RESPUESTA DE LA LENTEJA (*Lens culinaris* Medik.) AL SOMBREAMIENTO ARTIFICIAL DURANTE LA FASE REPRODUCTIVA[1]

Response of lentil (*Lens culinaris* Medik.) to artificial shading during the reproductive stage

Enrique Peñaloza H.[2] y Jorge Díaz S.[2]

SUMMARY

Lentil production in southern Chile is subject to significant seasonal fluctuations in solar radiation received during the reproductive stage, with an average variation ranging from 300 to 650 g cal cm^{-2} day^{-1}. To quantify the effect of reducing incident light on crop performance, artificial shading experiments were conducted with 80% light reduction during different periods spanning the reproductive stage, as well as various degrees of shading (0, 20, 35, 50 and 80%) throughout. Shading was achieved by using a black polypropylene net placed at 0.8 m above soil surface. The experiments were carried out during the 1991/92, 1992/93 and 1993/94 cropping seasons at the Centro Regional de Investigación Carillanca, INIA (38°41' S, 72°25' W).

The effect of 80% shading on seed yield was dependent upon the period at which the treatment was imposed. Seed yield reduction was higher when shading occurred during the growth stages R3-R5, accounting for 35, 48 and 59% yield losses for the 1991/92, 1992/93 and 1993/94 seasons, respectively. No significant differences were detected between R1-R3 and R5-R8 periods, with seed yield losses averaging 39 (1991/92), 10 (1992/93) and 25% (1993/94). Variations in seed yield due to shading were explained mainly by a reduction of total pods m^{-2} (R1-R3), a reduction of total pods m^{-2} and an increase in empty (flat) pods (R3-R5), and a reduction on the average seed weight (R5-R8). As expected, the higher losses occurred on treatments exposed to two (R1-R5, R3-R8) or three (R1-R8) periods of shading.

Grain yield under different degrees of shading was significantly reduced, with responses fitted to the functions $Y = 2.020-32.5s+0.18s^2$ (1992/93) and $Y = 2.172-25.6s-0.04s^2$ (1993/94). Reduction on seed yield was associated to a decrease in total pods m^{-2} and average seed weight, whereas empty pods increased significantly only at near 80% shading. These results point at R3-R5 as the most sensible growth stage under 80% shading and demonstrate the sensitiveness of lentil to reduction in incident light, whose effect may be significant even at near 20% shading, under the highly fluctuating solar radiation that characterize southern Chile.

Key words: lentil, artificial shading, yield components, solar radiation.

INTRODUCCIÓN

Durante su crecimiento, la lenteja está sometida a una serie de factores del ambiente, entre los cuales, la disponibilidad de humedad del suelo y las temperaturas desfavorables del aire representan los principales limitantes abióticos del rendimiento (Erskine *et al.*, 1994). Estos factores limitantes parecen ser característicos de la producción de lenteja en las principales regiones productoras del mundo mientras que, en zonas más australes, la reducción de la temperatura media e incrementos de las precipitaciones suguieren la prevalencia de otros estrés ambientales, cuya incidencia pudiera ser de mayor magnitud que la disponibilidad de humedad y las temperaturas.

Comparado con otras zonas de producción, el cultivo de la lenteja en los ambientes climáticos del sur del país, determinan importantes variaciones en la radiación solar durante la fase reproductiva, reflejado en fluctuaciones promedio anuales entre 300 a 650 g cal cm^{-2} $día^{-1}$, y fluctuaciones diarias entre 60 y más de 800 g cal cm^{-2} $día^{-1}$. Condiciones de baja radiación solar, registradas normalmente en períodos con abundantes precipitaciones, reducen la luz incidente

[1]Recepción de originales: 7 de febrero de 1997.
[2]Centro Regional de Investigación Carillanca (INIA), Casilla 58-D, Temuco, Chile.

sobre el cultivo, pudiendo limitar la fotosíntesis y el suplemento de asimilados para la producción del rendimiento (Shou, Jeffers y Streeter, 1978; Hashemi-Dezfouli y Herbert, 1992; Islam y Morison, 1992; Uhart y Andrade, 1995).

Los efectos de la radiación solar sobre el comportamiento de los cultivos se han evaluado en diferentes especies mediante tratamientos de sombreamiento artificial. Los resultados señalan que el estrés por baja luminosidad es más detrimental para la producción de grano cuando éste ocurre durante la fase reproductiva (Summerfield *et al.*, 1976; Shou *et al.*, 1978; Islam y Morison, 1992), y se ha asociado a caída de estructuras florales y procesos abortivos en leguminosas (Mann y Jaworski, 1970; Shou *et al.*, 1978). En lenteja, la significativa incidencia de vainas improductivas pareciera ser uno de los principales procesos abortivos, cuya ocurrencia, estimada entre 14 y 20% en la zona centrosur (Paredes, Tay y Parra, 1989), se incrementa a rangos entre 25 y 57% en la zona sur del país (Peñaloza, 1985a,b), sugiriéndose una asociación a condiciones de baja luminosidad ambiental durante todo o algún período de la fase reproductiva.

Con el propósito de cuantificar los efectos de la disminución de la radiación solar sobre el comportamiento de la lenteja, con particular referencia a su efecto sobre los componentes del rendimiento, se realizaron ensayos de sombreamiento artificial durante la fase reproductiva de la lenteja, con las condiciones climáticas del sur del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios se realizaron en suelos de trumao del Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, durante las temporadas 1991/92, 1992/93 y 1993/94. Se utilizó la línea LC-8006-23, con resistencia a roya *(Uromyces fabae)*, con el propósito de evitar la eventual incidencia de la enfermedad en tratamientos con cobertura artificial. Las parcelas experimentales correspondieron a 5 hileras separadas a 34 cm x 4 m de largo, con una densidad de siembra de 90 semillas m^{-2}. Para la intercepción de la radiación natural se utilizó malla de polipropileno negro, extendida horizontalmente a 0,8 m sobre el nivel del suelo, y soportada por un entramado de alambre unidos a estacas instaladas en cada extremo de la parcela. Los diferentes grados de intercepción de luz se obtuvieron utilizando malla de polipropileno de diferente densidad. Todos lo ensayos se establecieron entre el 3 y 17 de agosto de cada temporada.

Experimento 1. Se evaluaron seis tratamientos de sombreamiento, utilizando malla de polipropileno de densidad adecuada para interceptar el 80% de luz natural. Los tratamientos se impusieron durante tres períodos de la fase reproductiva del cultivo, definidos de acuerdo a los estados fenológicos propuestos por Erskine *et al.* (1990). Los tratamientos de sombreamiento correspondieron a aquellos entre R1 (inicio de floración) y R3 (formación de vainas basales), entre R3 y R5 (vainas basales con grano completamente formado), y entre R5 y R8 (madurez de cosecha), agregándose períodos de sombreamiento traslapados, entre R1 y R5, entre R3 y R8, y entre R1 y R8. Los seis tratamientos de sombreamiento se compararon con un testigo mantenido en condiciones de luz natural, en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los ensayos se realizaron durante las temporadas 1991/92, 1992/93 y 1993/94, evaluándose rendimiento, componentes del rendimiento e índice de cosecha.

Experimento 2. Con el propósito de cuantificar la respuesta de la lenteja a diferentes grados de sombreamiento, se evaluaron cinco tratamientos de intercepción de luz natural impuestos durante toda la fase reproductiva. Los tratamientos se obtuvieron utilizando malla de polipropileno adecuada para interceptar el 18, 35, 50 y 80% de luz natural, y se compararon con un testigo sin sombreamiento, en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Este ensayo se realizó durante 1992/93 y 1993/94, incorporándose la última temporada el cv. Araucana-INIA, a modo de comparación. Las evaluaciones correspondieron a rendimiento, componentes del rendimiento e índice de cosecha. Los resultados se ajustaron a funciones polinomiales utilizando los diferentes grados de sombreamiento como variable independiente.

En ambos ensayos, el rendimiento en grano (14% de humedad) se obtuvo de las 3 hileras centrales x 2,5 m de largo, los componentes del rendimiento desde una muestra de plantas contenidas en 0,5 m lineales, en tanto que el índice de cosecha, desde una muestra de plantas contenidas en 0,5 m^2, cosechadas en madurez fisiológica. La luminosidad incidente a nivel de la canopia se cuantificó con un medidor de luz Extech, obteniéndose 4 mediciones tratamiento^{-1} durante la fase reproductiva. Estas mediciones se realizaron para verificar la proporción de intercepción de luz por la cobertura artificial, presentándose como promedio temporada^{-1} en el Exp. 1, y como promedio tratamiento^{-1} en el Exp. 2. La radiación solar se obtuvo de los registros de la Estación Meteorológica del Centro Regional de Investigación Carillanca, presentándose como radiación solar diaria durante la fase reproductiva en el Exp. 1, para las tres temporadas (Figura 1).

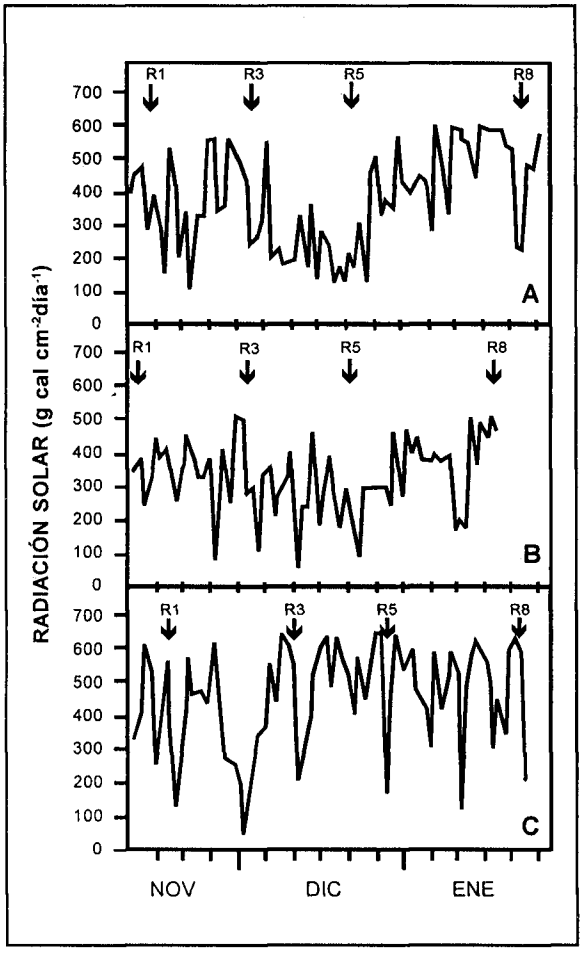

FIGURA 1. Radiación solar y estados fenológicos de la lenteja LC-8006-23 durante la fase reproductiva, en las temporadas 1991/92 (a), 1992/93 (b) y 1993/94 (c).

FIGURE 1. Solar radiation and stages of development of lentil LC-8006-23 during the reproductive stage, on 1991/92 (a), 1992/93 (b) and 1993/94 (c) growing seasons.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La radiación solar promedio que caracterizó a las temporadas en que se realizaron las experiencias fluctuó entre 229 y 488 g cal cm^{-2} $día^{-1}$ $período^{-1}$, y mostró variaciones características del espectro de radiación durante la fase reproductiva de la lenteja cultivada en el sur del país (Figura 1). El 80% de intercepción de esta radiación (Exp. 1) provocó reducciones significativas del rendimiento, cuya magnitud se asoció con el período de ocurrencia del estrés, y con su duración (Cuadro 1).

Comparando los tres períodos de sombreamiento, con el testigo, las pérdidas de rendimiento fueron consistentes cuando el sombreamiento se impuso durante R3-R5, período que coincide con la formación de vainas y llenado del grano (Cuadro 1). Estos resultados están de acuerdo con los informados en soya por Schou *et al.* (1978), quienes observaron la mayor pérdida de rendimiento cuando el sombreamiento (60% de intercepción de luz) se impuso durante el período de formación de vainas, comparado con los periodos de floración y madurez. Consistentemente en las tres temporadas, el componente más afectado por el sombreamiento durante R3-R5 correspondió a las vainas improductivas, representadas por vainas de tamaño normal, sin grano en su interior. Su incidencia, reflejada en la producción de vainas granadas (vaina total x [1-% vaina improductiva/100]) $superficie^{-1}$, permitió explicar prácticamente la totalidad de pérdidas de rendimiento en la temporada 1991/92, mientras que la reducción significativa en vainas totales y peso de grano, representaron contribuyentes adicionales a la pérdida de rendimiento en 1992/93 y 1993/94, respectivamente (Cuadro 1).

Los tratamientos de intercepción de luz entre R1-R3 y R5-R8 provocaron efectos similares sobre el rendimiento, con reducciones significativas en relación al testigo sólo en las temporadas 1991/92 y 1993/94 (Cuadro 1). Aun cuando fueron similares, las pérdidas de rendimiento en ambos períodos se explicaron por eventos fisiológicos de diferente naturaleza, como consecuencia del desarrollo secuencial de los componentes del rendimiento que caracteriza al hábito reproductivo de las leguminosas (Adams, 1967). En este sentido, el principal componente afectado en R1-R3 correspondió a la producción de vainas $superficie^{-1}$, comportamiento que se ha encontrado asociado a una reducción en la producción de flores $planta^{-1}$ y a incrementos en la absición de órganos reproductivos, de acuerdo a experiencias de sombreamiento artificial en soya (Jiang y Egli, 1993), o inducido por nubosidad natural en garbanzo (Aziz, Khan y Shah, 1960). En R5-R8, en tanto, la reducción de la radiación solar afectó significativamente sólo el peso del grano, componente que contribuyó con el 43 y 94% de pérdida de rendimiento en 1991/92 y 1993/94, respectivamente. El efecto principal observado sólo en este componente se atribuye a su desarrollo secuencial que, como se mencionó, es relativamente independiente de otros eventos reproductivos (Adams, 1967), pudiendo competir sólo con vainas de formación tardía, de escasa contribución al rendimiento de la planta (Peñaloza, 1989).

Sin excepción, los tratamientos de cobertura traslapados (R1-R5, R3-R8 y R1-R8) redujeron el rendimiento, con pérdidas de mayor magnitud ocurridas en los dos últimos tratamientos, y que se asociaron con reducciones significativas en el índice de cosecha, al compararlos con el tratamiento testigo (Cuadro 1). En término de sus componentes, la reducción de mayor magnitud se observó en el número de vainas

CUADRO 1. Efecto del 80% de sombreamiento[1] inducido en seis períodos fenológicos durante la fase reproductiva, sobre el rendimiento, componentes del rendimiento e índice de cosecha en lenteja LC-8006-23

TABLE 1. The effect of 80% shading[1] imposed at six phenological periods during the reproductive stage, on seed yield, yield components and harvest index of lentil LC-8006-23

Tratamientos	Rendimiento kg ha^{-1}	Vaina total n° m^{-2}	Vaina improd. %	Peso grano g 100^{-1}	Índice cosecha
		Temporada 1991/92[2]			
Testigo	2.740 a	7.884 a	45,1 c	7,66 a	0,376 a
R1-R3	1.670 b	5.056 b	40,3 c	7,52 a	0,244 b
R3-R5	1.781 b	7.216 a	63,0 b	7,50 a	0,251 b
R5-R8	1.673 b	6.939 a	49,8 c	6,38 bc	0,280 ab
R1-R5	984 c	3.094 c	51,9 c	7,15 ab	0,222 b
R3-R8	699 c	4.719 b	76,2 a	6,77 c	0,132 c
R1-R8	504 c	2.427 c	69,4 ab	5,78 c	0,120 c
		Temporada 1992/93[2]			
Testigo	1.981 a	6.362 a	55,1 cd	7,71 a	0,287 a
R1-R3	1.797 a	4.261 bc	37,3 e	7,53 a	0,320 a
R3-R5	1.017 b	4.801 b	75,3 a	6,88 ab	0,178 bc
R5-R8	1.757 a	6.863 a	60,4 c	6,59 b	0,325 a
R1-R5	1.189 b	3.267 cd	49,1 d	7,44 a	0,212 b
R3-R8	657 c	2.766 d	72,7 ab	6,29 b	0,120 c
R1-R8	657 c	2.614 d	64,1 bc	6,24 b	0,145 c
		Temporada 1993/94[2]			
Testigo	2.281 a	7.307 a	45,5 b	7,29 a	0,271 a
R1-R3	1.613 b	3.946 b	30,6 c	7,32 a	0,275 a
R3-R5	1.003 c	4.610 b	74,7 a	6,38 bc	0,153 b
R5-R8	1.637 b	6.745 a	50,0 b	5,36 d	0,222 a
R1-R5	1.165 c	2.194 c	46,4 b	6,51 b	0,227 a
R3-R8	385 d	2.416 c	77,9 a	5,44 d	0,089 c
R1-R8	455 d	2.176 c	54,3 b	5,74 cd	0,119 bc

[1]Los porcentajes reales de sombreamiento correspondieron a 80,1, 79,0 y 82,7%, para las temporadas 1991/92, 1992/93 y 1993/94, respectivamente.
[2]Dentro de cada columna, cifras unidas por una misma letra no difieren significativamente (Duncan, P > 0,05).

superficie^{-1} en R1-R5, sin efectos sobre el peso del grano; en el componente vaina improductiva y peso de grano en R3-R8, mientras que, en R1-R8, los efectos fueron evidentes en los tres componentes antes mencionados. Aun cuando se observaron diferencias signficativas en el número de granos vaina^{-1}, éste no mostró una tendencia consistente, y sus fluctuaciones no fueron de magnitud comparables (datos no presentados).

Si se acepta a R3-R5 como el período de mayor susceptibilidad al estrés provocado por el sombreamiento, con las vainas improductivas como principales contribuyentes a las pérdidas de rendimiento, sería esperable que la baja radiación incidente durante este período en 1991/92 (Figura 1), se tradujera en una comparativamente alta incidencia de vainas improductivas en el testigo. Sin embargo, la proporción de vainas improductivas durante 1991/92 (45,1%) fue similar a 1993/94 (45,5%), temporadas caracterizadas por contrastante radiación solar en R3-R5 (Figura 1). Esto sugiere que, en ambientes naturales, la incidencia de vainas improductivas en lenteja estaría asociada a condiciones muy inferiores de luz, como las experimentadas por los tratamientos de sombreamiento, o a cortos período de baja radiación que coincidan con el inicio del crecimiento del grano. Alternativamente, las vainas improductivas serían el resultado de eventos compensatorios que ocurren entre componentes del rendimiento, sugiriendo que su incidencia podría estar regulada por la capacidad de la planta para llenar sólo una proporción del total de vainas producidas, como consecuencia de la competencia por fotoasimilados en plantas de crecimiento indeterminado.

Aun cuando el 80% de intercepción de radiación solar simuló condiciones extremas de baja luminosidad,

la respuesta de la lenteja a menores grados de intercepción de la radiación solar pareciera reflejar una situación más natural, donde la planta no necesariamente está expuesta a 80% de reducción de la radiación solar. En este tipo de ensayos (Exp. 2), la respuesta de la lenteja fue relativamente proporcional a la reducción de la radiación solar, con pérdidas de rendimiento que pueden ser significativas a niveles tan bajos como 24% de reducción de radiación incidente (Figura 2). En soya, Wahua y Miller (1978) informan de pérdidas sólo del 30%, cuando el sombreamiento representó el 50% de la luz incidente, similares a las observadas por Islam y Morison (1992) en arroz. Estos resultados demuestran que la sensibilidad de la lenteja a reducciones en la radiación solar sería mayor que otros cultivos, y permitiría explicar, en términos prácticos, su comparativamente escasa habilidad para competir con malezas (Díaz y Peñaloza, 1995).

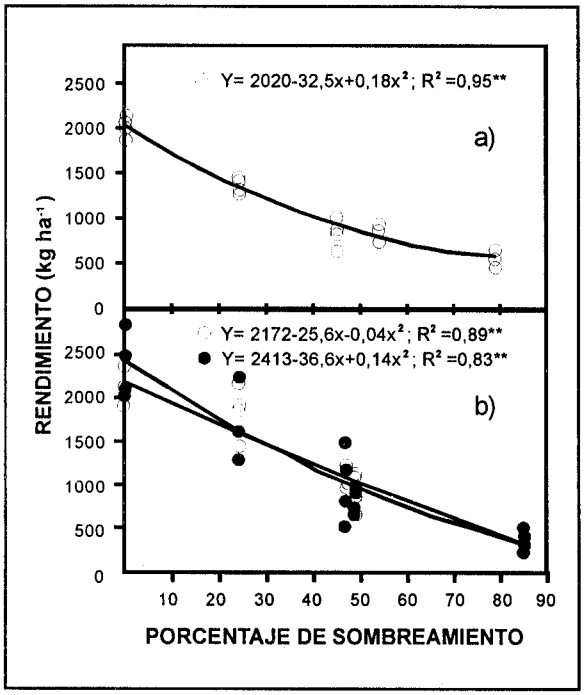

FIGURA 2. Efecto de diferentes tratamientos de sombreamiento sobre el rendimiento de la lenteja LC-8006-23 (o) y Araucana-INIA (o), en las temporadas 1992/93 (a) y 1993/94 (b). Los porcentajes reales de sombreamiento correspondieron a 24,0, 44,7, 53,8, y 78,8 (1992/93), y a 24,1, 47,0, 48,5 y 85,1 (1993/94), para mallas de polipropileno de 18, 35, 50 y 80%, de intercepción de luz, respectivamente.

FIGURE 2. Seed yield of lentil LC-8006-23 (o) and Araucana-INIA (o) as affected by different shading treatments during the 1992/93 (a) and 1993/94 (b) growing seasons. Actual percentages of shading were 24.0, 44.7, 53.8 and 78.8 (1992/93), and 24.1, 47.0, 48.5 and 85.1 (1993/94), for polypropylene nets of 18, 35, 50 and 80% light interception, respectively.

Las reducciones de rendimiento por efecto de la disminución progresiva de la luminosidad se asociaron principalmente con el componente vainas superficie^{-1}, demostrando su mayor sensibilidad a reducciones en la radiación solar (Figura 3). Jiang y

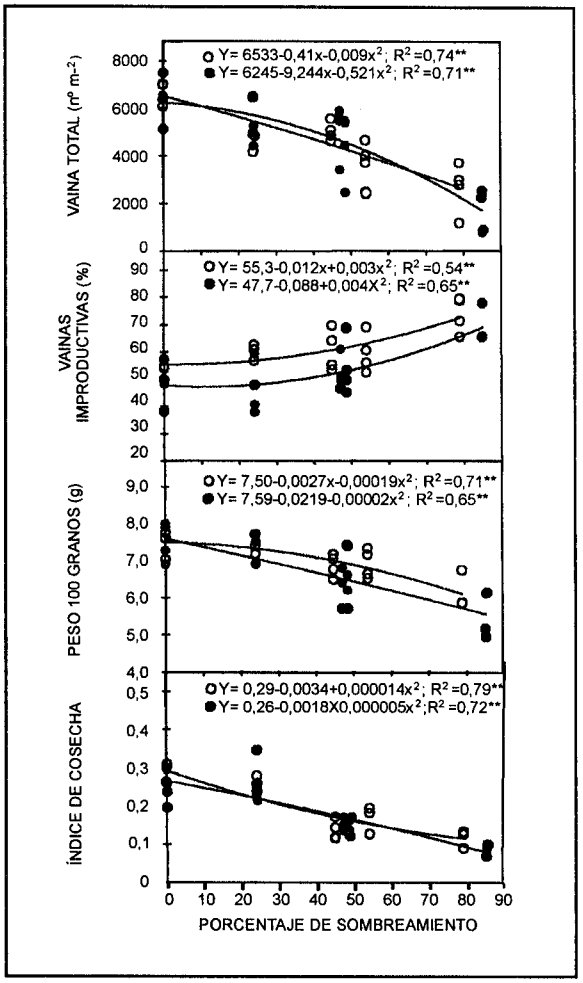

FIGURA 3. Efecto de diferentes tratamientos de sombreamiento sobre los componentes del rendimiento e índice de cosecha de la lenteja LC-8006-23, en las temporadas 1992/93 (o) y 1993/94 (o). Los porcentajes reales de sombreamiento correspondieron a 24,0, 44,7, 53,8, y 78,8 (1992/93), y a 24,1, 47,0, 48,5 y 85,1 (1993/94), para mallas de polipropileno de 18, 35, 50 y 80%, de intercepción de luz, respectivamente.

FIGURE 3. Seed yield components and harvest index of lentil LC-8006-23 as affected by different shading treatments, during the 1992/93 (o) and 1993/94 (o) growing seasons. Actual percentages of shading were 24.0, 44.7, 53.8 and 78.8 (1992/93), and 24.1, 47.0, 48.5 and 85.1 (1993/94), for polypropylene nets of 18, 35, 50 and 80% light interception, respectively.

Egli (1993), atribuyen el efecto sobre este componente a la reducción en la producción de flores planta^{-1} e incrementos en la absición de flores y vainas, en condiciones de sombreamiento artificial. En este mismo sentido, Aziz *et al.* (1960), observaron 40% de reducción de flores al comparar estructuras reproductivas de cinco cultivares de garbanzo desarrolladas en condiciones normales de luminosidad, y en días nublados, evidencias que demuestran el impacto de la atenuación de la radiación sobre la eficiencia reproductiva de la especie, en ambientes naturales. Las tendencias en la incidencia de vainas improductivas señalan que su aumento fue evidente sólo cuando la radiación incidente se acercó al 80% de reducción. Considerando el espectro de radiación que caracterizó a ambas temporadas (Figura 1 b,c), el tratamiento con 80% de sombreamiento recibió una radiación promedio aproximada de 0,09 (1992/93) y 0,13 (1993/94) g cal cm^{-2} min^{-1}, muy inferior al punto de saturación de luz de la lenteja, estimado entre 0,30 y 0,35 g cal cm^{-2} min^{-1} (Saint-Clair, 1972).

Asumiendo que la radiación interceptada por la cobertura artificial fue de magnitud equivalente, los tratamientos de intercepción de radiación por sobre el 45% estuvieron bajo el punto de saturación de luz en las dos temporadas, cuyo efecto se reflejó en la reducción significativa del peso del grano y del índice de cosecha (Figura 3). Llama la atención el hecho que, no obstante disponer de luz suficiente para saturar la fotosíntesis, y asumiendo suficiente disponibilidad de CO_2, 24% de sombreamiento afectó la producción de vainas superficie^{-1} (Figura 3), y redujo el rendimiento en ambas temporadas (Figura 2).

Si bien la cobertura artificial necesaria para inducir los tratamientos pudo afectar la respuesta observada en los Exp. 1 y 2, ya sea como consecuencia de mayor disponibilidad de humedad en el suelo o de reducción en la temperatura del aire, ensayos paralelos no demostraron efectos significativos del riego sobre el rendimiento de la lenteja, en ninguna de las tres temporadas evaluadas (datos no presentados), En períodos de alta luminosidad, en tanto, la diferencia de temperatura a nivel de la canopia fue de aproximadamente 4°C inferior en tratamientos con cobertura. Sin embargo, la temperatura máxima media durante el período reproductivo fluctuó entre los 20 y 22°C, lo que sugiere como poco probable una influencia significativa sobre el comportamiento de la lenteja sometida a tratamientos de cobertura, sobre la base de la respuesta a la temperatura observado por Saint-Clair (1972) , en esta especie.

CONCLUSIONES

Tres temporadas de ensayos de sombreamiento artificial con 80% de intercepción de radiación solar demostraron que el período de mayor sensibilidad en lenteja LC-8006-23 correspondió a R3-R5, que coincide con la formación de vainas e inicio en el llenado de granos. Consistentemente, las vainas improductivas representaron el componente más afectado por el sombreamiento en este período, pudiendo el número de vainas totales y peso del grano, contribuir adicionalmente a las pérdidas de rendimiento. La respuesta a diferentes grados de intercepción de luz demostró la alta sensibilidad de la lenteja línea LC-8006-23 a la reducción de la radiación, con pérdidas que pueden ser significativas en condiciones cercanas al 20% de sombreamiento, consistentes con la respuesta observada en el cv. Araucana-INIA. Los principales contribuyentes a las pérdidas de rendimiento en este tipo de ensayos correspondieron al peso del grano y, principalmente, a componente vainas totales superficie^{-1}, mientras que las vainas improductivas contribuyeron a las pérdidas sólo cuando la intercepción de luz se acercó al 80%.

RESUMEN

La producción de lentejas en el sur de Chile está expuesta a significativas variaciones de radiación solar durante la fase reproductiva, reflejado en fluctuaciones anuales entre 300 y 650 g cal cm^{-2} día^{-1}. Con el propósito de cuantificar su impacto sobre el comportamiento de la lenteja, durante tres temporadas se realizaron ensayos de sombreamiento artificial (80% de intercepción de luz) en diferentes períodos de la fase reproductiva, y con diferentes grados de sombreamiento (0, 20, 35, 50 y 80%). Los estudios se realizaron en el Centro Regional de Investigación Carillanca, INIA (38°41' S, 72°25' W), durante las temporadas 1991/92, 1992/93 y 1993/94.

Los efectos del 80% de sombreamiento sobre el rendimiento se asociaron con su período de ocurrencia y duración, y fueron consistentes y de magnitud durante el estado fenológico R3-R5, con pérdidas de 35, 48 y 59% para las temporadas 1991/92, 1992/93 y 1993/94, respectivamente. La diferencias de rendimiento no fueron significativas al comparar R1-R3 y R5-R8, con pérdidas de 39 (1991/92), 10 (1992/93) y 25% (1993/94). Las variaciones de rendimiento se asociaron principalmente con reducción de las vainas totales superficie^{-1} en R1-R3, vainas totales superficie^{-1} e incremento de vainas improductivas en R3-R5, y con el peso del grano en R5-R8. Como era

esperable, las pérdidas de mayor magnitud ocurrieron cuando el sombreamiento se impuso en dos (R1-R5 ó R3-R8) o tres (R1-R8) períodos de la fase reproductiva.

Los diferentes grados de sombreamiento provocaron pérdidas de rendimiento relativamente proporcionales a la intercepción de radiación solar, cuya respuesta se ajustó a la función $Y = 2.020 - 32{,}5s + 0{,}18s^2$ (1992/93) e $Y = 2.172 - 25{,}6s - 0{,}04s^2$ (1993/94). Las pérdidas se asociaron con reducción de vainas totales superficie^{-1} y peso del grano, observándose incrementos de vainas improductivas sólo cuando la intercepción de radiación solar se acercó al 80%. Estos resultados demuestran la sensibilidad de la lenteja a la reducción de la radiación solar, cuyos efectos sobre el rendimiento pueden ser significativos con porcentajes de intercepción de luz cercanos al 20%, identificándose R3-R5 como el período fenológico de mayor susceptibilidad, en las condiciones de radiación solar que caracterizan al sur del país.

Palabras claves: Lenteja, sombreamiento artificial, componentes del rendimiento, radiación solar.

LITERATURA CITADA

ADAMS, M.W. 1967. Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. Crop Science 7: 505-510.

AZIZ, M.A., KHAN, M.A. and SHAH, S.D. 1960. Causes of low setting in gram (*C.arietinum*). Agriculture Pakistan XI (1): 37-48.

DÍAZ S. JORGE y PEÑALOZA H. ENRIQUE. 1995. Período crítico de interferencia de malezas en arveja (*Pisum sativum* L.) cv. Progreta y lenteja (*Lens culinaris* M.) cv Araucana-INIA. Agricultura Técnica (Chile) 55: 176-182.

ERSKINE, W., MUEHLBAUER, F.J. and SHORT, R.W. 1990. Stages of development in lentil. Experimental Agriculture 26: 297-302.

ERSKINE, W., TUFAIL, M., RUSSELL, A., TYAGI, M.C., RAHMAN, M.M. and SAXENA, M.C. 1994. Current and future strategies in breeding lentil for resistance to biotic and abiotic stresses. Euphytica 73: 127-136.

HASHEMI-DEZFOULI, A. and HERBERT, S.J. 1992. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. Agronomy Journal 84: 547-550.

ISLAM, M.S. and MORISON, J.I.L. 1992. Influence of solar radiation and temperature on irrigated rice grain yield in Bangladesh. Field Crop Research 30: 13-28.

JIANG H. and EGLI, D.B. 1993. Shade induces changes in flower and pod number and flower and pod abscission in soybean. Agronomy Journal 85: 221-225.

MANN, J.D. and JAWORSKI, E.G. 1970. Comparison of stresses which may limit soybean yields. Crop Science 10: 620-624.

PAREDES C., MARIO, TAY U., JUAN y PARRA R., CECILIA. 1989. Caída de órganos reproductivos en lentejas, en la zona centro-sur de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 39: 92-96.

PEÑALOZA, E. 1985 a. Distribution of empty pods in lentils. Lens Newsletter 12 (2): 37-38.

PEÑALOZA, E. 1985 b. Efecto del genotipo en la expresión de vainas improductivas en lentejas. XXXVI Congreso Anual, Sociedad Agronómica de Chile (resumen).

PEÑALOZA, E. 1989. Producción de los nudos florales en tres genotipos de lenteja (*Lens culinaris* Medik.). Agricultura Técnica (Chile) 49: 298-303.

SAINT-CLAIR, P.M. 1972. Responses of *Lens esculenta* Moench to controlled environmental factors. Mededelingen Landbouwhogeschool. Wageningen, Nederland, 84 p.

SCHOU, J.B., JEFFERS, D.L. and STREETER, J.G. 1978. Effects of reflectors, black boards, or shades applied at different stages of plant development on yield of soybeans. Crop Science 18: 29-34.

SUMMERFIELD, R.J., HUXLEY, P.A., DART, P.J. and HUGHES, A.P. 1976. Some effects of environmental stress on seed yield of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cv. Prima. Plant and Soil 44: 527-546.

UHART, S.A. and ANDRADE, F.H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. Crop Science 35: 1.384-1.389.

WAHUA, T.A.T. and MILLER, D.A. 1978. Effects of shading on the N_2-fixation, yield, and plant competition of field-grown soybeans. Agronomy Journal 70: 387-392.