ITEA (1998), Vol. 94V N.° 2, 56-66

EFECTO DE TRES TIPOS DE LABOREO SOBRE EL CRECIMIENTO Y EL RENDIMIENTO DE LA CEBADA EN UN SECANO SEMIÁRIDO DEL VALLE DEL EBRO

P. Pérez-Marco

Unidad de Suelos y Riegos
Servicio de Investigación Agroalimentaria
Diputación General de Aragón
Apdo. 727, 50080 Zaragoza
España

RESUMEN

Se presentan los resultados de un ensayo de laboreo en una zona semiárida del valle del Ebro con suelos poco profundos. La sustitución de la vertedera por el arado chisel no produjo cambios significativos ni en el rendimiento, ni en ninguno de los parámetros de crecimiento del cultivo. Por el contrario, la siembra directa produjo una disminución del rendimiento superior al 50%. Este hecho se debió en parte a una menor densidad de siembra en este tratamiento, pero sobre todo a un menor crecimiento del cultivo desde el inicio del ciclo. Todos los parámetros medidos, con la excepción del peso de mil granos de la espiga principal se vieron afectados negativamente. El bajo crecimiento inicial pudo deberse a una menor cantidad de agua disponible en el momento de la siembra como consecuencia de un insuficiente control de malas hierbas durante el periodo de barbecho. Sin embargo, el mantenimiento de bajas tasas de crecimiento durante todo el ciclo indica que otras causas, muy probablemente asociadas al desarrollo radicular, han podido influir negativamente en la respuesta del cultivo a la siembra directa.

Palabras clave: Cebada, Zonas semiáridas, Laboreo de conservación, Siembra directa, Crecimiento, Rendimiento.

SUMMARY

EFFECTS OF THREE TILLAGE SYSTEMS ON THE GROWTH AND YIELD OF A WINTER BARLEY CROP IN A SEMIARID AREA OF THE EBRO RIVER BASIN

Results of a tillage experiment in a semiarid area of the Ebro River basin having shallow soils are presented. The substitution of plowing for chiselling as primary tillage operation had not significant effects on the growth and yield of a barley crop. On the contrary, the direct drilling reduced yield by more than 50%. Yield decrease was partially due to a low seed rate, but mainly to a lower early growth of barley under no tillage. All the measured traits, with the exception of thousand kernel weight of main tiller were negatively affected. Poor early growth was probably due to a low available water content in the profile at sowing, as a result of insufficient weed control during the fallow period. However, a lower growth rate under no-tillage during the whole growing period, would indicate that other factors, mainly related to root development, could have adversely affected the crop response under this treatment.

Key words: Barley, Semiarid areas, Conservation tillage, No-tillage, Yield, Growth.

Introducción

En el momento actual, el cultivo en los secanos de las zonas áridas y semiáridas presenta una rentabilidad económica baja. El sistema cereal-barbecho (año y vez), utilizado en estas zonas se caracteriza por su baja productividad y sus altos costes (COSTA, 1989). El empleo de sistemas de laboreo de conservación (laboreo reducido y siembra directa) podría aumentar el rendimiento y disminuir los costes de producción, a partir de un incremento en el contenido de humedad del suelo y una reducción de las labores (UNGER y MCCALLA, 1980). Estas técnicas permiten, además, un mejor control de la erosión del suelo (GONZÁLEZ *et al.*, 1991) y una notable reducción de las pérdidas de materia orgánica (CICK, 1983; HAMBLIN, 1986).

Uno de los objetivos de los estudios de siembra directa realizados en España es la conversión del sistema cereal-barbecho en un sistema de cultivo continuo aprovechando las posibilidades de esta nueva técnica, particularmente las relacionadas con el ahorro de tiempo. Sin embargo, la experiencia parece demostrar que en zonas áridas y semiáridas, el sistema de año y vez proporciona rendimientos superiores al cultivo continuo, aún cuando se sabe que el almacenamiento de agua por este sistema puede ser muy bajo (LÓPEZ *et al*, 1996). Por todo ello, resulta necesario evaluar las posibilidades de adaptación de las nuevas técnicas de no laboreo al sistema cereal-barbecho y estudiar las modificaciones necesarias para realizar tal adaptación. La necesidad de estos estudios en el valle medio del Ebro viene avalada por los resultados de COOK *et al.* (1985) y WAGNER y DENTON (1989) entre otros muchos autores, que demuestran que la relación entre laboreo y rendimiento no es universal y sugieren que dicha relación debe ser evaluada para cada región.

Por otra parte, el laboreo de conservación puede producir cambios en determinados parámetros fisiológicos y de desarrollo del cultivo, y afectar por tanto al rendimiento final (CIHA, 1982; WILKINGS *et al.*, 1988; CHAN *et al.*, 1989; HALL y CHOLICK, 1989; AGENBAG y MAREE, 1991; KIRKEGAARD *et al.*, 1995). El efecto de la introducción de las técnicas de laboreo de conservación sobre la fisiología y el desarrollo del cultivo en zonas semiáridas ha sido unos de los aspectos menos evaluados hasta el momento, por lo que se hace necesario conocer dichas modificaciones y su posible influencia en el rendimiento final.

El objetivo de este trabajo es evaluar en una zona semiárida del valle del Ebro el efecto de tres tratamientos de laboreo sobre el crecimiento, desarrollo y componentes del rendimiento, de un cultivo de cebada en un sistema de rotación cereal-barbecho.

Material y métodos

El ensayo se realizó durante la campaña agrícola 1992/93 en "El Vedado", finca experimental de la Diputación General de Aragón ubicada en Zuera (Zaragoza).

El suelo de la parcela experimental es un Typic Calciorthid (SOIL SURVEY STAFF, 1992) con una capa arable de textura franca. El perfil del suelo no presenta restricciones al crecimiento radicular hasta 50-60 cm de profundidad, a partir de la cual un horizonte de gravas semicementadas impide el crecimiento en profundidad de las raíces y limita la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

En el experimento se establecieron tres tratamientos de laboreo con tres repeticiones:

– Laboreo tradicional (LT): Consistente en una labor con arado de vertedera a una profundidad de 30-35 cm y labores posteriores con grada de discos hasta siembra.

– Laboreo vertical (LV): Similar al anterior pero sustituyendo el arado de vertedera por un arado chisel.

– Siembra directa (SD): En este tratamiento, el laboreo se sustituyó por tratamientos de herbicida y la siembra se realizó sobre el rastrojo del cultivo anterior. Los tratamientos de herbicida fueron dos, uno durante el período de barbecho y otro inmediatamente antes de la siembra. En ambos casos el herbicida utilizado fue glifosato a las dosis indicadas por el fabricante. El tratamiento durante el período de barbecho se realizó con posterioridad a las precipitaciones primaverales y cuando se había producido la emergencia de las malas hierbas.

La siembra se realizó el 30 de noviembre y la variedad utilizada fue "Albacete", bien adaptada a la zona, siendo la densidad teórica de siembra de 240 plantas por m^2, si bien la densidad que se obtuvo con la sembradora convencional, usada en los tratamientos de LT y LV, fue notablemente superior.

En todas las parcelas se realizaron muestreos quincenales desde ahijamiento hasta maduración. La superficie del muestreo fue 0,5 m^2 en todos los casos. Para cada parcela, los parámetros de crecimiento se determinaron a partir de 8 plantas. La materia seca se determinó mediante secado de toda la muestra en estufa a 60°C durante 48 horas. En maduración los componentes del rendimiento y la altura final de la planta se midieron a partir de una muestra de 10 plantas por parcela. El rendimiento en grano se obtuvo mediante el cosechado de 12,5 m^2 de cada parcela con una cosechadora de ensayos. El contenido de humedad de los primeros 60 cm de suelo se determinó mensualmente por gravimetría. No hubo diferencias entre los tratamientos para fechas de espigado y maduración.

Resultados y discusión

Humedad del suelo

El año agrícola se caracterizó por una escasa pluviometría. La lluvia total estuvo por debajo de la media anual de la zona, recogiéndose solamente 273 mm durante el ciclo de cultivo. La distribución fue irregular, con un período seco de noviembre a abril donde la precipitación fue de 21 mm y dos períodos húmedos: septiembre-noviembre, y abril-mayo con 104 mm y 148 mm respectivamente.

La figura 1 presenta la evolución del valor medio de la humedad del suelo en los primeros 60 mm del perfil durante el período de cultivo. En el momento de la siembra, el tratamiento de LT tenía un contenido de humedad superior al de los otros tratamientos. El menor contenido inicial de agua en SD fue debido a la presencia de malas hierbas durante la fase final del barbecho, probablemente como consecuencia de una dosis de herbicida excesivamente baja. Las malas hierbas en los otros tratamientos se eliminaron mediante labores.

A los 45 días después de la siembra, el contenido de agua en LT había disminuido, mientras que en los otros dos tratamientos se produjo una recarga, mayor en LV que en SD. El mantenimiento de las diferencias

iniciales entre LV y SD durante este período parece indicar que el contenido de agua en el momento de siembra es de gran importancia. El descenso de humedad en LT no puede ser atribuido a un mayor desarrollo vegetativo, ya que el desarrollo en este tratamiento y en LV fueron prácticamente similares. La causa podría ser una mayor evaporación directa de agua del suelo casi desnudo, en comparación con los otros tratamientos en los que la presencia de residuos, y probablemente una menor porosidad en el suelo redujeron las pérdidas por evaporación.

Aunque hay abundantes referencias que indican una mayor capacidad de almacenamiento de agua en los sistemas de laboreo de conservación (LAWRENCE *et al.*, 1994; LINDWALL *et al.*, 1995; RADFORD *et al.*, 1995; FELTON *et al.*, 1995) y una mayor tasa de evaporación en LT que en el laboreo reducido o no laboreo (UNGER y MCCALLA, 1980, JONES *et al.*, 1994), las diferencias observadas en este experimento durante el período de crecimiento parecen ser excesivamente altas.

Al final del cultivo todos los tratamientos tenían una cantidad de agua muy similar, con valores ligeramente inferiores en LT aunque sin llegar a haber diferencias significativas (P> 0,05). La presencia de estas diferencias desde el momento del es-

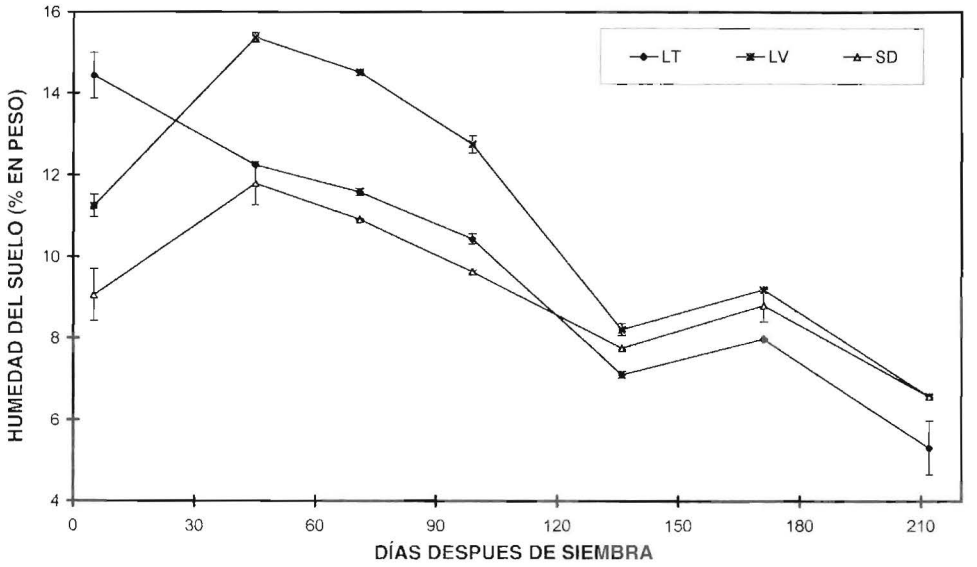


Figura 1. Contenido de humedad del suelo (0-60 cm) en los tres tratamientos de laboreo
LT= laboreo tradicional; LV= laboreo vertical; SD= siembra directa
(Las barras indican el error estándar)

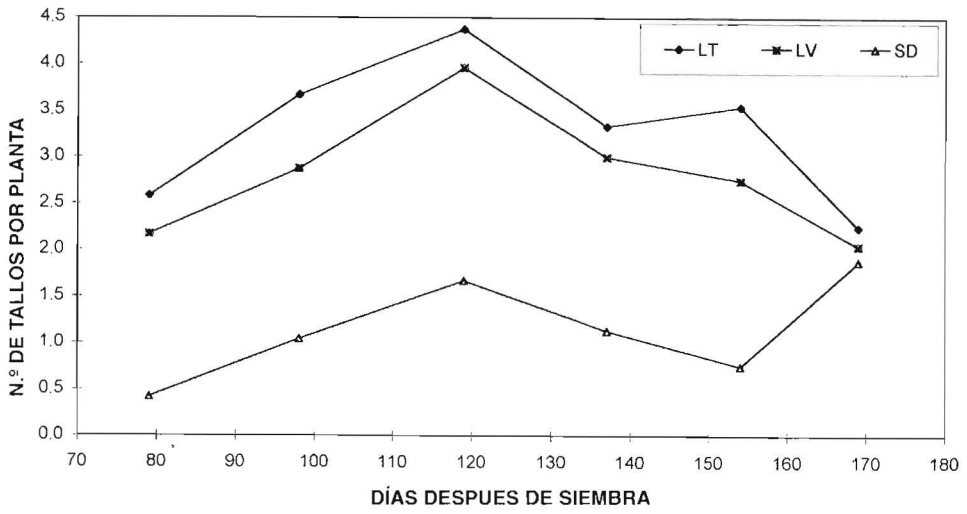


Figura 2. Evolución del número de tallos por planta en los tres tratamientos de laboreo
LT= laboreo tradicional; LV= laboreo vertical; SD= siembra directa

pigado podría estar relacionada con una mayor densidad radicular en LT que en los otros tratamientos (AGENBAG y MAREE,1991).

Desarrollo y crecimiento del cultivo

Todos los parámetros de crecimiento controlados (el número de tallos, el área verde y la materia seca) indican que éste fue menor en SD prácticamente desde el inicio del cultivo (figuras 2, 3 y 4).

El ahijamiento se caracterizó por una primera fase (hasta 120 días después de siembra), de incremento en el número de tallos, mas acusado en los tratamientos de LT y LV que en SD con un número de tallos mucho menor (figura 2). Durante una segunda fase se observó un descenso del número de tallos en los tratamientos de LT y LV para estabilizarse al final de la campaña en un mismo valor de 2 tallos para los tres tratamientos de laboreo. Esta reducción del número de tallos fue consecuencia de la sequía al final del período invernal. El ligero incremento que se produjo al final en SD fue debido a la alta capacidad de rebrote de la variedad "Albacete", de forma que tallos que en anteriores muestreos se habían considerado como no viables, fueron capaces de producir espigas al final del ciclo en presencia de precipitaciones relativamente elevadas.

El índice de área foliar presentó en general valores muy bajos (figura 3). Como era de esperar, los de los tratamientos LT y LV fueron muy superiores a los de SD. Las diferencias se establecieron desde el principio del ciclo de cultivo y fueron incremen-

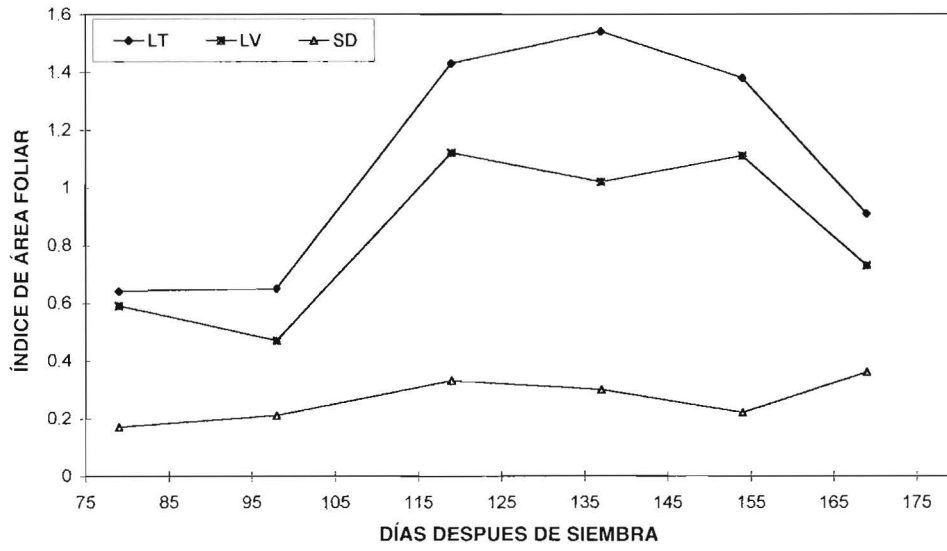


Figura 3. Evolución del índice de área foliar en los tres tratamientos de laboreo
LT= laboreo tradicional; LV= laboreo vertical; SD= siembra directa

tándose durante el desarrollo del mismo. Como consecuencia del bajo número de tallos el índice de área foliar en el tratamiento de SD se mantuvo prácticamente constante durante todo el período de cultivo, mientras que en los otros tratamientos hubo un incremento en correspondencia con el desarrollo de nuevos tallos.

La figura 4 refleja la evolución de la materia seca (MS) en cada uno de los tratamientos de laboreo. Los valores de MS registrados durante el ciclo de crecimiento del cultivo siempre fueron menores en SD. Esta diferencia se explica otra vez por la baja capacidad de ahijamiento en SD, pero también por un menor crecimiento de la cebada en este tratamiento, tal como indican los valores de altura final de la planta (cuadro 1). Para los otros dos tratamientos no hubo diferencias significativas ni en la materia seca ni en la altura final del cultivo.

Todos los datos indican que la SD produjo un menor vigor inicial y, además, un retraso en el crecimiento durante todo el ciclo del cultivo. La disminución del crecimiento inicial podría ser debida a la baja humedad existente en el momento de siembra, lo que ha podido limitar el crecimiento. Sin embargo, la acumulación de agua posterior a la emergencia en el tratamiento de SD no se tradujo en una recuperación de la cebada lo que, unido al normal desarrollo en LV, parece indicar la existencia de otro tipo de limitaciones. Esta hipótesis se sustenta también por el hecho de que las tasas de crecimiento tanto de materia seca como de área verde fueron menores en este tratamiento que en los otros dos.

CUADRO 1
ALTURA FINAL DE LA PLANTA (CM) EN LOS TRATAMIENTOS DE LABOREO TRADICIONAL (LT), LABOREO VERTICAL (LV) Y SIEMBRA DIRECTA (SD)

Tratamiento	LT	LV	SD
Altura (cm)	43,0 a	45,1 a	33,3 b

Valores seguidos de letras distintas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Si bien la mayoría de los autores no encuentran diferencias para los parámetros de crecimiento en cultivos de cereal cuando comparan distintos tipos de laboreo hay algunas referencias de disminuciones significativas en alguno de ellos asociadas al empleo de sistemas de laboreo de conservación. Así, una reducción del número de tallos ha sido observada en SD por CHEVALIER y CIHA (1986) y WILKINGS *et al.* (1988). Asimismo, AGENBAG y MAREE (1991) y GAJRI *et al.* (1992) citan un descenso en el área verde bajo laboreo de conservación, mientras que RADKE *et al.* (1985) y CHEVALIER y CIHA (1986) encuentran una disminución significativa en la altura final de la planta.

Las causas de estas reducciones se asocian, fundamentalmente, a problemas de estructura del suelo (RADKE *et al.*, 1985; CHAN *et al.*, 1989; AGENBAG y MAREE, 1991) o a problemas de tipo nutricional, particularmente aquellos relacionados con el nitrógeno (COOKE *et al.*, 1985; AGENBAG y MAREE, 1991). Limitaciones de tipo físico e hídrico en el suelo (MOLINA, 1989) podrían también ser causa de una menor producción de tallos.

Con referencia al bajo crecimiento inicial observado en SD, WILHELM *et al.* (1989) asociaron este hecho a la presencia de residuos y a la ausencia de laboreo, mientras que CHAN *et al.* (1989) lo relacionan con problemas estructurales. Por su parte, MARLEY y LITTLER (1989) observaron disminución del vigor inicial pero no pudieron determinar las causas.

Aunque el vigor inicial es un parámetro de gran importancia (KIRKEGAARD, 1995), otros factores, relacionados con problemas estructurales del suelo o con su fertilidad han debido tener también un considerable efecto en nuestro caso. Así, limitaciones físicas tales como una mayor compactación en SD pueden haber impedido un desarrollo radicular adecuado durante las fases iniciales del cultivo. Según PASSIOURA y STIRZAKER, (1993), valores altos de resistencia de resistencia del suelo a la penetración en laboreo mínimo pueden limitar el crecimiento del cultivo. Asimismo, las menores temperaturas del suelo en dichos tratamientos (GONZÁLEZ DE QUEVEDO, 1992) podrían afectar la conductividad hidráulica de las raíces que a su vez limita el crecimiento de la planta (WILLIAMS, 1993; citado por PASSIOURA y STIRZAKER 1993).

Rendimiento y componentes

En el cuadro 2 presenta el rendimiento y sus componentes del cultivo de cebada para los tres sistemas de laboreo ensayados. El rendimiento en grano de SD fue significati-

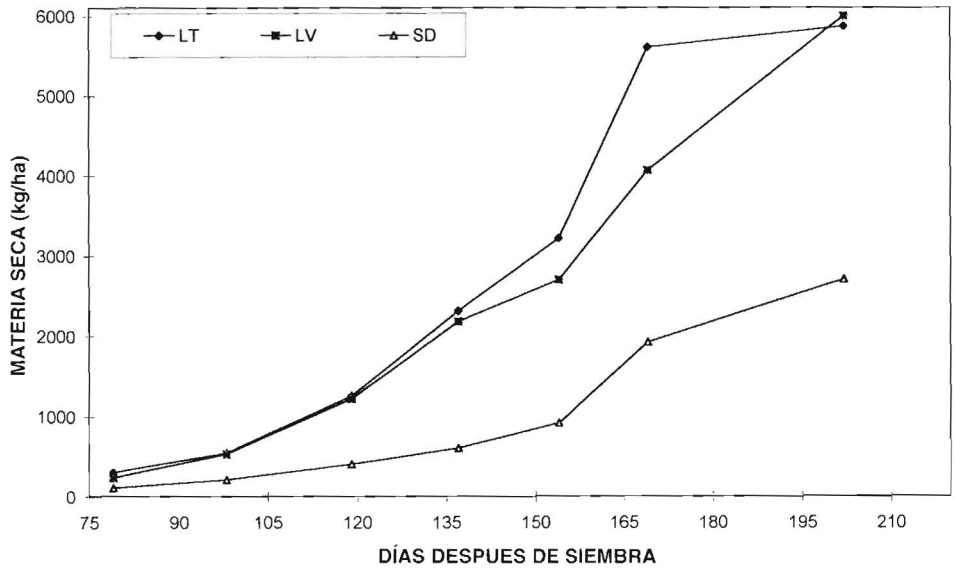


Figura 4. Evolución de la Materia Seca en los tres tratamientos de laboreo
LT= laboreo tradicional; LV= laboreo vertical; SD= siembra directa

CUADRO 2
VALORES MEDIOS DE NÚMERO DE PLANTAS POR METRO CUADRADO (NPM), NÚMERO DE ESPIGAS POR METRO CUADRADO (NE), NÚMERO DE GRANOS POR ESPIGA (NGE), PESO DE MIL GRANOS (PMG), RENDIMIENTO EN GRANO (R) Y MATERIA SECA (MS) PARA TODOS LOS TRATAMIENTOS

Trat. Lab.	NPM	NE	NGE		PMG (g)		R (kg/ha)	MS (kg/ha)
			EP (1)	ES (2)	EP (1)	ES (2)		
LT	325a	458 a	19,4 a	16,6 a	33,5 a	27,9 a	2026 a	5861 a
LV	315a	489 a	18,0 a	20,3 a	32,2 a	26,0 ab	2083 a	5994 a
SD	285a	338 a	12,2 a	3,3 b	33,6 a	22,8 b	863 b	2707 b

(1) EP = Espiga principal
(2) ES = Espiga secundaria
Para cada columna, valores seguidos de letras distintas son significativamente diferentes (P< 0,05)

vamente inferior al de los otros dos tratamientos, y estuvo originado por un menor número de granos por espiga, especialmente en las espigas secundarias y por un menor peso de los granos en estas últimas. Se aprecia asimismo que el numero de espigas por m^2 en el tratamiento de SD fue menor que en los otros dos tratamientos, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. En este caso, las diferencias fueron debidas en parte a la menor dosis de siembra en el tratamiento de SD. Sin embargo, según se deduce del cuadro 2, este factor no puede explicarlas por si solo, por lo que debe haber otros factores que han contribuido a que se produzcan. La falta de significación pudo ser debida a la irregularidad en la emergencia observada en LT y LV frente a la del tratamiento de SD en que la emergencia fue muy regular.

Varios autores (COOK *et al.*, 1985; NORWOOD, 1992; BRAIM *et al.*, 1992; LÓPEZ y ARRUE 1997) señalan estos mismos parámetros como causa de un menor rendimiento en sistemas de laboreo de conservación.

De la información bibliográfica se deduce que en general, los rendimientos que se obtienen con laboreo reducido o con siembra directa son de un orden similar a los obtenidos mediante laboreo convencional. Los resultados obtenidos en el norte de España (COSTA, 1989) muestran incrementos de producción del 2,2 al 8,8% en LV con respecto al laboreo tradicional, mientras que los resultados para la SD frente al LT oscilan entre una reducción del 0,7% y un aumento del 5,7%. Datos recientes de Navarra, en el valle medio del Ebro, confirman estos resultados para siembra directa, que en esta zona se comporta mejor que el laboreo vertical (ARNAL, 1996). Por otro lado, reducciones similares a las del presente estudio han sido observadas por LÓPEZ y ARRUE (1997) en secanos áridos cercanos a la zona de estudio. Estos autores atribuyen esta respuesta a un menor desarrollo temprano del cultivo en SD, asociado a valores altos de resistencia del suelo a la penetración y a profundidades de siembra bajas (<30 mm).

En nuestro caso y tal como se ha dicho anteriormente, además del efecto negativo de una menor reserva de agua en el perfil del suelo al inicio del cultivo, la presencia de compactación ha podido limitar el crecimiento del cultivo.

Durante el final del ahijado e inicio del espigado el suministro de agua es un factor decisivo en la determinación del número de granos por espiga. Aunque entre SD y LT no hubo diferencias en el contenido de humedad del suelo durante este período, la SD presentó un menor número de granos por espiga secundaria y un menor peso de los mismos. Estas diferencias pudieron deberse a una limitación en el desarrollo radicular del cultivo en este último tratamiento, tal como encontraron RUSSELL y GROSS (1974) y AGENBAG y MAREE (1991).

Conclusiones

El rendimiento en grano de la cebada en el tratamiento de siembra directa fue un 57% inferior al obtenido en el laboreo tradicional. Los rendimientos del laboreo tradicional y del vertical fueron similares (en torno a 2.050 kg/ha). Esta disminución del rendimiento de la siembra directa con respecto a los otros tratamientos ha de ser observada con cautela, por tratarse de datos de una sola campaña. Estos resultados indican también que en condiciones de estrés hídrico y suelos poco profundos, el laboreo

vertical (sin volteo del suelo) podría sustituir al laboreo tradicional.

La disminución del rendimiento en siembra directa se debió a un menor número de plantas, y a un menor desarrollo del cultivo. Este menor desarrollo se produjo desde el principio del ciclo, y se tradujo especialmente en un descenso del n.° de tallos secundarios y en una menor fertilidad de los mismos, mientras que el tallo principal se vio menos afectado. Esta respuesta pudo deberse a la poca cantidad de agua disponible en el momento de la siembra. Sin embargo, la dinámica del agua en el suelo durante las primeras fases del cultivo indica que otras causas, asociadas bien al desarrollo radicular, bien a problemas nutritivos o a la presencia de enfermedades han podido afectar negativamente al desarrollo de la cebada en este tratamiento.

La menor reserva inicial de agua en el suelo en la siembra directa con respecto a los otros tratamientos indica la importancia del manejo del barbecho en la siembra directa y la necesidad de perfeccionar el control de malas hierbas, determinando el momento más oportuno para los tratamientos con herbicida.

Bibliografía

AGENBAG G.A., MAREE P.C.J., 1991. Effect of tillage on some soil propreties, plant development and yield of spring wheat. Soil Tillage Res. 21, 97-112.

ARNAL P., 1996. Diez años de laboreo de conservación en Navarra: balance económico y expectativas. Actas del Congreso Nacional de Agricultura de Conservación: Rentabilidad y Medio Ambiente, pp. 85-92 AELC/SV (Cordoba).

BRAIM M.A., CHANEY K., HODGSON D. R., 1992. Effects of simplified cultivation on the growth and yield of spring barley on a sandy loam soil. I. Shoot growth and grain yield; response to nitrogen. Soil Tillage Res. 22, 159-171.

CHAN K. Y., MEAD J.A., ROBERTS W.P., WONG T. W., 1989. The effect of soil fumigation on poor early growth of wheat under direct drilling. Aust. J. Agric. Res. 42, 221-228.

CHEVALIER P. M., CIHA A. J., 1986. Influence of tillage on phenology and carbohydrate metabolism of spring wheat. Agron. J. 78, 296-300.

CIHA A.J., 1982. Yield and yield components of four spring Wheat cultivars grown under three tillage systems. Agron. J. 74, 317-320.

COOK J.W., FORD G.W., DUMSDAY R.G., WILLATI S.T., 1985. Effect of fallowing practices on the growth and yield of wheat in South-Eastern Australia. Aust. J. Exp. Agric. 25, 614-627.

COSTA J., 1989. Nuevas técnicas de laboreo en secano, pp. 109-119 En Jornadas sobre El Futuro del Secano Aragonés. Zaragoza 20-21 de Abril 1988. Diputación General de Aragón. Zaragoza.

DICK W.A., 1983. Organic carbon, nitrogen, phosphorus, PH in soil profile as affected by tillage intensity. Soil Sci. Soc. Am. J. 47, 102-107.

FELTON W.L., MARCELLOS H., MARTÍN R.J., 1995. A comparison of three fallow management strategies for the long-term productivity of wheat in the northern New South Wales. Aust. J. Exp. Agric. 35, 915-921.

GAJRI P.R., ARORA V.K., PRIHAR S.S., 1992. Tillage management for efficient water and nitrogen use in wheat following rice. Soil and Tillage Res., 24: 167-182.

GONZÁLEZ DE QUEVEDO M.I., GIRALDEZ J.V., MARTÍNEZ I., 1992. Influencia de las grietas en las propiedades térmicas del suelo. Anales X Jornadas Técnicas sobre Riegos, Albacete, pp. 72-74.

GONZÁLEZ P., FERERES E., GIRALDEZ J.V., GONZÁLEZ DE QUEVEDO M.I., LAGUNA A., 1991. El laboreo de conservación como medida de control de la erosión. Suelo y Planta 1, 545-554.

HALL E.F., CHOLICK F.A., 1989. Cultivar tillage interaction of hard red spring wheat cultivars. Agron. J. 81, 789-792.

HAMBLIN A., 1986. The effect of tillage in soil physical conditions, pp. 128-170 En: Tillage. New direction in Australian agriculture. P. S. Cornish and J. E. Pratley (Eds.). Inkata Press, Sidney (Australia).

JONES O.R., HAUSER V.L., POPHMAN T.W., 1994. No-tillage effects on infiltration, runoff, and water conservation in dryland. Trans. ASAE 37, 473-479.

KIRKEGAARD J.A., 1995 A review of trends in wheat yield responses to conservation cropping in Australia. Aust. J. Exp. Agric. 35, 835-848.

KIRKEGAARD J.A., MUNSS R., JAMES R.A., GARDNER P.A., ANGUS J.F., 1995 Reduced growth and yield of wheat with conservation cropping. II Soil biological factors limit growth under direct drilling. Aust. J. Agric. Res. 46, 75-88.

LAWRENCE P.A., RADFORD B.J., THOMAS G.A., SINCLAIR D.P., KEY, A.J., 1994. Effect of tillage practices on wheat performance in a semi-arid environment. Soil Tillage Res. 28, 347-364.

LINDWALL C.W., LARNEY F.J., CAREFOOT J.M., 1995. Rotation, tillage and seed effects on winter wheat performance and soil moisture regime. Can. J. Soil Sci. 75, 109-116.

LÓPEZ M.V., ARRUE J.L., SÁNCHEZ-GIRON V., 1996. A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragón. Soil Tillage Res. 37, 251-271.

LÓPEZ M.V., ARRUE J.L., 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. Soil Tillage Res. 44, 35-54.

MARLEY J.M., LITTLER J.W., 1989. Winter cereal production on the Darling Downs- an 11 year study of fallowing practices. Aust. J. Exp. Agric. 29, 807-827

MOLINA J.L. 1989. La cebada: morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales. 252 pp. Mundi-Prensa, Madrid.

NORWOOD C.A., 1992. Tillage and cropping system effects on winter wheat and grain sorghum. J. Prod. Agric. 5, 120-126.

PASSIOURA J.B., STIRZAKER, R.J. 1993. Feedforward responses of plants to physically inhospitable soil. pp. 715-719 En: International Crop Science I. Crop Science Society of America.

SOIL SURVEY STAFF. 1992. Keys to Soil Taxonomy, 5th edition. SMSS Technical Monograph N.° 19. Blacksburg, Virginia: Pocahontas Press, Inc. 556 pages.

RADFORD B.J., KEY A.J., ROBERTSON L.N., THOMAS G.A., 1995. Conservation tillage increases in soil water storage, soil animal populations, grain yield, and response to fertiliser in the semi-arid subtropics. Aust. J. Exp. Agric. 35, 223-232.

RADKE J.K., DEXTER A.R., DEVINE, O.J., 1985. Tillage effects on soil temperature, soil water, and wheat growth in South Australia. Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 1542-1547.

RUSSELL R.S., GROSS M.J., 1974. Physical aspects of soil fertility. The response of the roots to mechanical impedance. Neth. J. Agric. Sci. 22, 305-318.

UNGER P.W., McCALLA, T.M., 1980. Conservation tillage systems. Adv. Agron. 33, 1-59.

WAGGER M.G., DENTON H.P., 1989. Tillage effects on grain yield in wheat, double-crop soybean, and corn rotation. Agron. J. 81, 493-398.

WILHELM W.W., BOUZERZOUR H., POWER J.F., 1989. Soil disturbance-residue management on winter wheat growth and yield. Agron. J. 81, 581-588.

WILKINGS D.E., KLEPPER B., RICKMAN R.W., 1988. Management of grain stubble for conservation tillage. Soil Tillage Res. 12, 25-35.

(Aceptado para publicación el 1 de abril de 1998)