusión.

El número de granos por espiga no parece haber resultado afectado por la competencia del margall en ninguna de las dos campañas, no habiéndose encontrado ninguna disminución en su número al incrementarse la población de mala hierba en los dos años.

El aumento de la densidad de siembra del cultivo comportó una reducción del número de granos de las espigas en ambas campañas, relacionándose este hecho a la aparición de una cierta competencia interespecífica entre las propias plantas de cebada que debió tener lugar en ambas campañas y previamente a la antesis, que provocó una reducción del número de granos

por espigas. Según Aspinall *et al.* (1964) probablemente la competencia se habría producido por agua en el momento de formación de la espiga. Si observamos la disponibilidad de agua en el suelo en las dos campañas durante este periodo que correspondería al mes de marzo (tabla 4), vemos que ya había un déficit importante de agua en el suelo, que al pasar a ser un factor limitante, ha desencadenado la competencia.

El hecho de que el margall no haya tenido ningún efecto indica que no pudo competir con la cebada, entre otras causas debido a su más tardía emergencia con respecto a la cebada con lo que se encontró que ésta ya estaba establecida en el medio. Otras características fisiológicas de la cebada como su mayor velocidad de crecimiento en los estadios iniciales y su porte más postrado (Cousens, 1996) también dificultaron el desarrollo inicial de la mala hierba y su buen establecimiento, haciendo que ante una situación climatológica desfavorable que vino con posterioridad se comportara de una forma mucho menos competitiva que la cebada.

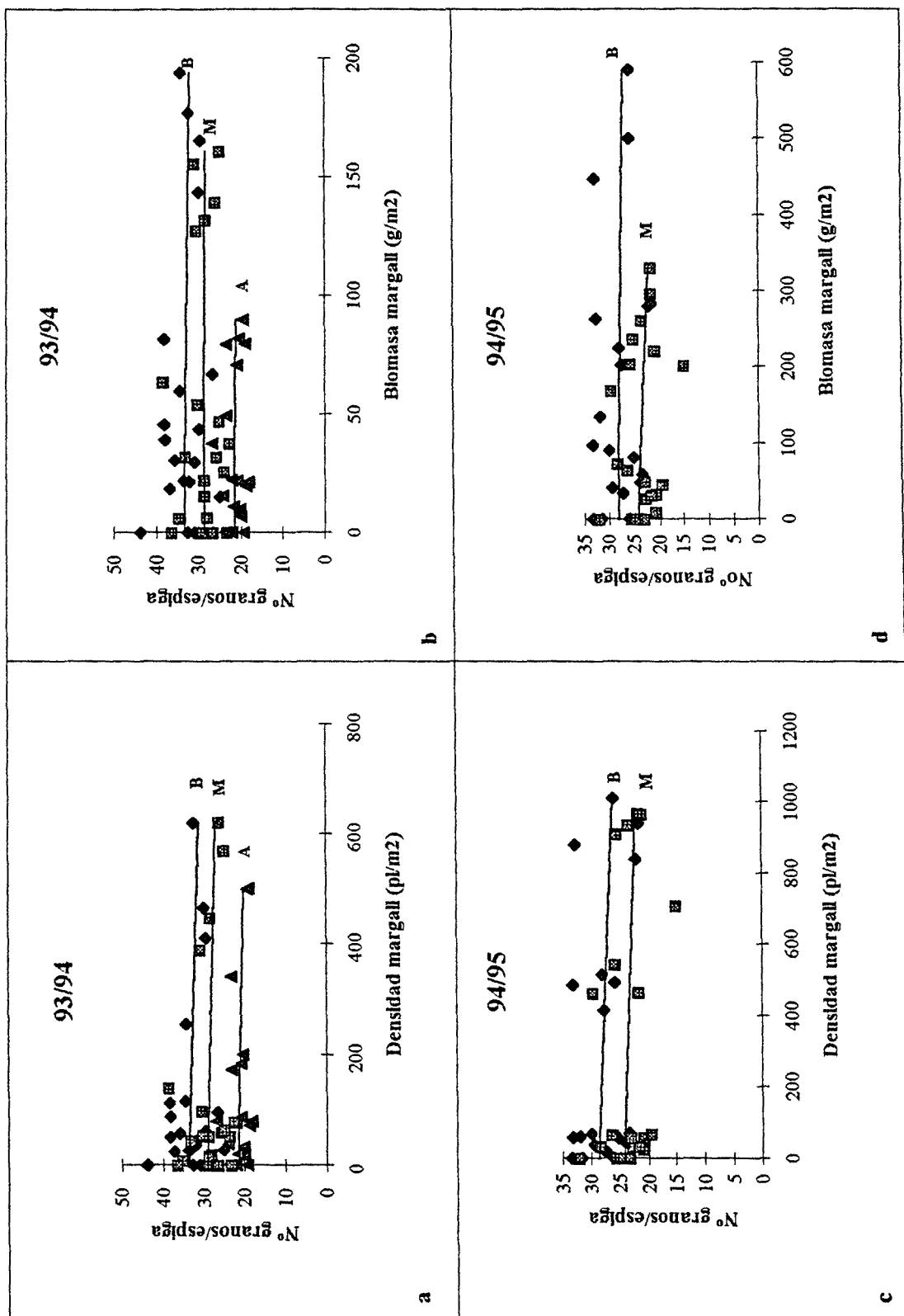


Figura 15. Efecto de la densidad (plantas/m²) y de la biomasa (g/m²) de *Lolium rigidum* sobre el número de granos por espiga de la cebada en las campañas 1993/94 (a y b) y 94/95 (c y d) en función de las densidades de siembra del cultivo empleadas en cada campaña (B: 75 kg/ha; M: 150 kg/ha; A: 300 kg/ha).

Tabla 13a. Modelos lineales que se han ajustado al número de granos por espiga de cebada en función de la densidad de *Lolium rigidum* (plantas/m²) en cada campaña y para cada una de las densidades de siembra del cultivo. *a* y *b* son los parámetros del modelo; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo); r² es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo.

	y = a + bx				F	r ²	CV
	a	D.E.	b	D.E.			
93/94							
75 kg/ha	33,60	1,18	-0,004	0,006	n.s.	---	---
150 kg/ha	29,16	1,28	-0,003	0,005	n.s.	---	---
300 kg/ha	21,73	0,64	-0,004	0,003	n.s.	---	---
94/95							
75 kg/ha	28,55	1,15	-0,002	0,002	n.s.	---	---
150 kg/ha	24,30	1,11	-0,002	0,002	n.s.	---	---

y: número de granos/espiga de cebada; x: densidad de *Lolium rigidum* (plantas/m²).

Tabla 13b. Modelos lineales que se han ajustado al número de granos por espiga de cebada en función de la biomasa de *Lolium rigidum* (g/m²) en cada campaña y para cada una de las densidades de siembra del cultivo. *a* y *b* son los parámetros del modelo; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo); r² es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo.

	y = a + bx				F	r ²	CV
	a	D.E.	b	D.E.			
1993-94							
75 kg/ha	33,54	1,44	-0,008	0,017	n.s.	---	---
150 kg/ha	28,95	1,35	-0,005	0,018	n.s.	---	---
300 kg/ha	21,58	0,73	-0,009	0,017	n.s.	---	---
1994-95							
75 kg/ha	28,12	1,25	-0,002	0,005	n.s.	---	---
150 kg/ha	24,30	1,22	-0,006	0,008	n.s.	---	---

y: número de granos/espiga de cebada; x: biomasa de *Lolium rigidum* (g/m²).

5.7.3.4. Efecto sobre el peso de 1.000 granos.

Campaña 93/94.

El peso medio de 1.000 granos de cebada en las parcelas libres de mala hierba fue de 20 gramos para las densidades de siembra de 300 kg/ha, de 22 g. para las densidades de siembra de 150 kg/ha y de 25 g. para las densidades de 75 kg/ha.

La presencia de margall no hizo disminuir el peso medio de los granos en ninguna de las tres densidades de siembra, manteniéndose éste más o menos estable con respecto a la densidad y biomasa de margall (figuras 16a, b), por lo que los modelos lineales ajustados no resultaron significativos (tablas 14a y 14b).

Un análisis de varianza considerando la densidad de siembra como factor indicó que hubo diferencias significativas en el peso de los granos entre las diferentes densidades, con la densidad más baja presentando los granos de mayor peso (24,25 g), la densidad media presentando los granos con un peso intermedio (22,08 g) y la densidad alta con los de menor peso (20,37 g) (tabla 16).

Campaña 94/95.

El peso de 1.000 granos se mantuvo entre los 18 y los 24 gramos, no pareciendo tampoco resultar afectado por la presencia de margall ni por la diferente densidad de siembra del cultivo (figuras 16c, d).

El análisis de regresión realizado para encontrar los mejores modelos que se ajustasen a los puntos confirmó que las interacciones entre el peso de 1.000 granos y la abundancia de margall (tablas 14a y 14b) no fueron significativas en ningún caso.

El análisis de varianza para comprobar si había diferencias de peso en función de la densidad de siembra del cultivo tampoco fue significativo (tabla 16). En función de esto, se calculó el peso medio de 1.000 granos considerando todas las parcelas en conjunto, el cual fue estimado en 21 gramos.

Discusión.

En ninguna de las dos campañas el peso de 1.000 granos resultó afectado por la competencia del margall, manteniéndose este componente del rendimiento invariable ante la presencia de la mala hierba. Aunque se ha demostrado que las malas hierbas pueden provocar descensos en el peso de 1000 granos del cultivo (Peters, 1984; Medd *et al.*, 1985) también se han encontrado casos en que esto no ha sucedido (Cousens *et al.*, 1988). Se pone así de manifiesto que no son tan sólo las densidades de la mala hierba o del cultivo las que determinan el periodo y la intensidad de la competencia entre las plantas sino que otros factores tales como las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrolla el ensayo pueden tener también una

gran importancia.

En la campaña 93/94 el peso de 1.000 granos disminuyó al aumentar la densidad de siembra del cultivo pero en la campaña 94/95 se manifestó invariable e independiente de ella. Los resultados de esta última campaña parecen estar de acuerdo con lo indicado por algunos autores (Evans, 1977; Hay y Walker, 1989) en el sentido de que el peso del grano es relativamente insensible a la densidad de plantas en condiciones normales de cultivo. Sin embargo, en la campaña 93/94 no se puede hablar de condiciones normales de cultivo dada la escasez de agua que hubo. Como el factor que parece determinar el llenado del grano es la disponibilidad de agua en el suelo ya que el agua es el vehículo que transporta los asimilados hacia el grano, si este factor se vuelve muy limitante se pueden establecer intensas relaciones de competencia entre las plantas de la misma especie resultando afectado el peso final de los granos (Aspinall, 1965). Esta competencia intraespecífica podría haber acontecido en la campaña 93/94 durante la fase de llenado del grano y explicaría las diferencias observadas entre las densidades de siembra del cultivo. En la campaña 94/95 dicha competencia no se habría producido con una intensidad suficiente como para ser detectada, debido a haber tenido un mes de abril que fue más lluvioso que el del año anterior.

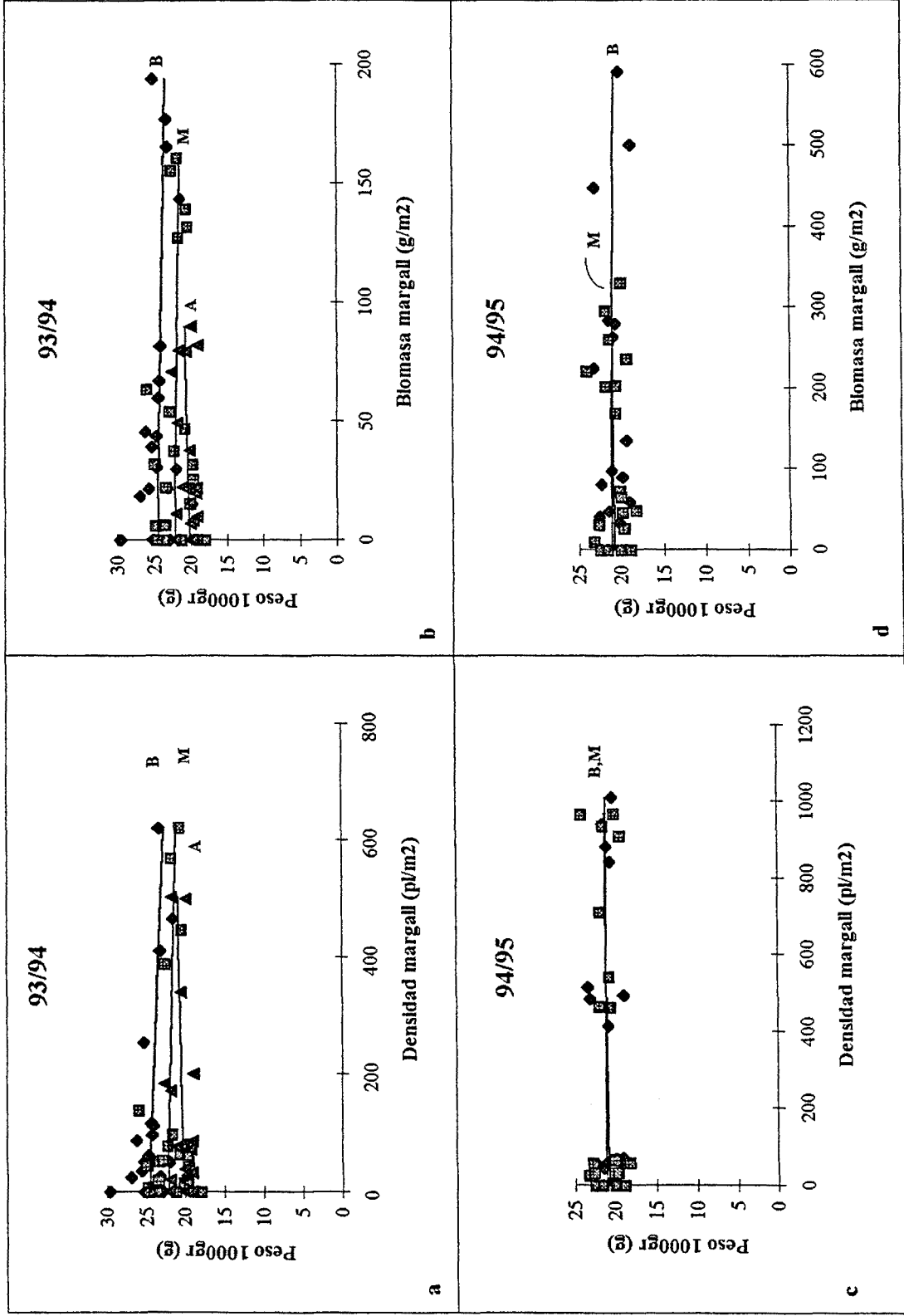


Figura 16. Efecto de la densidad (plantas/m²) y de la biomasa (g/m²) de *Lolium rigidum* sobre el peso de 1.000 granos de cebada en las campañas 1993/94 (**a** y **b**) y 94/95 (**c** y **d**) en función de las densidades de siembra del cultivo empleadas en cada campaña (**B**: 75 kg/ha; **M**: 150 kg/ha; **A**: 300 kg/ha).

Tabla 14a. Modelos lineales que se han ajustado al peso de 1.000 granos de cebada (g) en función de la densidad de *Lolium rigidum* (plantas/m²) en cada campaña y para cada una de las densidades de siembra del cultivo. *a* y *b* son los parámetros del modelo; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo); r² es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo.

	y = a + bx						
	a	D.E.	b	D.E.	F	r ²	CV
93/94							
75 kg/ha	24,63	0,59	-0,003	0,003	n.s.	---	---
150 kg/ha	22,31	0,59	-0,002	0,002	n.s.	---	---
300 kg/ha	20,20	0,34	0,001	0,002	n.s.	---	---
94/95							
75 kg/ha	21,01	0,41	0,00	0,001	n.s.	---	---
150 kg/ha	20,71	0,47	0,001	0,001	n.s.	---	---

y: peso de 1.000 granos de cebada (g); x: densidad de *Lolium rigidum* (plantas/m²).

Tabla 14b. Modelos lineales que se han ajustado al peso de 1.000 granos de cebada (g) en función de la biomasa de *Lolium rigidum* (g/m²) en cada campaña y para cada una de las densidades de siembra del cultivo. *a* y *b* son los parámetros del modelo; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo); r² es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo.

	y = a + bx						
	a	D.E.	b	D.E.	F	r ²	CV
93/94							
75 kg/ha	24,56	0,67	-0,005	0,008	n.s.	---	---
150 kg/ha	22,32	0,67	-0,005	0,009	n.s.	---	---
300 kg/ha	20,14	0,37	0,007	0,008	n.s.	---	---
94/95							
75 kg/ha	21,14	0,43	-0,001	0,002	n.s.	---	---
150 kg/ha	20,79	0,51	0,001	0,003	n.s.	---	---

y: peso de 1.000 granos de cebada (g); x: biomasa de *Lolium rigidum* (g/m²).

5.7.3.5. Efecto sobre la biomasa total de cebada.

Campaña 93/94.

No se encontró ningún efecto del margall sobre la biomasa total de la cebada en ninguna de las tres densidades de siembra del cultivo (figuras 17a, b). Los datos no se pudieron ajustar de forma significativa a ninguno de los modelos (tablas 15a, 15b) y tampoco se encontraron diferencias debidas a las densidades de siembra utilizadas según el análisis de varianza (tabla 16).

Debido a esta ausencia de diferencias, se halló un valor medio de biomasa para todas las parcelas del ensayo de 477 g/m², mientras que si se consideraban únicamente las parcelas libres de malas hierbas la biomasa media resultó ser de 493 g/m².

Campaña 94/95.

Los valores medios de biomasa de la cebada en las parcelas libres de mala hierba fueron de 800 g/m² para la densidad de siembra del cultivo de 75 kg/ha y de 913 g/m² para la densidad de 150 kg/ha, apreciándose una disminución a medida que se incrementaba el margall en ambas (figuras 17c, d). Esta disminución resultó ser significativa tanto con la densidad como con la biomasa de margall.

Los mejores ajustes lineales se lograron considerando la biomasa del margall, con mayores coeficientes de correlación y menores coeficientes de variación que los obtenidos en los modelos de densidad de plantas (tablas 15a, 15b).

La presencia de margall afectó por un igual a ambas densidades de siembra del cultivo ya que tanto la pendiente como el término independiente de ambos modelos no fueron significativamente diferentes. Teniendo en cuenta que no hubo diferencias entre densidades, se buscó un modelo que se ajustase a todos los puntos y describiera el comportamiento de la variable biomasa del cultivo para todas las parcelas (tablas 15a, 15b). Según este modelo global, una densidad de margall de 1.000 plantas por m² redujo la biomasa del cultivo de 820 a 523 g/m², es decir, un 36 %.

Discusión.

En la campaña 93/94 no se observó ningún efecto del margall. De hecho, durante esta primera campaña ninguna de las otras variables de la cebada estudiadas había resultado afectada por la competencia por lo que era esperable que la biomasa total de la parte aérea de la cebada tampoco reflejase ninguna variación. En cambio, en la campaña 94/95 sí se produjeron disminuciones en alguna de las variables del rendimiento y en el propio rendimiento final de la cebada por lo que la biomasa total del cultivo debía reflejar también esas variaciones. Estudios realizados por otros autores (Medd *et al.*, 1985; Cousens *et al.*, 1988) también

muestran que en situaciones de competencia con malas hierbas la biomasa de la parte aérea del cultivo sufre reducciones proporcionales a la cantidad de mala hierba presente de forma similar a lo que acontece con el rendimiento y los componentes del mismo.

Las biomásas del cultivo en la campaña 94/95 fueron superiores a las alcanzadas en la 93/94, debido posiblemente a la mayor disponibilidad de agua en el suelo lo que permitió un mayor crecimiento de las plantas y por tanto, una mayor biomasa.

En los muestreos realizados en medio de la campaña para evaluar la biomasa de las plantas se observaron importantes diferencias en la biomasa de la cebada en función de la densidad a la que ésta había sido sembrada. Las parcelas con una mayor densidad de siembra presentaron una biomasa considerablemente mayor que las parcelas con densidades menores. En el momento de la cosecha, sin embargo, estas diferencias no fueron apreciadas y las biomásas fueron semejantes en todas las parcelas; las únicas diferencias encontradas fueron como consecuencia de la competencia del margall y no debido a la diferente densidad de siembra del cultivo. Hay y Walker (1989) encontraron que cuando uno de los componentes del rendimiento se ve afectado por cualquier causa, los otros tienden a compensar este efecto de modo que el rendimiento final apenas queda afectado. En los dos años de ensayos se ha observado que el número de espigas de cebada era mayor en las parcelas con mayor densidad de siembra del cultivo pero que este aumento se veía compensado por un menor número de granos por espiga del cereal en estas mismas parcelas. En el primer año de ensayo también el peso de 1000 granos fue menor. El incremento del número de espigas como consecuencia del aumento de la densidad de siembra se vio compensado por el decremento sufrido por los otros componentes, de manera que el rendimiento final de la cebada fue semejante en todas las parcelas.

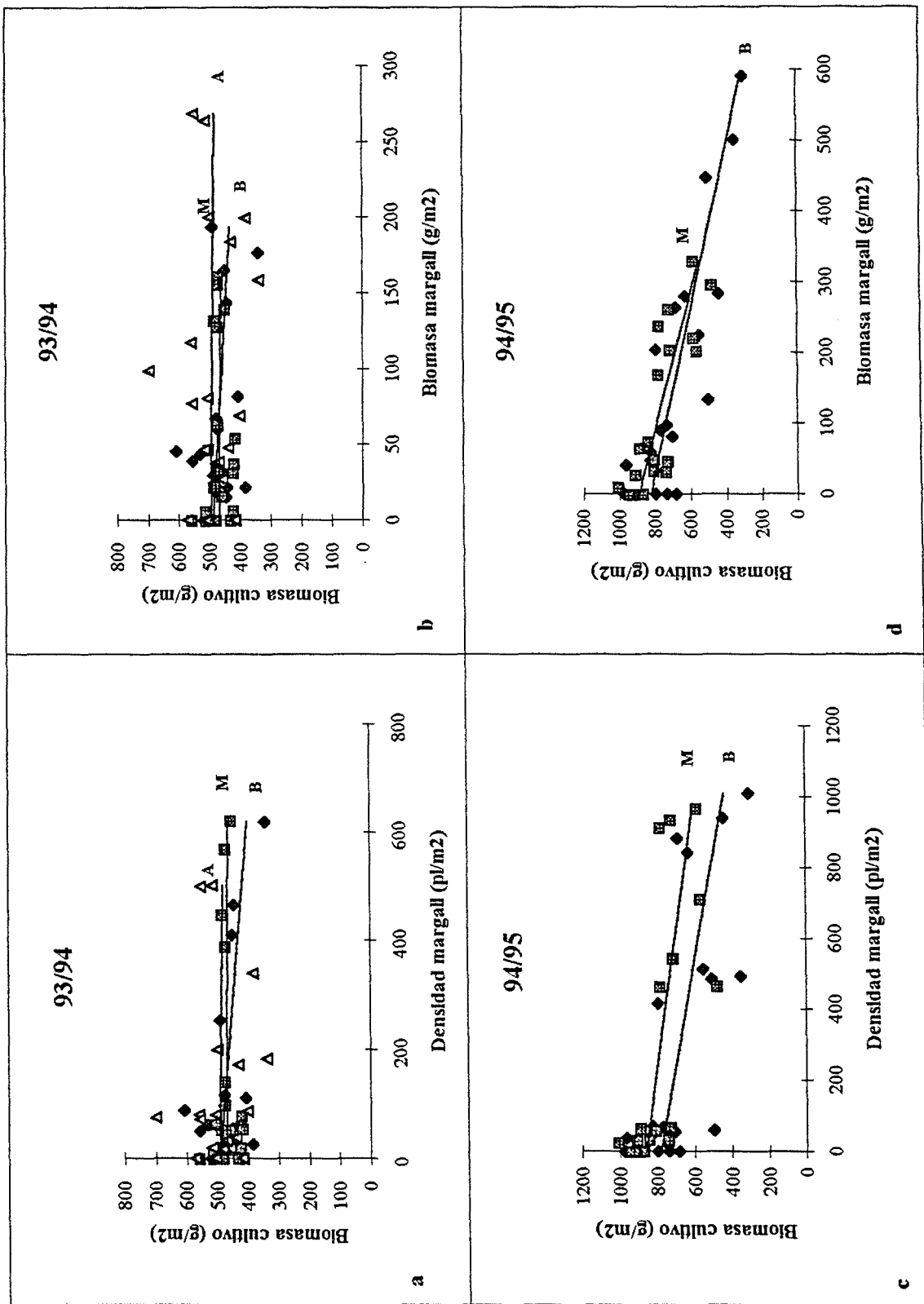


Figura 17. Efecto de la densidad (plantas/m²) y de la biomasa (g/m²) de *Lolium rigidum* sobre la biomasa de cebada en las campañas 1993/94 (a y b) y 94/95 (c y d) en función de las densidades de siembra del cultivo empleadas en cada campaña (B: 75 kg/ha; M: 150 kg/ha; A: 300 kg/ha).

Tabla 15a. Modelos lineales que se han ajustado a la biomasa total de cebada (g/m^2) en función de la densidad de *Lolium rigidum* (plantas/ m^2) en cada campaña y para cada una de las densidades de siembra del cultivo. a y b son los parámetros del modelo; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo; **: $P < 0,01$; ***: $P < 0,001$); r^2 es el coeficiente de correlación y CV el coeficiente de variación del modelo.

	y = a + bx						
	a	D.E.	b	D.E.	F	r^2	CV
93/94							
75 kg/ha	488,93	16,46	-0,147	0,077	n.s.	---	---
150 kg/ha	469,37	10,05	-0,012	0,042	n.s.	---	---
300 kg/ha	494,72	23,34	-0,033	0,120	n.s.	---	---
94/95							
75 kg/ha	780,08 a	41,09	-0,339 a	0,088	**	0,45	20,72
150 kg/ha	862,03 a	30,25	-0,265 a	0,062	***	0,51	13,29
Global	819,72	27,35	-0,297	0,057	***	0,41	18,17

y: biomasa total de cebada (g/m^2); x: densidad de *Lolium rigidum* (plantas/ m^2).

Tabla 15b. Modelos lineales que se han ajustado a la biomasa total de cebada (g/m^2) en función de la biomasa de *Lolium rigidum* (g/m^2) en cada campaña y para cada una de las densidades de siembra del cultivo. a y b son los parámetros del modelo; D.E. es la desviación estándar de los parámetros; F representa la probabilidad del valor F (n.s.: no significativo; ***: $P < 0,001$); r^2 es el coeficiente de correlación y CV es el coeficiente de variación del modelo.

	y = a + bx						
	a	D.E.	b	D.E.	F	r^2	CV
93/94							
75 kg/ha	486,88	19,15	-0,282	0,228	n.s.	---	---
150 kg/ha	470,51	11,33	-0,054	0,148	n.s.	---	---
300 kg/ha	504,87	25,51	-0,455	0,579	n.s.	---	---
94/95							
75 kg/ha	824,24 a	32,85	-0,863 a	0,136	***	0,69	15,51
150 kg/ha	895,26 a	26,80	-1,039 a	0,170	***	0,68	10,78
Global	861,42	21,04	-0,945	0,103	***	0,69	13,24

y: biomasa total de cebada (g/m^2); x: biomasa de *Lolium rigidum* (g/m^2).

Tabla 16. Análisis de varianza considerando como factor la densidad de siembra del cultivo para las variables que no han resultado afectadas por competencia con *L. rigidum*. Valores con la misma letra en la columna correspondiente a la media indican que no son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

Rendimiento (g/m²)					
Dens. siembra	Campaña	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
75 kg/ha	93/94	214 a	36,861	158	281
150 kg/ha	93/94	215 a	25,559	178	279
300 kg/ha	93/94	194 a	37,045	142	289

Número de espigas (por m²)					
Dens. siembra	Campaña	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
75 kg/ha	93/94	308 a	44,186	256	404
150 kg/ha	93/94	407 b	39,976	344	484
300 kg/ha	93/94	584 c	115,946	360	764

Número de granos por espiga					
Dens. siembra	Campaña	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
75 kg/ha	93/94	33 a	4,571	25	44
	94/95	28 b	3,911	22	33
150 kg/ha	93/94	29 b	4,256	23	38
	94/95	24 c	3,789	15	32
300 kg/ha	93/94	21 c	2,250	18	27

Peso de 1.000 granos (g)					
Dens. siembra	Campaña	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
75 kg/ha	93/94	24,25 a	2,151	19,84	29,62
	94/95	21,03 bc	1,349	18,88	23,34
150 kg/ha	93/94	22,08 b	2,117	18,01	25,92
	94/95	20,89 bc	1,570	18,18	23,99
300 kg/ha	93/94	20,37 c	1,167	18,94	22,69

Biomasa de cebada (g)					
Dens. siembra	Campaña	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
75 kg/ha	93/94	471 a	62,933	341	607
150 kg/ha	93/94	468 a	35,840	417	556
300 kg/ha	93/94	491 a	79,602	340	700

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

Campana 93/94.

Debido a que no se han observado variaciones en la cosecha, no se ha realizado ningún tipo de correlación entre el rendimiento y los componentes del rendimiento para esta campaña.

Campana 94/95.

El análisis de correlación entre la variable rendimiento y sus componentes (número de espigas, granos por espiga y peso de 1.000 granos) considerando los datos de todas las parcelas conjuntamente indicó que las variables que estaban más correlacionadas con el rendimiento eran el número de espigas por m² ($r=0,77$) y el número de granos por espiga ($r=0,33$). El peso de 1.000 granos no resultó tener ningún efecto (tabla 17).

Como no había correlaciones recíprocas significativas entre los tres componentes del rendimiento entre sí, se puede afirmar que cerca del 60 % de la variabilidad observada en el rendimiento fue explicada por el número de espigas, alrededor del 11 % por el número de granos por espiga y el resto es atribuible al error experimental.

La mejor recta de regresión que relaciona los componentes del rendimiento con el rendimiento final (en g/m²) incorpora a todas las variables en el modelo y es la siguiente:

$$\text{Rendimiento} = 0,4614 \text{ N}^{\circ}\text{espigas/m}^2 + 8,90 \text{ N}^{\circ}\text{granos/espiga} + 9,06 \text{ Peso1000 gr} - 427,3$$

$$R^2 \text{ (ajustada)} = 85,4.$$

Tabla 17. Matriz de correlación del rendimiento y los componentes del rendimiento de la cebada para las 40 parcelas.

	Número espigas	Granos por espiga	Peso 1.000 gr	Rendimiento
Número espigas	1,000			
Granos por espiga	-0,194 n.s.	1,000		
Peso 1.000 granos	-0,136 n.s.	-0,052 n.s.	1,000	
Rendimiento	0,773 ***	0,330 *	0,025 n.s.	1,000

*: $P < 0,1$; ***: $P < 0,001$; n.s.: no significativo.

5.7.3.7. Discusión.

Los resultados obtenidos en la campaña 93/94 no permiten afirmar que se estableció competencia entre *L. rigidum* y cebada a lo largo de la campaña, ya que ninguna de las variables analizadas ha resultado afectada por la presencia de margall de forma significativa. Las condiciones climatológicas de ese año no favorecieron el crecimiento y desarrollo del margall: un contenido de agua en el suelo al inicio del ciclo del 10,02 % (frente a 15,14 % en la campaña siguiente) hizo que la emergencia del margall no tuviera lugar hasta unos 21 días después de la siembra, cuando en la campaña siguiente la emergencia ya empezó a tener lugar a los 7 días. Debido a este retraso, las plántulas de margall se encontraron con plantas de cebada que ya llevaban explorando y explotando los recursos disponibles de la zona durante un cierto tiempo; este tiempo de explotación inicial del espacio se ha constatado que es importante en el posterior devenir de la competencia (Kemp *et al.*, 1983). A este desfase en la germinación con respecto a la cebada hay que añadirle la mayor tasa de crecimiento que tiene la cebada en los estadios iniciales de desarrollo y su hábito de crecimiento más postrado, hechos constatados por Cousens (1996). Todo ello hizo que el establecimiento del margall al inicio de la campaña no fuera muy exitoso y como a lo largo del ciclo tampoco se produjeron precipitaciones importantes que ayudaran a las plantas a desarrollarse, el margall no pudo ejercer una competencia lo suficientemente importante sobre la cebada que repercutiera de forma evidente sobre los componentes del rendimiento y el propio rendimiento y fuera detectable en los muestreos realizados. De hecho, más que la competencia del margall sobre la cebada lo que se produjo fue una competencia de la cebada sobre el margall. En ensayos de competencia entre trigo y *L. rigidum* Gill y Poole (1986) también observaron que la capacidad del margall de competir con el cultivo estaba correlacionada con la lluvia ocurrida durante la fase de germinación y establecimiento de las plántulas. Estos factores climáticos son más importantes en especies que poseen semillas pequeñas como es el caso de *L. rigidum*, porque generalmente tienen velocidades de extensión de la radícula menores (Baker, 1972).

La ausencia de agua durante esta campaña también afectó al desarrollo de la cebada ya que su rendimiento y biomasa total final fueron inferiores a las obtenidas el año siguiente.

Aunque no hubo competencia interespecífica entre margall y cebada, el número de granos por espiga y el peso de 1.000 granos fueron inferiores en las densidades de cultivo más altas, sugiriendo que se establecieron relaciones de competencia entre las propias plantas de cebada. La disminución de la variable peso de 1.000 granos estaría relacionada con la competencia por agua en la fase de antesis e inmediatamente después (Aspinall *et al.* 1964); la disminución en el número de granos por espiga estaría relacionada con la competencia por agua antes de la antesis, ya que la ausencia de agua en este período afectaría al proceso de inicio del espigado y al número de primordios formados (Aspinall *et al.* 1964). Las disminuciones en estas variables no afectaron al rendimiento final ya que se vieron compensadas con el incremento del número de espigas por m² que ocurrió al aumentar las densidades de siembra, por lo que no hubo diferencias significativas en el rendimiento final entre las tres densidades de siembra.

El rendimiento de la cebada en la campaña 94/95 se vio afectado por la competencia de *L. rigidum*. La disminución fue de tipo lineal y se manifestó de forma semejante en las dos densidades de siembra del cultivo. Aunque en los trabajos de competencia se indica que las pérdidas de rendimiento debidas a malas hierbas vienen definidas por una relación de tipo hiperbólico (Cousens, 1985), también es posible encontrar relaciones lineales, ya que para bajas densidades de mala hierba la relación se puede ajustar al segmento recto que muestra la hipérbola en el tramo cercano al origen (Streibig *et al.*, 1989). En los dos años en que se realizaron los ensayos las condiciones climáticas no favorecieron la competitividad del margall y las densidades de mala hierba que se obtuvieron no fueron suficientemente altas como para poder determinar la asíntota o límite del modelo hiperbólico, y el rango de densidades de mala hierba obtenido correspondió a ese segmento del modelo hiperbólico que es equivalente también a una recta.

El único componente del rendimiento de esta campaña 94/95 afectado por la presencia del margall fue el número de espigas, hecho que sugiere que el único periodo en que hubo una importante competencia tuvo lugar en una fase relativamente temprana del ciclo que, según Aspinall *et al.* (1964), estaría relacionada con la absorción de nitrógeno y otros nutrientes. En esta campaña las plantas de margall no emergieron con tantos días de retraso respecto a las de cebada y dispusieron de una mayor disponibilidad de agua en esta fase inicial del desarrollo que les permitió establecerse con más éxito que en la campaña anterior. La ausencia de continuidad de las precipitaciones a lo largo de la campaña hizo que la carencia de agua volviera a hacerse presente en el suelo y nuevamente el margall se vio mucho más afectado que la cebada; un mayor tamaño de las hojas, un ahijamiento más vigoroso y un hábito de crecimiento más postrado en la cebada (Cousens, 1996) que facilita la ocupación del llamado "espacio biológico" por parte del cultivo (Harper, 1977) contribuyeron a minimizar el efecto del margall, no detectándose ninguna otra competencia posterior con el cultivo. Aunque en abril se produjeron algunas precipitaciones importantes que fueron muy beneficiosas para la cebada, no provocaron una clara respuesta en el margall en términos de crecimiento y continuó sin ejercer competencia aparente sobre el cereal.

En esta campaña 94/95 se ha observado también una competencia intraespecífica entre las propias plantas de cebada que se reflejó en la disminución experimentada por el número de granos por espiga al aumentar la densidad de siembra. De acuerdo con Aspinall *et al.* (1964) esta disminución estaría asociada a una competencia por agua antes de la antesis. El rendimiento final no se vio modificado por la densidad del cultivo debido a que el número de espigas fue mayor en las densidades medias que en las bajas por lo que ambas variables se compensaron mutuamente. El peso de 1.000 granos no resultó afectado por la densidad de siembra posiblemente porque el periodo de llenado del grano coincidió con las lluvias de abril que redujeron el déficit hídrico del suelo de forma momentánea pero suficiente.

El análisis de correlación confirma el hecho que de todos los componentes del rendimiento la variable número de espigas ha sido la que más peso ha tenido en el rendimiento final y la causante en mayor medida de la reducción observada en la cosecha en esta campaña 94/95. Estos resultados son parecidos a los encontrados por Liebl y Worsham (1987) que atribuyeron principalmente al descenso en el número de espigas las reducciones observadas en el rendimiento del trigo en su ensayo con *L. rigidum* y reafirman lo sugerido por varios autores

(Willey y Holiday, 1971; Gallagher *et al.*, 1975; Gales, 1983) en el sentido de que el rendimiento de un cereal en general tiende a estar más relacionado con la densidad de granos existente por unidad de superficie que con el peso de los granos.

La capacidad de las malas hierbas de afectar el número de espigas, el número de granos por espiga y el peso medio de los granos está bien demostrada en la bibliografía (Peters, 1984; Medd *et al.*, 1985; Gill *et al.*, 1987; Cousens *et al.*, 1988) en condiciones normales de cultivo; sin embargo, factores tales como la disponibilidad de agua en el suelo (Martin *et al.*, 1987) pueden provocar cambios en la capacidad competitiva relativa del cultivo y de la mala hierba, lo cual resultaría en una variación significativa de la competencia; como el órgano o proceso más afectado por esta es aquél que en aquel momento está teniendo lugar o creciendo más rápidamente, puede que en determinadas situaciones alguno de esos componentes no se vea afectado o lo sea en menor medida que los otros, por lo que toda generalización de los resultados obtenidos sería incorrecta.

En las parcelas con baja abundancia de margall, los diversos parámetros de la cebada presentaron una dispersión de valores muy alta en ambas campañas. En las situaciones en que la competencia de una mala hierba sobre el cultivo es débil o casi inexistente aparece una elevada variabilidad en los resultados asociada a la mayor importancia que toman entonces otros factores no controlados del medio y que inciden sobre el cultivo, tales como pequeñas diferencias en la composición del suelo, en el relieve, etc. (Gill, comunicación personal).

Las pérdidas experimentadas por las diferentes variables de cebada estudiadas en la campaña 94/95 estuvieron mejor correlacionadas con la biomasa de margall que con la densidad de plantas. Los coeficientes de determinación y los coeficientes de variación de los modelos eran mejores si se tomaba la biomasa como variable explicativa. Si tenemos en cuenta que la competencia se establece por los recursos del medio (agua, luz, nutrientes), es de esperar que aquellas plantas de mayor tamaño ejerzan mayor competencia que aquellas más pequeñas o más débiles, por lo que las pérdidas ocasionadas en el cultivo estarían más relacionadas con la biomasa de las malas hierbas que con su número.

5.8. Conclusiones del ensayo.

1. Los efectos de la competencia recíproca entre margall y cebada en términos de reducción de biomasa no fueron detectables en ninguna de las dos especies hasta con posterioridad al estado fenológico Zadocks 13/14.

2. El crecimiento de *L. rigidum* resultó afectado por la densidad de siembra de la cebada. La biomasa de la parte aérea de las plantas, el número de espigas por m², el número de semillas por espiga y el peso medio de las semillas fueron reducidos al aumentar la densidad de siembra de la cebada. Consecuentemente, se logra una disminución de la cantidad de semillas y del peso de las mismas que se incorporan al banco de semillas del suelo al final de la temporada y se reduce el poder infestante de cara a la siguiente campaña.

3. El rendimiento de la cebada se vio afectado por la competencia de *Lolium rigidum* únicamente en la campaña 94/95. La reducción de rendimiento se debió principalmente al descenso del número de espigas por m²; los otros dos componentes del rendimiento, el número de granos por espiga y el peso de los granos, no resultaron afectados.

4. La disminución en el 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. Posteriormente esta competencia cesó o bien fue muy débil de tal manera que no se reflejó sobre el cultivo.

5. La poca intensidad de la competencia de *Lolium rigidum* hizo que las densidades y biomasa de mala hierba utilizadas en el ensayo resultaran insuficientes para determinar los niveles máximos de pérdidas y por tanto los límites de las funciones, por lo que todos los modelos ajustados a las variables de cebada afectadas por competencia fueron de tipo lineal.

6. Todas las variables estudiadas de la cebada fueron mejor explicadas utilizando la variable biomasa de *L. rigidum* que la variable densidad de plantas.

7. El efecto de la densidad de siembra del cultivo sobre las pérdidas de rendimiento y los otros componentes del rendimiento fue muy poco importante, no apreciándose diferencias significativas entre las densidades utilizadas. El principal efecto de la densidad de siembra se consiguió sobre el crecimiento de *L. rigidum*.

8. El análisis de correlaciones indicó que el 60 % de la variabilidad manifestada por el rendimiento era explicada por el número de espigas por m² y que el 11 % lo era por el número de granos por espiga.

9. La disponibilidad de agua en el suelo parece condicionar la intensidad de la competencia entre cebada y *L. rigidum*. En condiciones de estrés hídrico la capacidad competitiva de la mala hierba se vio muy reducida y ampliamente superada por la capacidad competitiva del cereal, con lo que sus efectos sobre el cultivo fueron mínimos.