

Influencia de los sistemas de laboreo en los agregados y propiedades hidráulicas del suelo en el suroeste de España

LÓPEZ-GARRIDO R.¹, LÓPEZ M.V.², MELERO S.¹, MURILLO J.M.¹, GIRÓN I.¹, MADEJÓN E.¹, PELEGRÍN F.³, MORENO F.¹

¹Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC). Sevilla.

²Estación Experimental de Aula Dei, CSIC, Zaragoza.

³Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad de Sevilla.

Resumen

El laboreo de conservación es de suma importancia en zonas áridas y semiáridas, donde el recurso hídrico es el principal factor limitante para el desarrollo de los cultivos. Además, esta técnica de laboreo mejora las propiedades físicas del suelo y aumenta el contenido de materia orgánica del mismo, hecho comprobado bajo condiciones Mediterráneas. En este trabajo se estudió el efecto del laboreo tradicional y de conservación en dos experimentos distintos, uno de larga duración (15 años de establecimiento), donde se comparó laboreo tradicional (LT_L) con laboreo reducido (LR_L) y otro de corta duración (4 años de establecimiento), comparando laboreo tradicional (LT_C) con no laboreo (NL_C). En todos los tratamientos de ambos experimentos se estudió el efecto sobre distintas propiedades físicas e hidráulicas del suelo. En el experimento de larga duración, los valores de la distribución del tamaño de agregados (DTA), diámetro medio ponderado (DMP) e índice de agregación (IA) fueron mayores en LR_L frente a LT_L, aunque dichos valores no fueron significativamente diferentes. Los valores de estabilidad de agregados al agua de 1-2 mm (EA_h) fueron mayores en LT_L con respecto a LR_L, a pesar de que el contenido de carbono orgánico total (COT) y de CaCO₃ en estos agregados fue mayor en LR_L. Sin embargo, en nuestras condiciones, el tratamiento de no laboreo parece tener mayor efecto sobre EA_h que el laboreo reducido. El incremento de esta variable en NL_C respecto a LT_C se observó después de solo cuatro años de experimentación. En el experimento de larga duración, la conductividad hidráulica (medida in situ con un permeámetro de disco bajo carga (h) negativa) fue más alta en LT_L que en LR_L para h > -20 mm. En el experimento de corta duración, una conductividad hidráulica mas baja en NL_C con respecto a LT_C sugiere una falta de interconexión en los poros del tratamiento NL_C.

Palabras clave

Carbono orgánico total, Conductividad hidráulica, Estabilidad de agregados, Laboreo de conservación.

1. Introducción

El laboreo de conservación (LC) es una técnica de suma importancia en zonas áridas y semiáridas, donde el recurso hídrico es el principal factor limitante para el desarrollo de los cultivos. Ha sido estudiado bajo condiciones Mediterráneas por diversos autores (MORENO et al., 1997; HERNANZ et al., 2002; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ et al., 2007; ÁLVARO-FUENTES et al., 2008; MADEJÓN et al., 2009; llegando a la conclusión de que esta técnica puede mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. No obstante, conviene estudiar sus efectos en cada escenario particular, ya que éstos no sólo dependen de las características climáticas de la zona, sino también de las propiedades del suelo



52 La estabilidad de los agregados del suelo (EAh) es una característica crucial que afecta
53 a la sostenibilidad del mismo y, consecuentemente, a la producción agrícola (AMEZKETA,
54 1999). La estructura del suelo controla un número significativo de procesos y propiedades
55 básicas, como la disponibilidad de agua y nutrientes para el crecimiento vegetal, la dinámica
56 de descomposición de los residuos de cultivo, la susceptibilidad de erosión del suelo y el
57 rendimiento de los cultivos (BRONICK & LAL, 2005). Recientes trabajos sobre este tema
58 abordan numerosos factores que pueden afectar a la estructura del suelo, entre los que cabe
59 destacar las prácticas de manejo que preservan la estabilidad estructural (CARTER, 2004;
60 KAY & MUNKHOLM, 2004; BRONICK & LAL, 2005; CHAN et al., 1994; YANG &
61 WANDER, 1998). La EAh puede proporcionar información clave sobre la capacidad de un
62 suelo para desarrollar las funciones que le son propias, aspecto que define su calidad.

63
64 Las principales propiedades del suelo que contribuyen a la formación y estabilización de
65 los agregados incluyen la textura, mineralogía de arcillas, cationes intercambiables, óxidos de
66 Fe y Al y CaCO_3 , así como el contenido de carbono orgánico total (COT) (MAGDOFF &
67 WEIL, 2004). Por tanto, las prácticas agrícolas que aumenten el COT en el suelo, como es el
68 caso del laboreo de conservación, pueden influir positivamente en su estructura. El laboreo de
69 conservación se ha mostrado eficaz en la mejora de las propiedades hidráulicas del suelo,
70 como han puesto de manifiesto PELEGRÍN et al. (1990) y MORENO et al. (1997) para las
71 condiciones del sur de España.

72 73 74 **2. Objetivos**

75
76 En este trabajo se estudia el efecto del laboreo tradicional y de conservación (laboreo
77 reducido y no laboreo) sobre las propiedades hidráulicas del suelo y las características de los
78 agregados (estabilidad estructural), bajo condiciones semi-áridas de secano, en una zona de
79 clima Mediterráneo. Se pretende comprobar que bajo estas condiciones, el laboreo de
80 conservación puede resultar ventajoso en relación con las propiedades indicadas.

81 82 83 **3. Metodología**

84
85 El experimento se estableció en la finca experimental del Instituto de Recursos
86 Naturales y Agrobiología (IRNAS-CSIC) de Sevilla (SO España), 37° 28' N, 6° 18' O, 30 m
87 sobre el nivel del mar. El suelo fue clasificado como Xerofluvent. El clima de la zona es
88 típicamente mediterráneo, con inviernos suaves (500 mm anuales de precipitación, promedio
89 de 1971-2004) y veranos muy cálidos y secos. Un área de unos 2500 m² fue seleccionada para
90 ubicar las parcelas experimentales. Se establecieron dos experimentos: uno de larga duración
91 (establecido en 1991), en el que se compararon parcelas de laboreo tradicional (LT_L) y
92 laboreo reducido (LR_L), y otro de corta duración (establecido en 2004), donde se compararon
93 parcelas de laboreo tradicional (LT_C) y no laboreo (NL_C). El tratamiento LT_L consistió en la
94 aplicación del arado de vertedera hasta 25-30 cm de profundidad, tras la quema del rastrojo
95 procedente del cultivo anterior (esta práctica fue suprimida desde 2003) y LR_L se caracterizó
96 por no usar el arado de vertedera y por la reducción del número de operaciones mecánicas,
97 dejando sobre la superficie del suelo los restos de cosecha del cultivo anterior (para más
98 detalles, véase MORENO et al., 1997). En LT_C la quema de rastrojo nunca se aplicó, al estar
99 prohibida al inicio del experimento.

100



101 En todas las parcelas se estableció una rotación trigo-girasol. En el año 2004 se incluyó
102 un cultivo de guisante forrajero en la rotación.

103
104 Durante el periodo 2006-2007 se tomaron muestras de suelo de todas las parcelas a
105 distintas profundidades (0-5, 5-10 y 10-25 cm), con el fin de estudiar agregación, materia
106 orgánica (suelo y agregados) y CaCO_3 (agregados), además de las correspondientes
107 propiedades hidráulicas. La distribución de tamaño de agregados (DTA) se obtuvo mediante
108 una tamizadora vertical electromagnética (Fritsch analysette 3 PRO), usando tamices del
109 tamaño de 4, 2, 1, 0,5, 0,25 y 0,05 mm. El diámetro medio ponderado (DMP) y el índice de
110 agregación (IA) fueron calculados por el método de YOUNKER & MCGUINNESS (1957). La
111 estabilidad de agregados al agua (EAh) se determinó en agregados secos de 1-2 mm según el
112 método de KEMPER & ROSENAU (1986). Las propiedades hidráulicas del suelo,
113 conductividad hidráulica (K) y sortividad (S) se determinaron *in situ* mediante un
114 infiltrómetro de disco bajo carga (h) negativa (PERROUX & WHITE, 1988) en el rango
115 próximo a saturación ($-120 < h < 0$ mm), utilizando la aproximación de ANKENY et al.
116 (1991).

117 118 119 4. Resultados

120
121 Tanto en el experimento de larga como en el de corta duración, los contenidos de COT a
122 0-5 y 5-10 cm de profundidad, tendieron a ser mayores bajo los tratamientos de laboreo de
123 conservación (LR_L y NL_C) con respecto a sus correspondientes tratamientos de laboreo
124 tradicional (LT_L y LT_C) (Tabla 1).

125
126 *Tabla 1. Carbono orgánico total (COT, g kg^{-1}) a diferentes profundidades en la muestra completa de suelo y en los*
127 *agregados de 1-2 mm de todos los tratamientos. Para cada profundidad, diferencias significativas entre tratamientos se*
128 *indican mediante asterisco.*

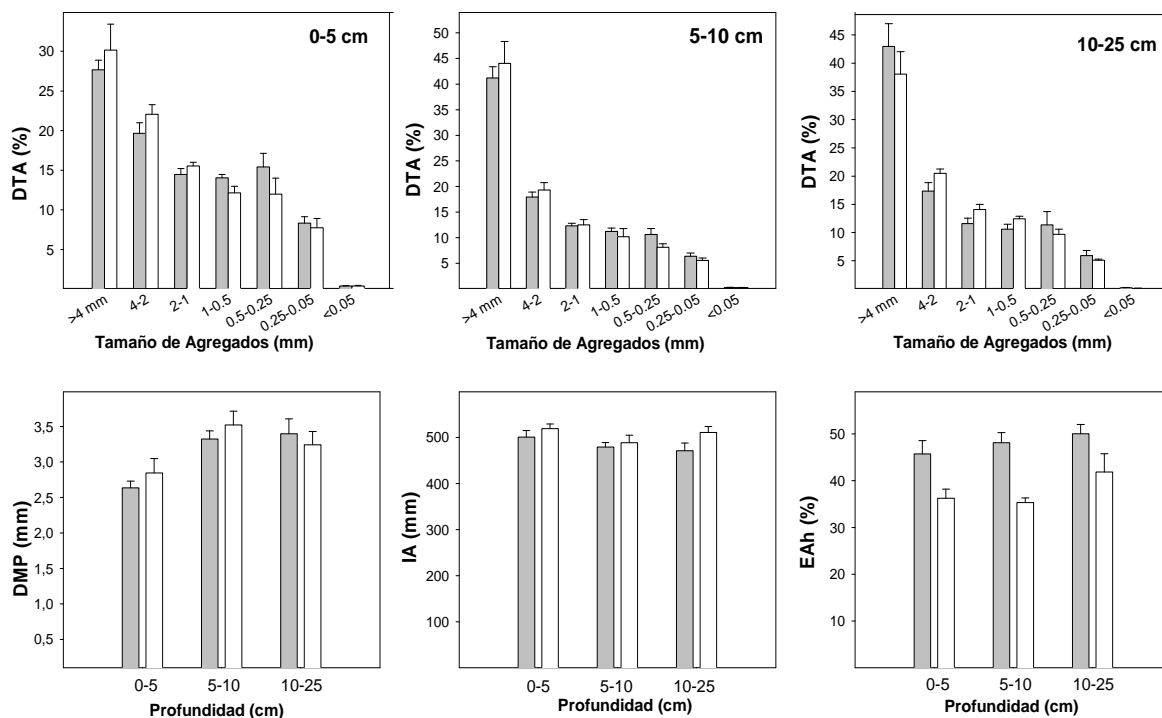
Experimento	Profundidad (cm)	Tratamiento	COT (g kg^{-1})	
			Suelo total	Agregados (1-2 mm)
Larga duración	0-5	LT_L	11.4	12.4*
		LT_R	11.7	14.0
	5-10	LT_L	8.4	9.3
		LT_R	9.7	10.7
	10-25	LT_L	7.1	7.9
		LT_R	6.5	9.1
Corta duración	0-5	LT_C	8.7	10.4
		NL_C	8.8	11.3
	5-10	LT_C	8.9	9.4
		NL_C	7.3	9.4
	10-25	LT_C	6.3	7.8
		NL_C	5.8	6.7

129
130 Por otra parte, los valores de DTA, DMP e IA fueron ligeramente mayores en los dos
131 tratamientos de laboreo de conservación (LR_L y NL_C) con respecto a sus correspondientes de
132 laboreo tradicional, aunque las diferencias no fueron significativas (Figuras 1 y 2).

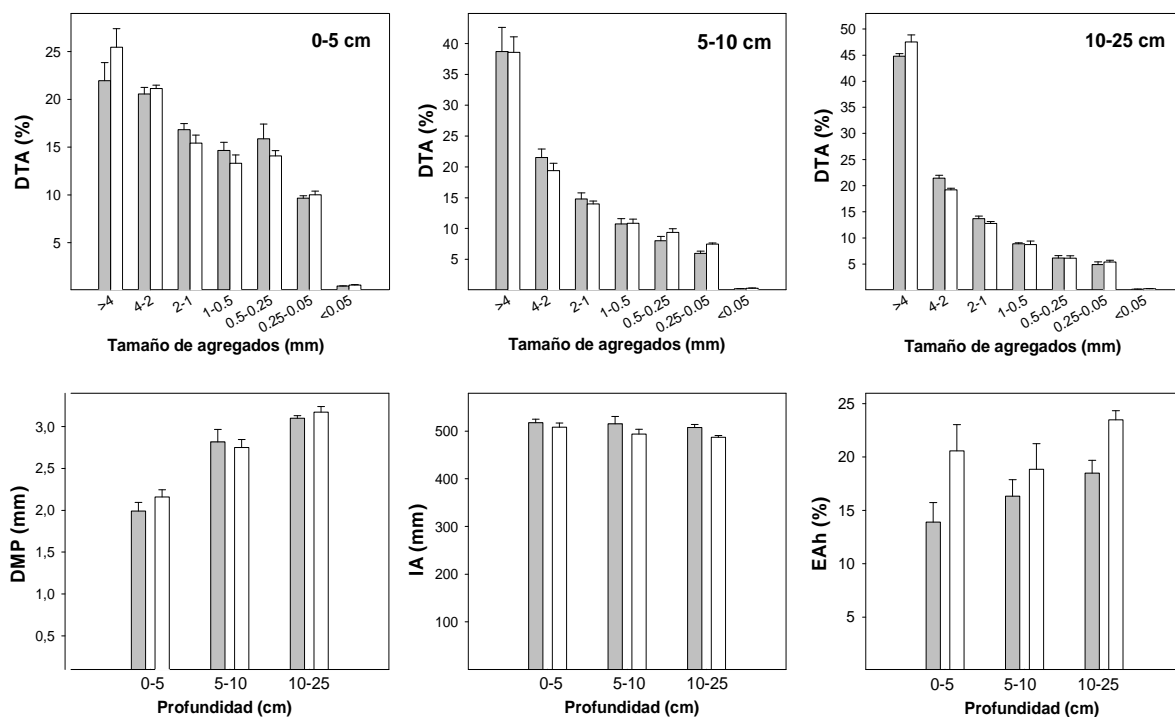
133
134 Sin embargo los valores de EAh en los agregados de 1-2 mm fueron mayores en LT_L
135 con respecto a LR_L , a pesar de que los contenidos de COT (Tabla 1) y CaCO_3 en estos



136 agregados fueron mayores en LR_L (17%, CaCO₃) que en LT_L (13%). Por el contrario, esta
 137 variable fue ligeramente mayor en NL_C con respecto a LT_C (Figura 2).
 138



139
 140 *Figura 1. Distribución de tamaño de agregados (DTA), diámetro medio ponderado (DMP), índice de agregación (IA) y*
 141 *estabilidad de agregados 1-2 mm (EAh) a distintas profundidades (0-5, 5-10 y 10-25 cm) en los tratamientos del experimento*
 142 *de larga duración, LT_L (barras grises) y LR_L (barras blancas).*
 143



144
 145 *Figura 2. Distribución de tamaño de agregados (DTA), diámetro medio ponderado (DMP), índice de agregación (IA) y*
 146 *estabilidad de agregados 1-2 mm (EAh) a distintas profundidades (0-5, 5-10 y 10-25 cm) en los tratamientos del experimento*
 147 *de corta duración, LT_C (barras grises) y NL_C (barras blancas).*
 148
 149



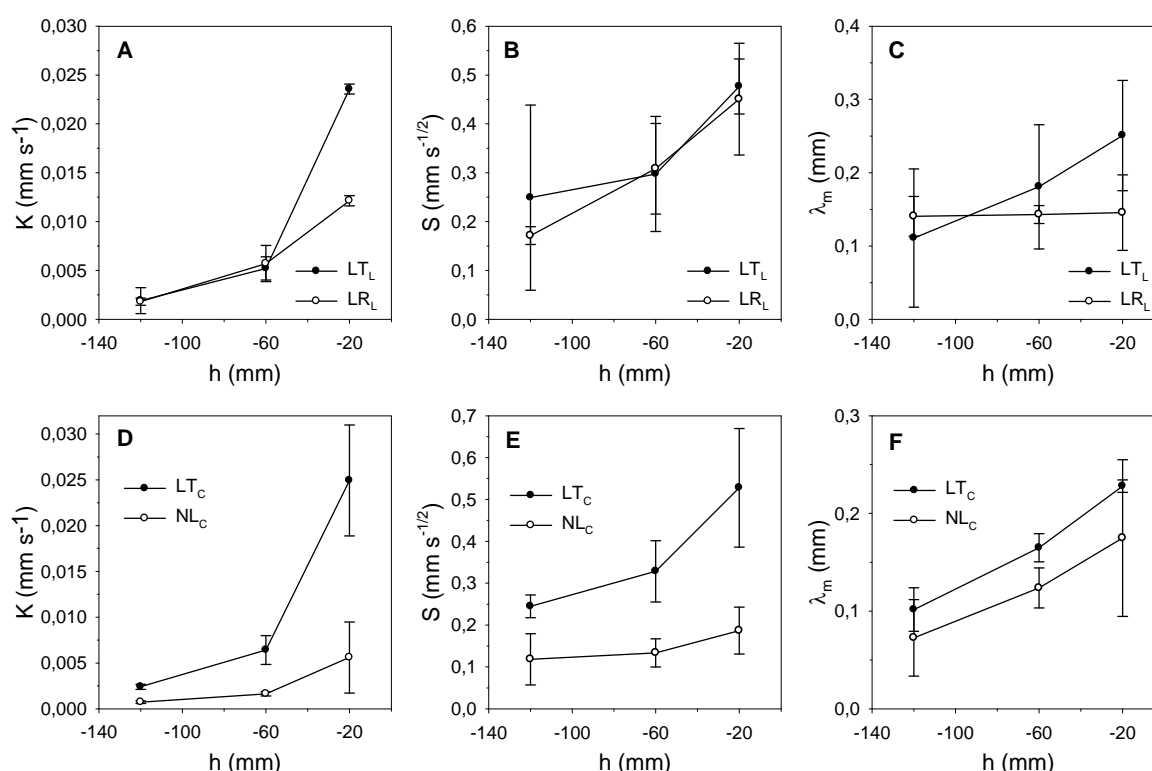
150 La densidad es otra variable que puede afectar a la estabilidad de los agregados. En este
 151 estudio no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en ningún caso, aunque
 152 en ocasiones la densidad aparente resultó algo mayor bajo LT_L (Tabla2).

153
 154 *Tabla 2. Densidad del suelo ($Mg\ m^{-3}$) en diferentes fechas durante el periodo experimental. No existen diferencias
 155 significativas entre tratamientos.*

Profundidad (cm)	Tratamiento	12-12-2006	15-01-2007	15-05-2007	22-01-2008
0 - 5	LT_L	1.43 ± 0.09	1.46 ± 0.05	1.16 ± 0.04	1.22 ± 0.07
	LR_L	1.35 ± 0.05	1.39 ± 0.07	1.20 ± 0.03	1.08 ± 0.04
	LT_C	1.40 ± 0.06	1.45 ± 0.08	1.26 ± 0.05	1.28 ± 0.04
	NL_C	1.38 ± 0.09	1.32 ± 0.03	1.51 ± 0.10	1.29 ± 0.04
5 - 10	LT_L	1.55 ± 0.04	1.68 ± 0.02	1.53 ± 0.06	1.46 ± 0.05
	LR_L	1.53 ± 0.03	1.53 ± 0.07	1.70 ± 0.03	1.55 ± 0.04
	LT_C	1.61 ± 0.02	1.67 ± 0.02	1.55 ± 0.08	1.53 ± 0.01
	NL_C	1.59 ± 0.01	1.57 ± 0.03	1.66 ± 0.03	1.60 ± 0.04

156
 157
 158 En la figura 3 se muestran los resultados de conductividad hidráulica (K), sortividad (S)
 159 y radio medio de poro (λ_m), medidos *in situ* en la superficie del suelo en los tratamientos de
 160 los experimentos de larga y corta duración. En el experimento de larga duración, la
 161 conductividad hidráulica fue más alta en LT_L que en LR_L para $h > -20$ mm. Sin embargo, en
 162 el experimento de corta duración, la conductividad hidráulica resultó más baja en NL_C que en
 163 LT_C .

164



165

166

167

168

169

170

Figura 3. Variación de conductividad hidráulica (K), sortividad (S) y radio medio de poro (λ_m) a diferentes succiones impuestas (h). Las gráficas A, B y C corresponden al experimento de larga duración D, E y F al de corta. Las líneas verticales representan la desviación estándar.



171 5. Discusión

172
 173 Los mayores contenidos de COT en LR_L con respecto a LT_L después de 15 años desde
 174 el establecimiento, corroboran lo que se ha venido observando en otros estudios, esto es, que
 175 el laboreo de conservación produce mejoras en el suelo, en lo que a materia orgánica se
 176 refiere (aunque sólo se registró una diferencia significativa a nivel de agregados y
 177 profundidad de 0-5 cm). Por el contrario, los valores de EAh resultaron ligeramente
 178 superiores bajo LT_L. Hay que tener en cuenta, que la agregación es una propiedad temporal,
 179 producto de la interacción de la biota del suelo con los componentes minerales y orgánicos,
 180 siendo afectada por el uso y manejo del suelo, especialmente bajo no laboreo. Efectivamente,
 181 bajo nuestras condiciones el no laboreo parece ser más efectivo que el laboreo reducido para
 182 mejorar las diferentes propiedades relativas a la estructura del suelo.

183
 184 El hecho de que en el experimento de larga duración la variable EAh haya resultado
 185 ligeramente superior bajo LT_L puede ser debido a una conjunción de distintos factores. Por
 186 ejemplo, ligeros aumentos de la densidad del suelo bajo LT_L (observado algunas veces en
 187 años húmedos, Tabla 2) puede haber facilitado un ligero aumento relativo de estabilidad. La
 188 actividad de lombrices, mayor bajo LR_L, también puede haber alterado la estabilidad
 189 estructural, aumentándola o disminuyéndola, dependiendo de la textura y mineralogía del
 190 suelo, un aspecto que deberá ser estudiado bajo nuestras condiciones experimentales.

191
 192 También habría que considerar el diferente manejo de estos tratamientos (LT_L y LT_C)
 193 en relación a la quema del rastrojo realizada anualmente años atrás. El fuego es un factor
 194 importante que también puede haber influido en la agregación del suelo, afectando a su
 195 hidrofobicidad (MACDONALD & HUFFMAN, 2004).

196
 197 Después de un incendio (o quema de rastrojos) son varios los factores que pueden
 198 afectar a la intensidad y persistencia de la repelencia al agua de un suelo, tales como la
 199 severidad de la quema, la textura del suelo, humedad y tiempo transcurrido desde la quema
 200 (DEBANO, 2000; MACDONALD & HUFFMAN, 2004). Algunos autores todavía han
 201 encontrado importante hidrofobicidad en suelos después de 22 meses de efectuada la quema
 202 (HUFFMAN et al., 2001). Con el tiempo, este nivel de hidrofobicidad podría irse diluyendo,
 203 aunque no sería de extrañar que todavía se encontraran ligeras diferencias a más largo plazo
 204 en suelos que durante muchos años han sido sometidos a quema de rastrojos.

205
 206 Por eso pensamos que en nuestro caso todavía puede estar presente cierto grado de
 207 hidrofobicidad en el tratamiento LT_L, derivado de la quema de rastrojo desde 1991 hasta
 208 2003, una práctica que no se aplicó en el tratamiento LT_C. Esto podría explicar la existencia
 209 de una mayor resistencia de los agregados al agua en el tratamiento LT_L con respecto a LR_L.
 210 Por lo general, la humectabilidad y la repelencia del suelo están indirectamente cuantificados
 211 por el tiempo de penetración de las gotas de agua caída, o los test de molaridad con etanol
 212 (LETEY, 1969; CZACHOR, 2007), estudios actualmente en curso en nuestros laboratorios.
 213 Hoy día se acepta que la repelencia del suelo al agua es el resultado del revestimiento de la
 214 materia orgánica por las partículas minerales del suelo (JARAMILLO et al., 2000;
 215 POULENARD et al., 2004), aspecto que aún debe ser estudiado con mayor profundidad en
 216 agricultura de conservación bajo condiciones semiáridas de secano.

217
 218 La conductividad hidráulica (Figura 3A) fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en LT_L
 219 que en LR_L para $h > -20$ mm en el experimento de larga duración.

220



221 La sortividad fue similar bajo ambos tratamientos del experimento de larga duración
 222 (Figura 3B). Las diferencias de conductividad hidráulica entre tratamientos, podrían atribuirse
 223 a la diferente consolidación del suelo, y, en concordancia con el radio medio de poro, fue
 224 mayor en LT_L que en LR_L para $h > -60$ mm (Figura 3C). Estos resultados son similares a los
 225 obtenidos por MORENO et al. (1997), tres años después del establecimiento de este
 226 experimento de larga duración.

227
 228 En el experimento de corta duración, los valores de K , S y λ_m (Figuras 3D, 3E y 3F,
 229 respectivamente) fueron mayores en LTC con respecto a NLC en el rango $-120 < h < 0$ mm,
 230 con diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) para K y S . La menor conductividad
 231 hidráulica en NLC comparado con LTC, aparentemente parece contradictorio, con el hecho de
 232 que λ_m no fue significativamente diferente entre tratamientos, y sugiere la falta de poros
 233 interconectados en NLC, como observaron ANGULO-JARAMILLO et al. (1997).

234
 235

236 6. Conclusiones

237
 238 Bajo nuestras condiciones experimentales, el laboreo de conservación ha ocasionado a
 239 largo plazo un aumento del contenido de COT, aunque la diferencia respecto al tradicional
 240 sólo resultó significativa a nivel de agregados en superficie (0-5 cm). En el experimento de
 241 corta duración se observó la misma tendencia, aunque las diferencias no resultaron
 242 significativas en ningún caso, debido posiblemente al corto tiempo de experimentación.

243
 244 También se observaron mejoras en propiedades relativas a la estructura del suelo, como
 245 la distribución de tamaño de agregados, el diámetro medio ponderado y el índice de
 246 agregación, mejoras derivadas del establecimiento del laboreo de conservación, tanto a largo
 247 como a corto plazo. Sin embargo, la estabilidad al agua de los agregados (1-2 mm) sólo
 248 resultó ligeramente superior bajo no laboreo (experimento de corta duración), sin que por el
 249 momento se haya podido determinar la causa de este comportamiento del suelo (en estudio).

250
 251 En el experimento de larga duración, la conductividad hidráulica fue mayor en LT_L que
 252 en LR_L para $h > -20$ mm en concordancia con el radio medio de poro. En el experimento de
 253 corta duración, la baja conductividad hidráulica en NLC con respecto a LTC , sugiere la baja
 254 interconexión de poros en el tratamiento de no laboreo.

255
 256

257 7. Agradecimientos

258
 259 Los autores agradecen a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) la
 260 concesión del proyecto AGL2005-2423, en cuyo marco se ha realizado este estudio.

261
 262

263 8. Bibliografía

- 264
 265 AMÉZKETA E., 1999. Soil aggregate stability: a review. *J. Sust. Agric.*, Vol. 14 (2/3) 83-
 266 151.
 267
 268 ANGULO-JARAMILLO R, MORENO F, CLOTHIER BE, THONY JL, VACHAUD G,
 269 FERNÁNDEZ-BOY, E, CAYUELA JA (1997). Seasonal variation of hydraulic properties of



- 270 soils measured using a tension disk infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal* **61**,
 271 27-32.
 272
- 273 ANKENY MD, AHMED M, KASPAR TC, HORTON R (1991). Simple field method
 274 determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal* **55**,
 275 467-470.
 276
- 277 BRONICK CJ., LAL R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*; 124 (1-
 278 2): 3-22.
 279
- 280 CARTER MR., 2004. Advances in soil structure research. Special Issue of Soil and Tillage
 281 Research, vol. 79. *Soil Till. Res.*; p. 1-127.
 282
- 283 CHAN KY., HEENAN DP., ASHLEY R., 1994. Seasonal changes in surface aggregate
 284 stability under different tillage and crops. *Soil Till. Res.*, 28 (3-4): 301-14.
 285
- 286 CZACHOR, H., 2007. Applicability of the Washburn theory for determining the wetting
 287 angle of soils. *Hydrol. Process.*, 21, 2239-2247.
 288
- 289 DEBANO, L.F., 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland
 290 environments. *J. Hydrol.*, 231-232, 195-206.
 291
- 292 HERNANZ, J.L., LÓPEZ, R., NAVARRETE, L., SÁNCHEZ-GIRÓN, V., 2002. Long-term
 293 effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon
 294 stratification in semiarid central Spain. *Soil Till. Res.* 66 (2), pp. 129-141.
 295
- 296 HUFFMAN, E.L., MACDONALD, L.H., STEDNICK, J.D. 2001. Strength and persistence of
 297 fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and lodgepole pine, Colorado Front range.
 298 *Hydrol. Process.*, 15, 2877-2892.
 299
- 300 JARAMILLO, D.F., DEKKER, L.W., RITSEMA, J.C.J., HENDRICKX, M.H., 2000.
 301 Occurrence of soil water repellency in arid and humid climates. *Journal of Hydrology*, 231-
 302 232, pp. 105-111.
 303
- 304 KAY BD., MUNKHOLM L.J., 2004. Management-induced soil structure degradation-
 305 organic matter depletion and tillage. In: Schjonning P, et al, editor. *Managing Soil Quality:
 306 Challenges in Modern Agriculture*. Oxford Univ. Pr. P. 185-97.
 307
- 308 KEMPER WD., ROSENAU RC., 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A,
 309 editor. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy-Madison: Soil Sci. Soc. A.*, pp. 425-442.
 310
- 311 LETEY, J. 1969. Measurement of contact angle, water drop penetration time,
 312 0Symposium on Water Repellent Soils. Univ. California, Riverside, 43-47. *J. Hydrol.*, 231-
 313 232, 105-111.
 314
- 315 MACDONALD, L.H., HUFFMAN, E.L. 2004. Post-fire soil water repellency: persistence
 316 and soil moisture thresholds. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68, 1729-1734.
 317



- 318 MAGDOFF, F., WEIL, R., 2004. Soil Organic Matter Management Strategies. In: Soil
319 Organic matter in sustainable agriculture. Pp 45-65. Magdoff, F and Weil, R.R (eds). CRC
320 Press LLC. New York.
321
- 322 MORENO, F., PELEGRÍN, F., FERNÁNDEZ, J.E., MURILLO, J.M., 1997. Soil physical
323 properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in
324 southern Spain. *Soil Till. Res.*, 41, 25-42.
325
- 326 MORENO, F., MURILLO, J.M., PELEGRÍN, F., GIRÓN, I.F., 2006. Long-term impact of
327 conservation tillage on stratification ratio of soil organic carbon and loss of total and active
328 CaCO₃. *Soil Till. Res.* 85 (1-2), pp. 86-93.
329
- 330 PELEGRÍN F, MORENO F, MARTÍN-ARANDA J, CAMPS M (1990). The influence of
331 tillage methods on soil physical properties and water balance for a typical crop rotation of SW
332 Spain. *Soil & Tillage Research* **16**, 345-358.
333
- 334 PERROUX KM, WHITE I (1988). Designs for disc permeameters. *Soil Science Society of*
335 *America Journal* **52**, 1205-1215.
336
- 337 POULENARD, J., MICHEL, J.C., BARTOLI, F., PORTAL, J.M., PODWOJEWSKI, P.,
338 2004. Water repellency of volcanic ash soils from Ecuadorian paramo: effect of water content
339 and characteristics of hydrophobic organic matter. *Eur. J. Soil Sci.*, 55, 487-496.
340
- 341 YANG X, WANDER MM., 1998. Temporal changes in dry aggregate size and stability:
342 tillage and crop effects on a silty loam Mollisol in Illinois. *Soil Till. Res.*; 49 (3): 173-83.
343
- 344 YOUKER RE., MCGUINNESS JL., 1957. A short method of obtaining mean weight-diameter
345 values of aggregate analyses of soils. *Soil Sci.* 1957; 83: 91-94.

