

## ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE DIFERENTES PRÁCTICAS AGRARIAS DE MANEJO DEL SUELO, SOBRE LA TASA DE INFILTRACIÓN DE UN CALCISOL.

Antonio Sánchez Navarro<sup>1\*</sup>, Arantzazu Blanco Bernardeau<sup>2</sup>, Marina Fernández-Delgado Juarez. <sup>2</sup>,  
María Eugenia Ramos Font<sup>3</sup> y Juan Antonio Sánchez Romero<sup>4</sup>

1,2: Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología  
Facultad de Química  
Universidad de Murcia  
30100 Murcia  
e-mail: [antsanav@um.es](mailto:antsanav@um.es), web: [www.um.es/edafologia](http://www.um.es/edafologia)

3: Grupo de Pastos y Sistemas Silvopastorales Mediterráneos  
Estación Experimental del Zaidín-CSIC  
C/Profesor Albareda, 1.  
18006 Granada  
e-mail: [eugenia.ramos@eez.csic.es](mailto:eugenia.ramos@eez.csic.es)

4: Departamento de Producción Vegetal  
Escuela Politécnica Superior  
La Cañada San Urbano  
04120 Almería

**Palabras clave:** Infiltración, no laboreo, laboreo intensivo, redileo, permeabilidad.

**RESUMEN.** *Este trabajo recoge los resultados de infiltración obtenidos en un Calcisol, donde se ha efectuado un experimento con un diseño en split-plot con 4 grandes bloques, en el que se practicaron los tratamientos de cobertura siguientes: Redileo, Cubierta sembrada, Cubierta espontánea y Laboreo reducido. En cada tratamiento se han establecido seis subparcelas; tres pastoreadas en primavera y otras tres no lo fueron. La infiltración, medida con un infiltrómetro de doble anillo, es sensible a los tratamientos de cobertura, pero no respondió a los tratamientos de pastoreo. Las tasas medias más altas se encontraron en las parcelas con vegetación espontánea (Cubierta espontánea) y en el tratamiento de Redileo, y las tasa más baja se dio en la parcelas aradas en mayo (Laboreo reducido), mientras que la Cubierta sembrada presentó valores intermedios. La Cubierta espontánea presentó las velocidades de infiltración más altas en todos los intervalos, estabilizándose en 252 mm h<sup>-1</sup>, mientras que el Laboreo reducido presentó la velocidad de infiltración más baja.*

**ABSTRACT** *This work compiles the infiltration rates that were obtained in a Calcisol which was under four different soil management. It was a split-plot design with 4 main-plot treatments: Fencing, Cover crop, Native Vegetation and Traditional tillage; and six subplots, three of them, were grazed in spring, the other 3 were not. The infiltration rates, that were measured with a double-ring infiltrometer, were sensitive to the different cover treatments but not to the grazing treatments. The highest rates were measured in the plot were native vegetation grew spontaneously (Native vegetation) and in the Fencing plot. However the lowest rates were measured in the tilled plots (Traditional tillage) whereas Cover crop plots, showed intermediate values. The Native vegetation plot showed the highest infiltration rates of all the intervals, wich stabilized in 252 mm h<sup>-1</sup>, on the contrary the Traditional tillage plot presented the lowest infiltration rate.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Una importante función de los suelos es la captación, el almacenamiento y la movilidad del agua en el seno del perfil, que afecta a distintas propiedades así como a la productividad vegetal y al medio ambiente. La infiltración aumenta el almacenamiento de agua disponible para las plantas y la recarga de los acuíferos, reduciéndose de

esta forma la escorrentía y, con ello, la erosión. La tasa de infiltración está condicionada por la distribución de los poros de distinto tamaño y la continuidad de los poros o fisuras (Kutílek y Nielsen, 1994).

El uso agrícola afecta a las propiedades y a las características del suelo, mientras que el tiempo transcurrido desde la dedicación agrícola del mismo es el responsable de la mayor o menor degradación de éste. El laboreo tradicional destruye la estructura del suelo y puede aumentar el riesgo de erosión; afecta también a la temperatura del suelo, la continuidad de los macroporos y la profundidad y distribución de las raíces. El laboreo afecta de forma importante a la distribución de los poros. El no-laboreo podría tener ventajas patentes en ciertos suelos bajo condiciones climáticas y de manejo determinadas. Un número reducido de pases de maquinaria supone un ahorro en combustibles, disminuye las pérdidas de suelo por erosión, aumenta la disponibilidad de agua y el número de bioporos (Francis and Knight, 1993). Sin embargo, el efecto del laboreo en las propiedades del suelo no es uniforme. En los suelos bajo no-laboreo, la mayor infiltración se atribuye a la mayor contribución de los macroporos debidos a las raíces de cultivos anteriores y fauna edáfica (Tebrügge y Düring, 1999), mientras en los laboreados con estructura estable, al flujo preferente se da en los poros interagregados. La acumulación, pues, de los residuos orgánicos en los suelos no laboreados imita el comportamiento de los ecosistemas naturales.

Por otro lado, la introducción de ganado en las parcelas agrícolas presenta el riesgo potencial de compactación debido al pisoteo de los animales, con el consiguiente efecto de disminución de la infiltración, como se ha observado en suelos con relativamente escasa materia orgánica (Warren *et al.* 1986, Tollner *et al.* 1990 y Ferrero, 1991). El almacenamiento y movimiento del agua están controlados por aspectos estructurales próximos a la superficie donde el encostramiento y la compactación pueden llegar a sellarla (Duley, 1939; Morin *et al.* 1989); por tanto, sería de suponer que el mantenimiento del residuo vegetal sobre la superficie del suelo minimizara esta compactación. El objetivo de este trabajo es valorar la evolución de la infiltración en varias parcelas donde se llevaban a cabo distintos manejos agro-pastorales, con el fin de seleccionar el más adecuado tanto desde el punto de vista ambiental como agropecuario.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio fue llevado a cabo en Huéscar (Norte de la provincia de Granada, coordenadas UTM 30S-535650,32-4192570,06 y 990 m. s.n.m.) sobre un Calcisol Hipercálcico (FAO, 2006), con una pendiente de apenas un 2%.

El clima del área es mediterráneo continental semiárido, con una temperatura media de 13°C (régimen de temperatura méxico) y una pluviometría de 481 mm anuales (régimen de humedad xérico).

### 2.1. Diseño experimental

El experimento se ha realizado en una parcela dedicada al cultivo de almendros (*Prunus amygdalus*, L. var. *dulcis*) desde hace casi 40 años, en la que se vienen alternando el pastoreo extensivo con un par de pases de cultivador para cumplir con las exigencias de la PAC (Política Agraria Común). Asimismo, es de destacar que con carácter previo al ensayo, en octubre se laboreó con cultivador toda la zona experimental.

El experimento se realizó según un diseño en split-plot donde la parcela principal sería el “manejo de cubierta” y la subparcela, el “pastoreo”. Los tratamientos de manejo de cubierta son: 1) **Redileo (R)**: 400 ovejas estuvieron encerradas en una parcela durante 5 días tras haber ingerido semillas de especies de interés forrajero; 2) **Cubierta sembrada (CS)**: se sembró una cubierta compuesta por alfalfa (*Medicago sativa* L. cv Aragón), yeros (*Vicia ervilia* (L) Willd) y collejón (*Moricandia arvensis* (L.) DC.), con una dosis de siembra de 24 kg ha<sup>-1</sup>, 57 kg ha<sup>-1</sup> y 0,7 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; 3) **Cubierta espontánea (CE)**: se dejó crecer la vegetación espontánea; 4) **Laboreo reducido (LR)**: se realizó un pase adicional de cultivador en mayo. Cada parcela principal se dividió en 6 subparcelas de 0.21 ha. de las cuales tres fueron asignadas al azar para recibir el tratamiento “Pastoreo”, mientras que a las otras se les asignó el tratamiento “No pastoreo”. El tratamiento de “Pastoreo” consistió en un período de pastoreo de 3 horas realizado por un rebaño de 283 ovejas hasta alcanzar un 40% del consumo de la biomasa, aproximadamente.

## 2.2. Tipo de suelo

El ensayo se ha efectuado sobre un Calcisol Hipercálcico (FAO, 2006) desarrollado sobre sedimentos cuaternarios que ocupan el glacis sur de la Sierra de la Sagra y que, en ocasiones, aparecen encostrados en profundidad. El perfil es, por tanto, de tipo Ap-Ck(Ckm), donde el horizonte A está fuertemente afectado por las labores culturales que vienen desarrollándose durante como mínimo el tiempo que tiene la plantación de almendros (40 años) y que han originado la degradación progresiva de la estructura del horizonte superficial, como consecuencia sobre todo de la mineralización de una gran parte de la materia orgánica.

El suelo presenta un color pardo amarillento y se encuentra algo excesivamente drenado, debido a su escaso espesor y a su textura moderadamente ligera; está afectado por fenómenos erosivos moderados a intensos, sobre todo de naturaleza hídrica laminar, cuya consecuencia inmediata ha sido la presencia de un gran número de piedras en la superficie del suelo. Las características generales se recogen en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Propiedades del suelo

Horizontes	Ap1	Ap2	Ck1	Ck2
Profundidad (cm)	0-1	10-43	43-67	>67
Arena (2-0.05mm) (%)	35.3	28.6	28.5	36.1
Limo (0.05-0.002mm) (%)	35.6	40.1	41.8	32.0
Arcilla (<0.002mm) (%)	29.1	31.3	29.7	31.9
Carbono orgánico (g kg <sup>-1</sup> )	7.5	3.3	4.2	4.1
Nitrógeno total (g kg <sup>-1</sup> )	1.2	1.1	0.5	0.4
C/N	6.3	3.0	8.4	10.3
P (mg kg <sup>-1</sup> )	2,2	0,8	0,1	0,8
K (g kg <sup>-1</sup> )	0.24	0.04	0.04	0.20
pH (H <sub>2</sub> O 1:2.5)	8.3	8.6	8.5	8.4
pH (KCl 1:2.5)	7.7	7.9	7.9	7.7
CaCO <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	590	746	813	595

## 2.3 Laboratorio

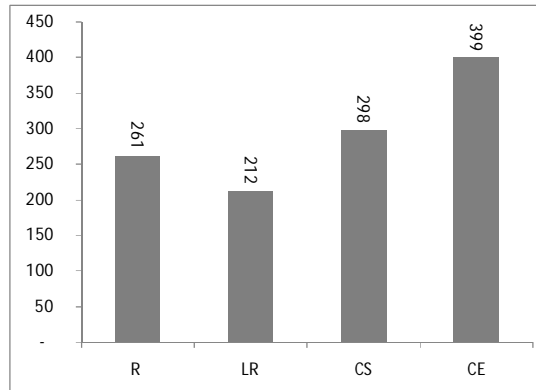
Los valores de infiltración se midieron en cada una de las subparcelas mediante un infiltrómetro de doble anillo (Mathieu y Pieltain, 1998)

## 2.4. Análisis estadístico.

Las medias aritméticas de las réplicas de laboratorio fueron analizadas mediante un ANOVA adaptado para el diseño en split-plot. Se realizaron dos tipos de análisis; primero se realizaron entre cada práctica de manejo del suelo (promediando los dos regímenes de labranza) y en segundo lugar se empleó un ANOVA de dos vías para estudiar los efectos del manejo de cubierta, del pastoreo y sus interacciones. Las desviaciones de la media fueron recogidas usando el test de HSD-Tukey, a un nivel de probabilidad de rechazo de la hipótesis nula de 0.05. Cuando las condiciones de homoscedasticidad dada y/o normalidad no podían ser asumidas, se realizó el test de Kruskal-Wallis en lugar de ANOVA.

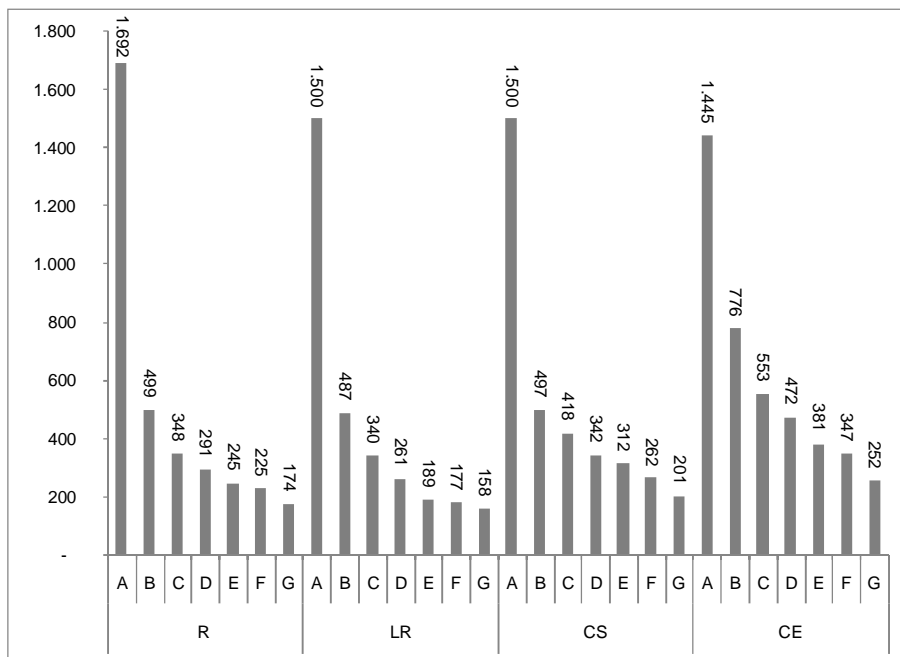
## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran diferencias en la velocidad de infiltración entre los distintos tratamientos (F-valor: 6.867, g.l.: 4, p-valor: 0.006), de forma que la más alta se alcanza en el tratamiento cubierta espontánea (CE), seguido de cubierta sembrada (CS), redileo (R) y laboreo reducido (LR) (Fig. 1).



**Figura 1.** Valores medios de infiltración (mm h<sup>-1</sup>) para cuatro tratamientos de cubierta en un cultivo de almendros. R: redileo, LR: laboreo reducido, CS: cubierta sembrada, CE: cubierta espontánea.

Con el fin de evaluar durante el tiempo de equilibrio el proceso de infiltración en cada uno de los ensayos efectuados y, teniendo en cuenta el corto periodo de tiempo durante el que viene desarrollándose el ensayo, se ha considerado que en el caso de existir alguna diferencia en las tasas de infiltración de los distintos experimentos, debería manifestarse sobre todo en los centímetros más superficiales del suelo, ya que es en esta zona donde los efectos de los distintos tratamientos deben ser más evidentes. Por ello, y con el fin de agrupar los datos, se ha creído conveniente dividir el tiempo total de infiltración en siete intervalos, tal y como se indica a continuación: **A**, tiempo de infiltración menor de 1 minuto; **B**, tiempo de infiltración menor de 2 minutos y mayor de 1; **C**, tiempo de infiltración menor de 5 minutos y mayor de 2; **D**, tiempo de infiltración menor de 10 minutos y mayor de 5; **E**, tiempo de infiltración menor de 20 minutos y mayor de 10; **F**, tiempo de infiltración menor de 40 minutos y mayor de 20; **G**, tiempo de infiltración mayor de 40 minutos.



**Figura 2.** Valores de infiltración (mm h<sup>-1</sup>) en cada ensayo de los distintos intervalos de tiempo de infiltración para cuatro tratamientos de cubierta en un cultivo de almendros. A: tiempo de infiltración (t.i.) menor de 1 minuto, B: t.i. menor de 2 minutos y mayor de 1 minuto, C: t.i. menor de 5 minutos y mayor de 2, D: t.i. 10 minutos y mayor de 5, E: t.i. menor de 20 minutos y mayor de 10, F: t.i. 40 minutos y mayor de 20, G: t.i. mayor de 40 minutos.

A partir de la Figura 2, puede afirmarse que en los cuatro tratamientos de cubierta estudiados se observa un primer intervalo A en el que la velocidad de infiltración es mucho más rápida que en el resto, correspondiéndose con lo que distintos autores denominan como velocidad de infiltración inicial ( $f_0$ ). Dicha  $f_0$  oscila entre  $1692 \text{ mm h}^{-1}$ , para R y  $1445 \text{ mm h}^{-1}$ , para CE.

Analizando cada ensayo durante todo el tiempo de equilibrio, puede observarse que CE es el que presenta velocidades de infiltración más altas en todos los intervalos, estabilizándose en  $252 \text{ mm h}^{-1}$ , que se corresponde con la infiltración final o capacidad de infiltración del suelo ( $f_c$ ). Por el contrario, el desnudo es el que tienen la velocidad de infiltración más baja a lo largo de todo el tiempo de equilibrio.

Los tratamientos R y CS tienen comportamientos muy semejantes a lo largo del tiempo de equilibrio, de manera que R parte de una velocidad de infiltración inicial ( $f_0$ ) algo superior al CS ( $1692 \text{ mm h}^{-1}$  frente a  $1500$ , respectivamente), mientras que durante el resto del tiempo de equilibrio, el comportamiento de los dos ensayos sigue siendo semejante, aunque con valores de infiltración ligeramente superiores en CS que en R.

Si analizamos detalladamente la gráfica correspondiente al tratamiento R (Redileo), sin considerar la parcela 5 cuyo comportamiento es anómalo (Figura 3), se observa que en dos de las parcelas (1 y 3) la  $f_0$  alcanza valores de infiltración altos, próximos a  $2000 \text{ mm h}^{-1}$ , mientras que en el resto dicha infiltración inicial no llega a  $500 \text{ mm h}^{-1}$ . Esta gran diferencia entre los tratamientos de las parcelas 1 y 3 con respecto a las otras, puede deberse a la diferencia de densidad de vegetación y al pisoteo de las ovejas en las parcelas 4 y 6, ya que estas últimas fueron pastoreadas.

Asimismo, a lo largo del tiempo de equilibrio y, dejando a un lado estas  $f_0$  de las parcelas 1 y 3, se observa un comportamiento muy semejante en el resto de parcelas, de manera que en el intervalo B de todas ellas la velocidad de infiltración es de unos  $500 \text{ mm h}^{-1}$ , los de C y D oscilan entre  $240$  y  $260 \text{ mm h}^{-1}$ , salvo en la parcela 6, donde se mantiene próxima a  $410$  (posiblemente, la alta velocidad de infiltración durante todos los intervalos, incluso al final del tiempo de equilibrio, indique que existe una pérdida de agua o una interconexión entre el anillo interno y externo).

Por último, la infiltración final o capacidad de infiltración del suelo, se alcanza predominantemente (parcelas 1, 2 y 3) a una  $f_c$  algo superior a  $200 \text{ mm h}^{-1}$ , mientras que en el resto tiene valores ligeramente superiores (parcela 6) o inferiores (parcela 4), posiblemente por la compactación puntual que ha podido sufrir el suelo como consecuencia del paso de la maquinaria o del ganado.

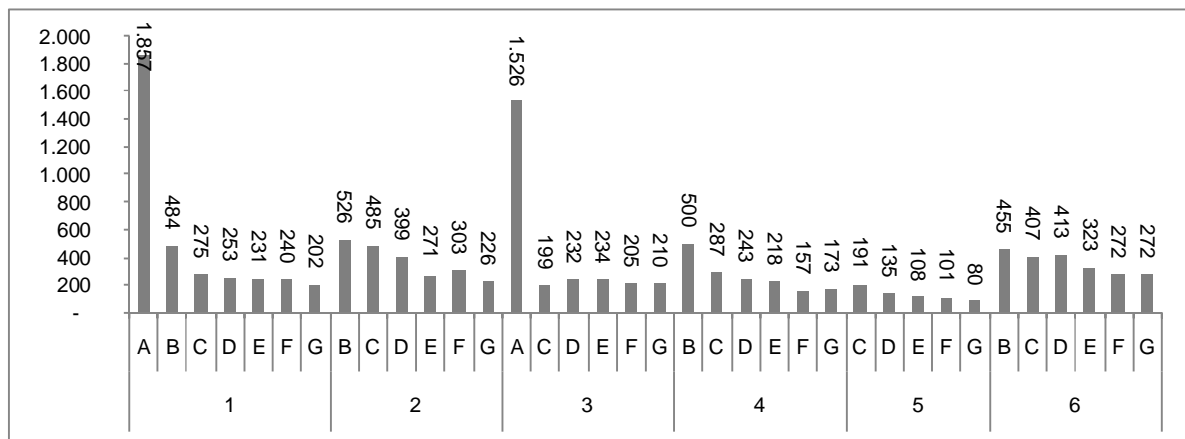


Figura 3. Valores de infiltración ( $\text{mm h}^{-1}$ ) en las distintas parcelas del tratamiento de Redileo.

El comportamiento de la parcela 5 es anormal, ya que durante todo el tiempo de equilibrio se observan tasas de infiltración muy bajas y, por tanto, no acordes con el resto. Muy posiblemente pueda deberse a la compactación sufrida por el suelo en ese punto concreto, como consecuencia del paso de maquinaria pesada o de ganado.

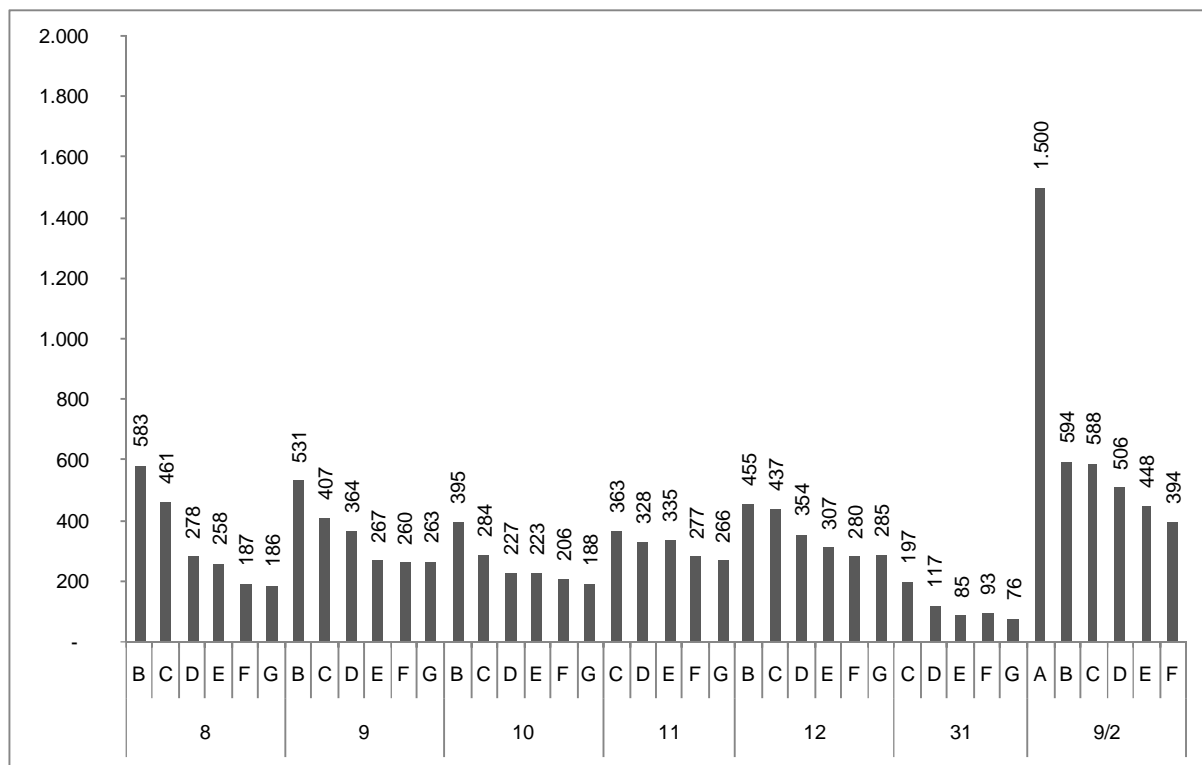


Figura 4. Valores de infiltración (mm h<sup>-1</sup>) en las distintas parcelas del tratamiento de CS.

En el caso del tratamiento CS (Figura 4), en términos generales y en comparación con el tratamiento anterior (R), se observa que son muy inferiores. Para la mayoría de las parcelas del tratamiento de CS, la infiltración inicial  $f_0$ , tiene valores entre 400 y 600 mm h<sup>-1</sup> y no aparece el intervalo A. Por tanto, puede decirse que como consecuencia del arado del suelo para enterrar las semillas, el comportamiento hidrodinámico de éste se homogeniza bastante, de manera que, a diferencia del R, no se han observado tratamientos que tengan una  $f_0$  mayor que otros. Parece como si la superficie del suelo, a consecuencia del arado, fuese muy homogénea y tuviera un comportamiento hidráulico muy semejante en todas las parcelas del tratamiento.

Finalmente, a lo largo del tiempo de equilibrio, se observa en casi todos los intervalos fijados una velocidad de infiltración aparentemente mayor que en el R y se estabiliza, al igual que en el caso del R, en una  $f_c$  próxima a 200 mm h<sup>-1</sup>. La parcela 31 tiene un comportamiento anómalo que puede deberse a causas semejantes a las descritas para la 5.

En cuanto al tratamiento CE, la parcela 34 muestra un comportamiento anómalo, con una velocidad de infiltración a lo largo de todo el tiempo de equilibrio muy superior al resto (Figura 5). Posiblemente se deba a una fuga de agua del anillo central al exterior a través de algún canal o grieta existente en el perfil. En el resto de parcelas, la  $f_0$  se alcanza a valores próximos a 500 mm h<sup>-1</sup>, por tanto, muy semejante al tratamiento CS. Sin embargo, aparentemente la  $f_c$  tiene valores más altos en la mayoría (alrededor de 250 mm h<sup>-1</sup>).

Por último, el tratamiento LR es el que tiene las velocidades de infiltración más bajas a lo largo de todo el tiempo de equilibrio, incluso el efecto favorable sobre la infiltración inicial  $f_0$  que debiera observarse en la superficie del suelo como consecuencia del pase de arado efectuado en el mes de mayo, no sólo no se aprecia en ninguna parcela salvo en la 38, sino que parece incluso que la tendencia es situarse por debajo del resto de tratamientos. Asimismo, la infiltración final o capacidad de infiltración del suelo  $f_c$  aparentemente es la más baja de todas, aspecto que podría deberse al encostramiento superficial del mismo, así como a una compactación y/o saturación del resto del perfil como consecuencia de las fuertes lluvias caídas en el mes de mayo, produciendo un descenso de la conductividad hidráulica global del suelo en este tratamiento.

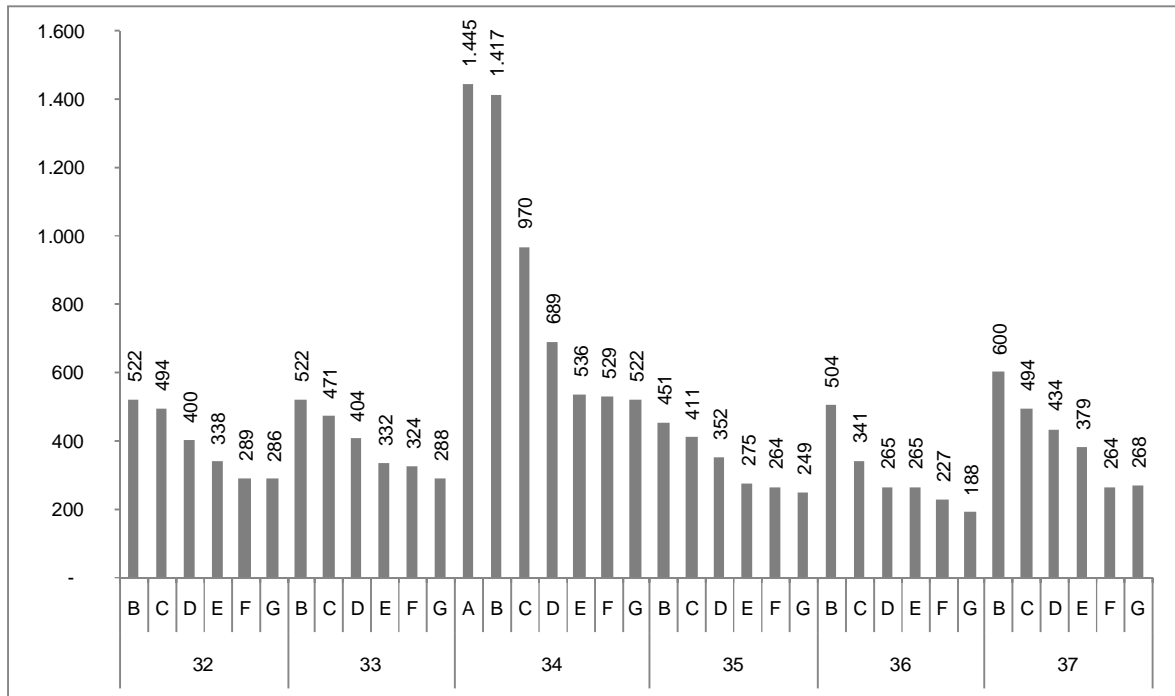


Figura 5. Valores de infiltración (mm h<sup>-1</sup>) en las distintas parcelas del tratamiento CE.

En la Tabla 2 se recogen los resultados del tratamiento estadístico realizado a los datos de los ensayos y, como puede comprobarse, hay diferencias significativas entre los distintos tratamientos de cobertura, pero no entre las parcelas que fueron pastoreadas y las que no. Los valores de infiltración para R y CE son los más altos y estadísticamente homogéneos entre sí, mientras que el tratamiento LR tiene estadísticamente un valor de infiltración media más bajo. Por último, el CS alcanza valores de infiltración intermedios a los otros tres y no existen diferencias significativas de éste con cada uno de los dos grupos significativamente distintos.

Tabla 2. Valores medios de infiltración en 4 tratamientos de cubierta y dos regímenes de pastoreo.

Tratamiento	Infiltración (mm h <sup>-1</sup> )
R	302.5±29,41 <sup>a</sup>
LR	191.14±18,12 <sup>b</sup>
CS	279.71±17,91 <sup>ab</sup>
CE	313.90±21,15 <sup>a</sup>
Valor F (df=4)	6.867
P	0.006
Pastoreo	
No	263.27±21.13
Si	280.36±22.11
Valor-F	0.0149
P	0.905
Interacción	0.199

Los resultados de este estudio ratifican las conclusiones obtenidas por otros autores (Freebarin *et al.*, 1986; Arshad *et al.*, 1999; McGarry *et al.*, 2000) cuyos estudios mostraron que los suelos no laboreados presentaban tasas de infiltración mayores que los suelos sometidos a laboreo. Otros estudios, sin embargo, describen tasas de infiltración menores en suelos no cultivados (Gantzer y Blake, 1978; Gómez *et al.*, 1999; Rasmussen, 1999) que

en los suelos sometidos a laboreo. Tales inconsistencias pueden relacionarse con el funcionamiento de los distintos tipos de poros.

#### 4. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, pueden establecerse las conclusiones siguientes:

1. Los distintos manejos agro-pastorales ensayados influyen significativamente en la capacidad de infiltración del agua en el suelo.
2. Los valores de infiltración más altos se obtuvieron en los tratamientos R y CE, con valores de 313 y 302 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente. Los valores más bajos aparecieron en LR (191 mm h<sup>-1</sup>), mientras que CS presentó valores intermedios (279 mm), respectivamente.
3. Muy posiblemente, el ensayo donde se practicó un laboreo en el mes de mayo (LR) mostró la infiltración más baja como consecuencia de la compactación superficial del suelo bajo los impactos de las gotas de lluvia al estar éste desprovisto de cualquier tipo de vegetación.
4. La infiltración no se ve afectada por el pastoreo de la cubierta vegetal.

#### REFERENCIAS.

- Arshad, M.A.; Franzluebbers, A.J.; Azooz R. H., 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil and Till. Re., Volume 53, Issue 1. Pages 41-47.*
- Duley, F.L., 1939. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 4, 60:64.
- FAO-ISRIC-IUSS. (2006). World reference base for soil resources 2006. *World Soil Resource Reports* n° 103. FAO. Roma. 145 pp.
- Ferrero A.F., 1991. Effect of compaction simulating cattle trampling on soil physical characteristics in woodland. *Soil and Tillage Research* 19, 319-329.
- Francis, G.S., Knight, T.L., 1993. Long-term effects of conventional and no-tillage on selected soil properties and crop yields in Canterbury, New Zealand *Soil Till. Res, Volume 26, Issue 3, pages 193-210*
- Freebarin. D.M, Wockner, G.H., Silburn, D.M., 1986. Effects of catchment management on runoff, water quality and yield potential from Vertisols. *Agric. Water Manage.* 12, 1-19.
- Gantzer, C.J. Blake G.R., 1978. Physical characteristics of Le Sueur clay loam soil following no-till and conventional tillage. *Agronomical Journal*, 70: 853-857.
- Gómez, J.A., Giráldez, J.V., Pastor, M., Fereres, E., 1999. Effects of tillage methods on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. *Soil and Tillage Research* 52, 167-175
- Kutilek, M., Nielsen, D.R., 1994. Soil hydrology. *Verlag, Germany.*
- Mathieu C., Pieltain F. 1998. Analyse physique des sols: Méthodes choisies. *Lavoisier Tec. Doc. París, London, New York.* 275p.
- McGarry, D., Bridge, B. J., Radford B. J., 2000. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics *Soil Till. Res*, 53, Issue 2:105:115.
- Morin, J., Karen, R., Benyamini, Y., Ben-Hur, M., Shainberg, I., 1989. Water infiltration as affected by soil crust and moisture profile. *Soil Sci.* 148, 53±59.
- Rasmussen, K.J, 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a scandinavian review. *Soil Till. Res.* 53, 3-14.
- Tebrügge F, Düring R-A, 1999. Reducing tillage intensity: a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research*, 53: 15-28.
- Tollner, E.W., Calvert, G.V, Landgdale, G. 1990. Animal trampling effects on soil physical properties of two Southeastern U.S. Ultisols. *Agric. Ecosyst. Environ.* , 33, 75-87.
- Warren S.D., Thurrow T.L., Blackburn W.H. and Garza N.E. 1986. The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hydrologic characteristics. *Journal of Range Management*, 39: 491-495