

## EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL SUELO EN OLIVARES ECOLÓGICOS DE MONTAÑA EN SIERRA MORENA

S. Álvarez<sup>1a</sup>, M. A. Soriano<sup>2</sup>, J.A. Gómez<sup>1b</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC), Alameda del Obispo s/n, 14080 Córdoba. <sup>1a</sup>Email: b72alrus@uco.es; <sup>1b</sup>Email: ag2gocaj@uco.es

<sup>2</sup> Departamento Agronomía, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, C4, 14014 Córdoba. Email: g1sojim@uco.es

**RESUMEN.** La pérdida de suelo y el deterioro de la calidad del mismo es en la actualidad uno de los mayores problemas en los sistemas agrícolas mediterráneos, debido en parte a sistemas de cultivo cada vez más intensivos. La agricultura ecológica promueve la conservación de los recursos naturales, por lo que la utilización de prácticas de manejo adecuadas, que eviten o reduzcan la degradación del suelo, debe figurar entre sus prioridades. El objetivo de este trabajo es evaluar el estado de la calidad del suelo en olivares ecológicos de montaña, con distintos sistemas de manejo, en relación a zonas naturales adyacentes. El estudio se ha llevado a cabo durante 2005 en olivares ecológicos situados en la zona de Sierra Morena, al norte de la provincia de Córdoba, con distintos sistemas de manejo: laboreo y ganado, y en los dos tipos de suelo dominantes: Regosol éutrico y Cambisol éutrico (FAO, 1988). Para cada tipo de suelo se han muestreado 13 parcelas de olivar y 3 zonas naturales, en las que se han medido variables físicas (textura, densidad aparente, estabilidad de agregados, erodibilidad conductividad hidráulica, capacidad de retención de agua), químicas (pH, materia orgánica, C y N orgánicos, P y K disponibles y CIC) y biológicas (respiración del suelo, población bacteriana) como indicadores de calidad del suelo. La pérdida de suelo se estimó a partir de la RUSLE (Renard et al. 1997). Los resultados obtenidos muestran que los suelos, en estos sistemas agrícolas de olivar ecológico, presentan un moderado a buen estado en los niveles de muchas de las variables medidas, especialmente en aquellos olivares en los que la cubierta vegetal está controlada por ganado, a pesar de que llevan décadas en producción. Nuestros resultados sugieren que estos sistemas de olivar podrían mantenerse por largo tiempo sin una apreciable degradación del suelo mediante cultivo con cubierta vegetal.

**ABSTRACT.** Soil loss and soil degradation are among the most important problems of Mediterranean agricultural systems. Intensification of these systems is one of the reasons for those problems. The objective of this study was to evaluate soil quality and soil erosion risk in organic olive orchards, with different soil management systems, in relation to adjacent zones with natural vegetation. The field study was carried out during 2005 in organic olive orchards located in Sierra Morena, north of the province of Córdoba. The soil managements used in the olive orchards included in this study were tillage and grazing; and we distinguished

between the two dominant soil types in the area: Eutric Regosol and Eutric Cambisol (FAO, 1988). For each soil type, 13 olive farms were studied, plus 3 areas with natural vegetation. For each farm or natural area visited we measured (at the field or in samples taken to the laboratory) three kind of soil parameters that had been indicated as being relevant to soil quality evaluation. These were physical parameters: (texture, bulk density, aggregate stability, erodibility, hydraulic conductivity, available water content), chemical parameters (pH, organic matter, organic C and N, available P and K, and cation exchange capacity), and biological parameters (soil respiration and bacterial population) as indicators of soil quality. The actual rate of soil loss at hillslope was estimated using RUSLE (Renard et al., 1997) calibrated from the results of our study. The results show that the organic olive orchards presented a moderate to good state in many of the measured parameters, especially those grazed by sheep despite decades of being in production. Our results suggest that these organic olive orchards could remain for a long time without any appreciable soil degradation by using a soil management based on cover crops.

### 1.- Introducción

El olivar en Andalucía ocupa 1,5 millones de hectáreas, de las cuales el 78% son de secano y el 84% están situadas en laderas con pendientes superiores al 5% (Consejería de Agricultura y Pesca, 2006). Esto ayuda a entender los graves problemas de erosión de suelo asociados al olivar (Gómez et al., 2003). Aunque minoritario aún, en los últimos años se ha producido una notable expansión del olivar ecológico, principalmente en la provincia de Córdoba. Esta transición desde convencional a ecológico ha sido acompañada por un cambio en el manejo del suelo (Milgroom et al., 2007), con una tendencia al aumento del uso de cubiertas vegetales y, obviamente, al abandono del uso de herbicidas. Dentro de este proceso, son pocos los trabajos que hayan evaluado el estado de los suelos del olivar en agricultura ecológica, y que hayan tratado de ponerlo en relación al sistema de manejo del suelo empleado (Milgroom et al., 2007).

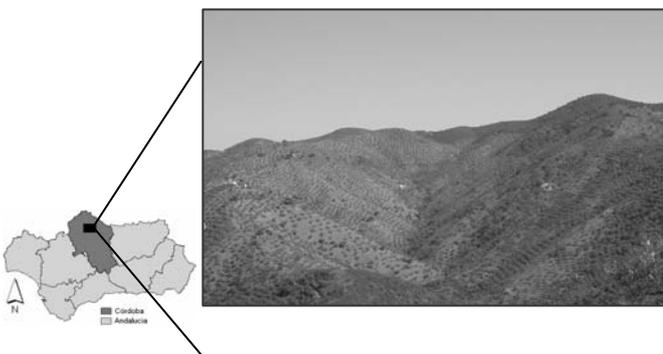
Aunque el concepto de calidad de suelo carece de una definición precisa, y continúa siendo debatido (p.e., Sojka

et al., 2003; Karlen et al., 2001), resulta obvio en la literatura científica la necesidad de evaluar el estado de los suelos en función de una serie de propiedades de los mismos. Existe una tendencia a incorporar propiedades que reflejen diferentes procesos, tratando de considerar aspectos físicos, químicos y biológicos. También a tratar de interpretarlos y sintetizarlos en función del cultivo y del objetivo final de la evaluación de los suelos (agronómico, medioambiental, etc...).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el estado del suelo y el riesgo de erosión en los distintos sistemas de manejo del suelo en olivar ecológico de montaña, a través de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos, y compararlos con los de zonas naturales adyacentes al olivar.

## 2.- Material y Métodos

El trabajo se desarrolló al norte de la provincia de Córdoba (38.37°-38.13° N; 4.88°-4.72° W), Sierra Morena. (Fig. 1) Las parcelas de olivar ecológico se localizaron, en la zona del estudio, con la colaboración de los técnicos del Comité Andaluz de Agricultura Ecológica (CAAE). Una vez localizadas e identificadas (según tipo de manejo y tiempo en ecológico) se superpusieron sobre el mapa de suelos de Andalucía (IARA-CSIC, 1998) y se determinaron los dos tipos de suelos predominantes: Regosol éútrico (RE) y Cambisol éútrico (CE) (FAO-UNESCO, 1988). Las parcelas de olivar ecológico se clasificaron según las prácticas de manejo de suelo utilizadas de forma continuada durante al menos los últimos cinco años. En cada tipo de suelo (RE y CE) se seleccionaron: cinco parcelas con cubierta vegetal manejada con Laboreo (L), con sólo un pase de labor al año, y ocho parcelas con cubierta vegetal controlada mediante Ganado ovino, cinco parcelas con carga ganadera entre 1 y 1.5 ovejías ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, (G), y tres parcelas con mayor carga ganadera (4-4.5 ovejías ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) o ganado intensivo, (GI). En cada tipo de suelo se seleccionaron también tres zonas con vegetación natural (VN) típica del bosque mediterráneo y con suelo sin alterar. En total se muestrearon treinta y dos parcelas.



**Fig. 1.** Localización de la zona del estudio y vista de un paisaje típico (olivar con zonas de vegetación natural).

Se entrevistó a cada uno de los propietarios de las parcelas seleccionadas, para obtener información complementaria de la explotación (manejos del suelo, poda, fertilización, carga ganadera, producción, etc.). En cada parcela se seleccionó una zona representativa donde se realizaron las medidas en campo y el muestreo del suelo, siempre a mitad de la ladera y en la calle del olivar. En cada zona se midió la pendiente de la ladera, la densidad de plantación y el volumen de copa de los olivos. El porcentaje de suelo cubierto por vegetación adventicia y piedras se midió mediante el método visual de Herweg (1996), en ocho puntos (0.5 m x 0.5 m) al azar. La densidad aparente del suelo se midió a dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm), con un toma muestras de volumen conocido, y en ocho puntos al azar para cada profundidad. En las parcelas de laboreo la densidad aparente en profundidad se midió por debajo de la zona labrada, a partir de 10-15 cm de profundidad. La estructura del suelo se determinó visualmente para las dos profundidades de muestreo. La velocidad de infiltración del agua en el suelo se midió usando un anillo (21.5 cm de diámetro) con carga constante de agua (cinco repeticiones) durante 1.8 h. La conductividad hidráulica saturada ( $\ln K_s$ ) se determinó a partir del ensayo de infiltración utilizando el modelo de Wu et al. (1999). Para los análisis de laboratorio se recogieron cinco muestras de suelo al azar, para cada intervalo de profundidad.

En el laboratorio, las muestras se mezclaron para obtener una única muestra compuesta de suelo, para cada parcela y profundidad, se secaron y se tamizaron, a través de un tamiz de 2-mm, para su posterior análisis. La distribución del tamaño de partículas se midió con el método del hidrómetro (Bouyucos, 1962), y se determinó la textura según la clasificación del USDA. La arena gruesa (tamaño de partícula: 2.0-0.1mm) y fina (0.1-0.05mm) fueron separadas de forma manual mediante tamizado en húmedo. La estabilidad en agua de los agregados del suelo se midió siguiendo el protocolo de Barthes y Roose (2002), diferenciando entre micro, meso y macroagregados. La erodibilidad del suelo (Kerod) se calculó según Renard et al. (1997). El pH se midió en una suspensión 1:2.5 en agua. El carbono (C) orgánico del suelo se determinó por el método de Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1982), y el contenido total de carbono orgánico (C total) en los primeros 20 cm del suelo se calculó a partir del porcentaje de C, la densidad aparente y el volumen de piedras. El nitrógeno (N) orgánico del suelo se determinó por el método Kjeldahl (Stevenson, 1982). El fósforo (P) extractable se determinó por el método Olsen (Olsen y Sommers, 1982) y el potasio (K) intercambiable por el método del acetato amónico (Knudsen et al., 1982). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se midió mediante extracción con acetato amónico (Rhoades, 1982). El contenido volumétrico de agua en el suelo a -33 y -1500 kPa se estimó a partir de la función propuesta por Rawls y Brakensiek (1989), utilizando los resultados obtenidos en cada muestra de suelo para los parámetros requeridos. La capacidad de almacenamiento del suelo de agua disponible (AD) para las plantas se calculó como la diferencia entre el contenido de agua a -33 y -1500 kPa. Las medidas de los

parámetros biológicos del suelo (respiración y crecimiento bacteriano) se realizaron en muestras de suelo recogidas el mismo día (en junio) en todas las parcelas, y sólo en la superficie (0-10 cm de profundidad). Las muestras de suelo se tamizaron a 2-mm y se congelaron a -20°C, en las 24-h siguientes al muestreo. La respiración total del suelo se midió en 100 g de suelo, en la oscuridad y a 20°C, durante 8 días, con el método OxiTop (WTW) (Vähäoja et al., 2005). La población de bacterias heterotróficas cultivables se estimó mediante la inoculación de una suspensión de suelo en placas de agar nutritivo (Laboratorios Disco, Detroit, MI), que se incubó a temperatura ambiente (22-24°C) durante 4 días, para proceder al recuento de las colonias bacterianas formadas (unidades formadoras de colonias, ufc). Para el análisis de los datos se realizó la transformación a  $\log(\text{ufc g}^{-1}\text{suelo})$ , para obtener una distribución normal.

La evaluación del riesgo de erosión hídrica se realizó en cada parcela muestreada, utilizando el modelo RUSLE (Renard et al., 1997), de acuerdo a la metodología propuesta por Gómez et al. (2003) para el olivar y los datos de erodibilidad del suelo, pendiente y longitud de la ladera medidos. Los datos relativos al manejo de la cubierta se estimaron según el sistema de manejo realizado, a partir de Gómez et al. (2003) en olivar y Moreira (1991) en las zonas de vegetación natural. Los valores de erosividad de la lluvia se obtuvieron del estudio del ICONA (1988), para la zona del estudio.

### 3.- Resultados

Los olivares estudiados son de baja productividad, algo mayor en las parcelas labradas (1400 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) que en las parcelas con ganado (600 a 800 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), (valores promedio de los años 2003 a 2005). Estas producciones están muy alejadas de la media andaluza en secano (3170 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, el año 2003), (Consejería de Agricultura y Pesca, 2006). Esta baja productividad se atribuye a las limitaciones productivas impuestas por la topografía, con pendientes medias del 47% y máximas de hasta el 70%, con suelos marginales para el cultivo del olivar (Guzman, 2004), muy someros y cultivados en secano. Una baja densidad de plantación y un reducido volumen de copa han posibilitado la adaptación del cultivo a estas condiciones extremas. La cobertura del suelo por la copa de los olivos es reducida, alrededor del 20%, mientras que la cobertura por vegetación adventicia en el momento del muestreo (finales de invierno de 2005) osciló entre el 27% y el 47%. La cobertura de la superficie por piedras fue en torno al 28%. En las zonas naturales la cobertura por vegetación fue mucho mayor, 98% de cobertura media, y estuvo formada por arbustos y árboles característicos del bosque mediterráneo.

Los resultados de las propiedades físicas, químicas y biológicas medidas mostraron que ambos tipos de suelo presentan diferencias, por lo que se evaluaron individualmente.

En el Regosol, (Tabla 1), se observaron texturas francas o

franco-arenosas, baja densidad aparente, en comparación a zonas de pastoreo con suelos de textura similar (Arhonditsis et al., 2000), y elevado contenido de piedras. Esto explica la alta conductividad hidráulica y la baja capacidad de almacenamiento de agua de estos suelos. La estabilidad en agua de los macroagregados del suelo no difería entre manejos aunque las parcelas labradas mostraban los valores más bajos. Las zonas naturales y olivares con ganado presentaron valores dentro del intervalo medio o alto de estabilidad, mientras que las parcelas con laboreo presentaron valores medios, de acuerdo con los valores descritos por Barthes y Roose (2002) en suelos franceses. La erodibilidad del suelo (Kerod) mostró valores medios, de acuerdo con Renard et al. (1997). Los valores de los parámetros físicos medidos no indicaron diferencias entre los distintos sistemas de manejo del suelo, aunque se observó una tendencia, mostrando las zonas naturales los mejores valores y las parcelas labradas los peores.

**Tabla 1:** Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, medidas en los primeros 10 cm, en el Regosol éútrico. <sup>1</sup>Valores seguidos de la misma letra en una misma fila no son significativamente diferentes entre sí, según el test LSD para nivel de probabilidad  $P < 0.05$ .

Regosol éútrico	Olivar ecológico			
	L	GI	G	VN
<b>Parámetros Físicos</b>				
Arcilla (%)	15.0a <sup>1</sup>	10.4a	12.5a	12.6a
Arena (%)	48.5a	46.8a	53.9a	50.8a
Clase textural (USDA)	Franca	Franca	F.aren.	Franca
Densidad aparente (Mg m <sup>3</sup> )	1.07a	1.11a	1.11a	1.09a
Contenido de piedras (% p/p)	31.1a	29.2a	27.6a	21.6a
LnKs (mm h <sup>-1</sup> )	3.97a	5.14a	4.68a	5.53a
AD (mm <sup>-1</sup> )	0.128a	0.131a	0.129a	0.173a
Microagregados (g kg <sup>-1</sup> )	0.198a	0.086a	0.122a	0.066a
Macroagregados (g kg <sup>-1</sup> )	293a	371a	411a	395a
Kerod (t ha h (ha MJ mm <sup>-1</sup> ))	0.036a	0.039a	0.031a	0.031a
<b>Parámetros Químicos</b>				
pH (H <sub>2</sub> O)	6.70a	6.85a	6.92a	6.49a
C org. (%)	1.88a	1.8a	2.21a	2.92a
C total (kg OC m <sup>-2</sup> )	1.36a	1.42a	1.64a	2.49a
N org. (%)	0.138a	0.124a	0.155a	0.186a
C:N	13.5a	14.0a	14.2a	15.9a
P (mg kg <sup>-1</sup> )	4.24a	6.29a	6.88a	5.56a
K (mg kg <sup>-1</sup> )	240a	71a	206a	177a
CIC (mol <sub>e</sub> Kg <sup>-1</sup> )	0.117a	0.252a	0.279a	0.158a
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Respiración del suelo (mg CO <sub>2</sub> l g <sup>-1</sup> )	422a	980a	1095a	922a
Población bacteriana (log cfu g <sup>-1</sup> )	5.09a	4.98a	5.07a	4.96a

El pH fue ligeramente ácido (Tabla 1), en los valores adecuados para la producción agrícola. Los niveles de C orgánico fueron elevados en las parcelas de olivar, comparados con los niveles habituales en suelos agrícolas de secano en Andalucía (en torno al 1%), aunque inferiores a los valores observados en las zonas naturales. El C orgánico total almacenado en los primeros 20 cm del suelo fue mayor, por tanto, en las zonas naturales. La relación C:N estuvo entre los valores normales para suelos agrícolas y forestales (Tisdale et al., 1993; Young y Aldag, 1982). El contenido de fósforo en suelo fue bajo, de acuerdo a los valores recomendados para el olivar (García et al. 2004). El contenido de potasio de los suelos se situó dentro de los niveles medios recomendados para suelos de textura media

(151-235 mg kg<sup>-1</sup>), (García et al., 2004). La CIC presentó valores adecuados, según las recomendaciones de García et al. (2004) para el cultivo del olivar (0.12-0.25 mol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), con las parcelas con ganado presentando los valores más elevados. Los valores de los parámetros químicos medidos tampoco indicaron diferencias entre los distintos manejos del suelo, ni tampoco los parámetros biológicos. La respiración total del suelo, medida en laboratorio, mostró valores medios de actividad del suelo, según los sugeridos por Woods End Research (1997), siendo las parcelas labradas las que presentaron los valores más bajos de respiración total. El crecimiento bacteriano presentó valores medios, en torno a 5 log(ufc g<sup>-1</sup>), sin diferencias entre los distintos sistemas de manejo del suelo.

En Cambisol, (Tabla 2), la textura predominante fue franco-arenosa, con baja densidad aparente y elevado contenido de piedras. La conductividad hidráulica saturada presentó valores medios. Al igual que el Regosol, estos suelos presentaron baja capacidad de almacenamiento de agua, siendo las zonas naturales las que presentaron los valores más elevados de agua disponible, (AD), (0.154 m m<sup>-1</sup>). La estabilidad en agua de los macroagregados del suelo presentó valores en el intervalo medio de estabilidad, sin diferencias entre los distintos manejos del suelo, aunque fueron de nuevo las parcelas labradas las que presentaron los valores más bajos. La erodibilidad del suelo presentó, como en el Regosol, valores medios, con las zonas naturales mostrando valores de erodibilidad menores que las parcelas de olivar.

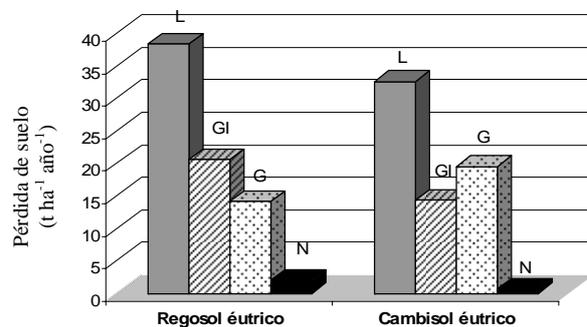
**Tabla 2:** Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, medidas en los primeros 10 cm, en el Cambisol éútrico. <sup>1</sup>Valores seguidos de la misma letra en una misma fila no son significativamente diferentes entre sí, según el test LSD para nivel de probabilidad P<0,05.

Cambisol éútrico	Olivar ecológico			
	L	GI	G	VN
<b>Parámetros Físicos</b>				
Arcilla (%)	10.3a <sup>1</sup>	11.5a	12.4a	10.4a
Arena (%)	55.3a	52.8a	56.5a	57.7a
Clase textural (USDA)	F.aren.	Franca	F.aren.	F.aren.
Densidad aparente (Mg m <sup>3</sup> )	1.10a	1.08a	1.19a	1.21a
Contenido de piedras (%. p/p)	32.7a	31.1a	31.1a	37.8a
lnKs (mm h <sup>-1</sup> )	2.55a	2.49a	2.27a	3.93a
AD (mm <sup>-1</sup> )	0.119a	0.139a	0.114a	0.154a
Microagregados (g kg <sup>-1</sup> )	0.146a	0.117a	0.182a	0.164a
Macroagregados (g kg <sup>-1</sup> )	298a	337a	317a	465a
Kerod (t ha h (ha MJ mm) <sup>-1</sup> )	0.029ab	0.028ab	0.030a	0.015b
<b>Parámetros Químicos</b>				
pH (H <sub>2</sub> O)	6.63a	6.57a	6.62a	6.03b
C org. (%)	1.83b	2.4ab	1.65b	3.98a
C total (kg OC m <sup>-2</sup> )	1.37b	1.72ab	1.32b	2.82a
N org. (%)	0.147a	0.198a	0.108a	0.244a
C:N	12.3a	12.8a	16.1a	16.0a
P (mg kg <sup>-1</sup> )	5.87a	18.34a	5.12a	6.75a
K (mg kg <sup>-1</sup> )	169a	182a	189a	178a
CIC (mol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	0.106a	0.129a	0.178a	0.160a
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Respiración del suelo (mg CO <sub>2</sub> lg <sup>-1</sup> )	1059a	1824a	1878a	2029a
Población bacteriana (log cfu g <sup>-1</sup> )	5.75a	5.34a	5.36a	5.60a

El pH fue también ligeramente ácido (Tabla 2), algo más que en Regosol, pero adecuado para el cultivo. Las parcelas de olivar presentaron elevados contenidos de C (1.7-2.4 %),

aunque inferiores a los observados en las zonas naturales (4.0%). El contenido de N orgánico en el suelo presentó niveles medios para el cultivo del olivar (García et al., 2004) y la relación C:N es mayor en las zonas naturales y las parcelas con ganado por un mayor aporte de residuos vegetales al suelo, aunque sin diferencia entre manejos. El contenido de fósforo fue bajo, de acuerdo a los niveles recomendados para olivar (García et al., 2004). El contenido de potasio presentó niveles medios, según los recomendados por García et al. (2004) para suelos con la misma textura. La CIC presentó valores adecuados, según las recomendaciones de García et al. (2004) para el cultivo del olivar (0.12-0.25 mol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). Respecto a los parámetros biológicos medidos, los valores de respiración total fueron altos, superiores a los medidos en Regosol, con las parcelas labradas presentando de nuevo los valores más bajos. El crecimiento bacteriano presentó valores medios, en torno a 5.5 log(ufc g<sup>-1</sup>), sin diferencias entre los distintos manejos del suelo.

Los resultados obtenidos en la estimación de la pérdida de suelo, usando la RUSLE, mostraron diferencias entre los distintos sistemas de manejo evaluados, en ambos tipos de suelo (Fig. 2), indicando distinto riesgo de erosión del suelo asociado a los distintos sistemas de manejo utilizados en la zona del estudio. Estos valores de pérdida de suelo se asocian no sólo con el manejo de la cubierta, sino también a las diferencias en las pendientes de las laderas y en la erodibilidad del suelo.



**Fig. 2.** Estimación del riesgo de erosión mediante la RUSLE.

Los menores valores de pérdida de suelo se obtuvieron en las zonas naturales (valores medios de 2.1 y 0.7 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, para Regosol y Cambisol respectivamente). Estos valores se explican por la elevada cobertura del suelo, que se refleja en los bajos valores del factor C de la RUSLE, y en la moderada erodibilidad del suelo, mayor en Regosol, que atenúan el riesgo de erosión a pesar de la elevada pendiente. En las parcelas labradas las pérdidas estimadas de suelo oscilaron entre 21 y 68 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, superiores a la tasa de pérdida de suelo tolerable que de acuerdo con la recomendación general de Schertz (1983) estaría entre 7-11 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para los olivares de nuestro estudio. Estas pérdidas, relativamente elevadas, de suelo son el resultado

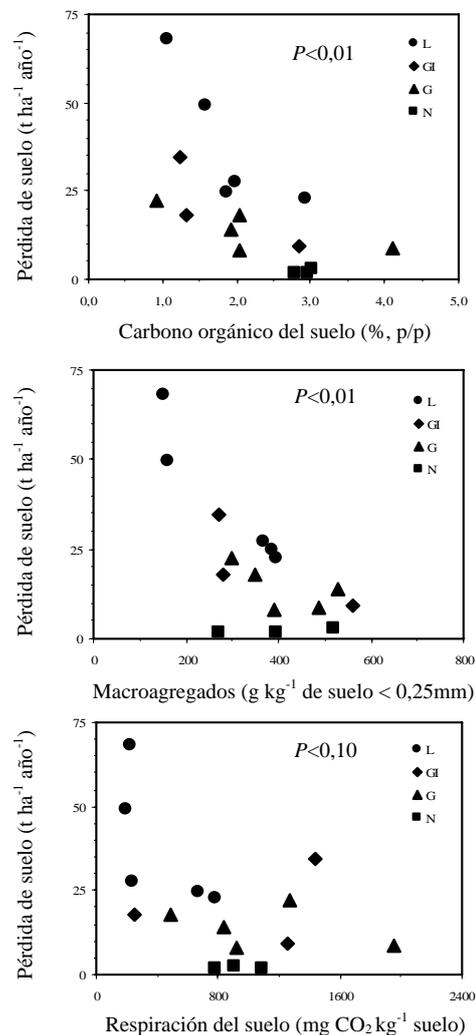
de la combinación de una elevada pendiente y una limitada cobertura del suelo. Los olivares manejados con ganado, donde se permite un mayor desarrollo de la cubierta vegetal herbácea, presentaron estimaciones de pérdida de suelo menores (entre 8 y 35 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), aunque siguen siendo superiores a la pérdida de suelo teóricamente tolerable y a las pérdidas de suelo estimadas para las zonas con vegetación natural.

#### 4.- Discusión

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar el estado de los suelos en olivares ecológicos de Sierra Morena y compararlos con los suelos de las zonas con vegetación natural. Nuestros resultados muestran que, en la mayoría de las parcelas estudiadas, los valores de la mayoría de los parámetros del suelo medidos se encuentran en niveles considerados como aceptables o buenos, respecto al estado del suelo, a pesar de que estas parcelas llevan décadas dedicadas al cultivo del olivar. Los contenidos de los suelos en C y N orgánicos fueron elevados en las parcelas de olivar, sobre todo comparándolos con los habituales en las zonas agrícolas de la región, aunque inferiores a los observados en las zonas naturales. En las parcelas de olivar los mayores contenidos en C y N se observaron en los olivares manejados con ganado. Los niveles de nutrientes son bajos, caso del P, o adecuados, K, en relación a los valores recomendados para el cultivo del olivo, aunque similares a los observados en las zonas naturales. La baja producción de estos olivares (inferiores a 1500 kg aceituna ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en todas las parcelas estudiadas), que significa una reducida extracción de nutrientes del suelo, el elevado reciclado de la materia orgánica, con la incorporación de la poda de los olivos y la vegetación adventicia, y el aporte de abono orgánico o deyecciones del ganado, explican estos resultados en los niveles de nutrientes del suelo, a pesar de una fertilización muy limitada. Algunas propiedades del suelo en las parcelas de olivar, como una textura ligera y una elevada pedregosidad en suelos con muy poca profundidad, limitan de forma importante la producción del olivo en este clima, debido a una baja capacidad del suelo para almacenar agua procedente de la lluvia. Estos suelos se mostraron relativamente resistentes a la degradación, presentando las parcelas de olivar valores de erodibilidad medios. La velocidad de infiltración del agua en el suelo fue media o alta, así como la estabilidad en agua de los macroagregados del suelo. Las zonas de vegetación natural mostraron en estos parámetros niveles mejores que las zonas de olivar, aunque sólo los olivares labrados presentaron claramente menor estabilidad de macroagregados que las zonas naturales. No se observaron diferencias en la actividad biológica del suelo entre los olivares y las zonas naturales, aunque las parcelas de olivar labradas presentaron los valores más bajos de respiración del suelo.

Nuestras estimaciones de pérdida de suelo en la ladera, a partir de RUSLE, mostraron que el laboreo de los olivares aumentó significativamente el riesgo de erosión, en

comparación con el manejo de la cubierta vegetal mediante ganado, que permite el desarrollo de dicha cubierta. El riesgo de erosión, o pérdida de suelo estimada, se relacionó con los valores que presentaron algunas propiedades de suelo, indicadoras del estado de degradación del suelo, a escala de explotación (Fig. 3). La incertidumbre acerca de los valores absolutos de las estimaciones de pérdida de suelo, recomienda cautela con respecto a la interpretación de los resultados. Aunque las pérdidas estimadas de suelo en las zonas de olivar manejadas con ganado son mayores que la pérdida de suelo tolerable, los valores de los parámetros del suelo indican una degradación de los suelos muy moderada. Discrepancias como ésta llaman la atención acerca de la necesidad de realizar estudios experimentales para reducir la incertidumbre sobre la pérdida de suelo real en la agricultura extensiva de montaña, en Andalucía.



**Fig. 3.** Relación entre la pérdida de suelo (t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y algunas propiedades del suelo, Carbono orgánico, Macroagregados estables en agua y Respiración del suelo, medidas en la capa superficial (0-10 cm de profundidad) del suelo, en Regosol éutrico. *P* = nivel de probabilidad para la regresión lineal.

Los olivares estudiados, de baja productividad,

permanecen en explotación gracias a la vocación de los agricultores y a las ayudas económicas de la Política Agraria Comunitaria (Milgroom et al., 2007; Gómez et al., 2007). Nuestros resultados sugieren la necesidad de mantener dicho apoyo económico, pero dirigiéndolo a un sistema de manejo del suelo basado en el mantenimiento de la cubierta vegetal, ésta podría ser una alternativa viable que permitiría mantener un equilibrio entre la actividad agrícola (con sus implicaciones sociales y económicas en zonas de montaña con riesgo de despoblación) y la conservación de los recursos naturales. No obstante, la extensión del uso de cubiertas vegetales conlleva asociado una serie de interrogantes que deben ser abordadas, entre las que destaca el riesgo de pérdida de producción y el manejo de la cubierta en zonas de mucha pendiente cuando no sea posible usar ganado.

## 5.- Conclusión

Las propiedades de suelo medidas en olivares ecológicos de Sierra Morena presentaron niveles buenos o moderados, a pesar de llevar décadas en producción. La compactación del suelo, velocidad de infiltración del agua, estabilidad de los agregados en agua, contenidos de C y N orgánico, relación C:N y CIC, apenas presentaron diferencias con respecto a las zonas naturales. Los nutrientes del suelo se encuentran en niveles bajos (P) o aceptables (N, K) para el cultivo del olivar. Los olivares labrados presentaron mayor riesgo de erosión que se correlacionó con una tendencia a peores valores de algunas propiedades de suelo, como carbono orgánico o estabilidad de macroagregados en agua. Este nivel relativamente moderado de degradación del suelo puede ser explicado por la baja intensidad del cultivo del olivar y el elevado retorno de materia orgánica al suelo. A pesar de algunas diferencias según el tipo de suelo, no se observaron diferencias en los parámetros medidos del suelo entre sistemas de manejo, aunque se observó una transición desde las zonas naturales, que tienden a presentar los mejores valores, a olivares manejados con ganado y a olivares labrados, que presentaron los peores. Nuestros resultados sugieren que el cultivo del olivar con cubierta vegetal podría ser una opción viable para garantizar la actividad agrícola sin una degradación significativa del suelo. La baja producción y los costes de dicho manejo deberían ser compensados con unos incentivos que necesitaría de una evaluación más precisa de los niveles de erosión y degradación del suelo a través de un programa de monitorización. Los resultados presentados en este trabajo podrían contribuir técnicamente a dicha iniciativa.

**Agradecimientos** Este estudio ha sido posible gracias al apoyo de la Junta de Andalucía a través del proyecto C03-058, a los técnicos del CAAE y a todos los agricultores que han colaborado.

## Bibliografía

- Arhonditsis, G., Giourga, C. y Loumou, A. 2000. Ecological patterns and comparative nutrient dynamics of natural and agricultural Mediterranean-Type ecosystems. *Environ Manage* **26**, 527-537.
- Barthes, B. y Roose, E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several levels. *Catena* **47**, 133-149.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method used for making particle size analyses of soils. *Agron J* **54**, 464-465.
- Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. 2006. *Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras de Andalucía. 2003. 2002. 2001. 2000*. Servicio de Publicaciones y Divulgación. Sevilla. España. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/opencms/porta1/DGPAgraria/Estadisticas/estadisticasagrarias?entrada=servicios&servicio=201>; último acceso 22/12/2006.
- FAO-UNESCO. 1988. Soil Map of the World. Revised Legend. *World Soil Resources Report 60*. Rome. Italy.
- García, F., Ruíz, F., Cano, J., Pérez, J. y Molina, J. 2004. *Suelo, riego, nutrición y medio ambiente del olivar*. Servicio de Publicaciones y Divulgación. Consejería de Agricultura y Pesca-JA. Sevilla. España.
- Gómez, J.A., Amato, M., Celano, G. y Koubouris, G. 2007. Organic olive orchard on sloping land: more than a specialty niche? *J Environ Manage* (En prensa)
- Gómez, J.A., Battany, M., Renschler, C.S. y Fereres, E. 2003. Evaluating the impact of soil management on soil loss in olive orchards. *Soil Use Manage* **19**, 127-134.
- Guzmán, J.R., 2004. *Geografía de los paisajes del olivar andaluz*. Serie Olivicultura y Elaiotecnía. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla. España.
- Herweg, K. 1996. *A field manual for assessment of current erosion damage*. Soil Conservation Research Programme, Ethiopia, and Centre for Development and Environment. University of Berne. Switzerland.
- IARA-CSIC. 1998. *Mapa de suelos de Andalucía. (1:400.000)*. (eds J.L. Mudarra, E. Barahona, C. Baños, A. Iriarte y F. Santos). Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla. España.
- ICONA (Instituto para la conservación de la naturaleza). 1988. *Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor r de la ecuación universal de pérdidas de suelo*. Mapa, Madrid.
- Karlen, D.L., Andrews, S.S. y Doran, J.W. 2001. Soil quality: current concepts and applications. *Adv Agron* **74**, 1-40.
- Knudsen, D., Peterson, G.A. y Pratt, P.F. 1982. Lithium, Sodium, and Potassium. En: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (eds. A.L. Page, R.H. Miller y D. Keeney). Agronomy Monograph nº 9. ASA & SSSA. Madison WI. pp. 403-430.
- Milgroom, J., Soriano, M.A., Garrido, J.M., Gómez, J.A. y Fereres, E. 2007. The influence of the shift from conventional to organic olive farming on soil management and erosion risk in Southern Spain. *Renew Agr Food Syst* **22**, 1-10.
- Moreira, J. 1991. *Capacidad de uso y erosión de suelos: una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía*. Agencia de medio ambiente. Sevilla. España.
- Nelson, D.W. y Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. (eds. A.L. Page, R.H. Miller y D.R. Keeney). Agronomy Monograph nº 9. ASA & SSSA, Madison WI. pp. 539-579.
- Olsen, S.R. y Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. En: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (eds. A.L. Page, R.H. Miller y D.R. Keeney). Agronomy Monograph nº 9. ASA & SSSA. Madison WI. pp. 403-430.
- Rawls, W.J. y Brakensiek, D.L. 1989. Estimation of soil water retention and hydraulic properties. En: *Unsaturated flow in hydrology: theory and practice* (ed. H.J. Morel-Seytoux). Kluwer Academic Publishers. Dordrechts. pp. 275-300.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. y Yoder, D.C. 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. US Departamento de Agricultura. Washington DC.
- Rhoades, J.D. 1982. Cation exchange capacity. En: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (eds. A.L. Page, R.H. Miller y D.R. Keeney). ASA & SSSA. Madison WI. pp.

149-157.

Schertz, D.L. 1983. The basis for soil loss tolerances. *J Soil Water Conserv* **38**, 10-14.

Sojka, R.E., Upchurch, D.R. y Borlaug, N.E. 2003. Quality soil management or soil quality management: performance versus semantics. *Adv Agron* **79**, 1-68.

Stevenson F.J. 1982. Nitrogen-Organic Forms. En: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (eds. A.L. Page, R.H. Miller y D.R. Keeney). ASA & SSSA. Madison WI. pp. 625-641.

Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. y Havlin, J.L. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*. Macmillan Publishing Company. New York. NY.

Troeh, F.R. y Thompson, L.M. 1993. *Soils and soil fertility*. Oxford University Press. New York. NY.

Vähöja, P., Roppola, K., Välimäki, I., y Kuokkanen, T. 2005. Studies of biodegradability of certain oils in forest soil as determined by the respirometric BOD OxiTop method. *Int J Environ An Ch* **85**, 1065-1073.

Woods End Research. 1997. *Guide to Solvita testing and managing your soil*. Woods End Research Laboratory Inc., Mt. Vernon ME.

Wu, L., Pan, L., Mitchell, J. y Sanden, B. 1999. Measuring saturated hydraulic conductivity using a generalized solution for single ring infiltrometers. *Soil Sci Soc Am J* **63**, 788-792.

Young, J.L. y Aldag, R.W. 1982. Inorganic forms of nitrogen in soil. En: *Nitrogen in Agricultural Soils* (ed. F.J. Stevenson). Agronomy Monograph nº 22. ASA-CSSA-SSSA. Madison WI. pp. 43-66.

