

LA EROSIÓN DEL SUELO Y LA NORMATIVA AMBIENTAL DE LA POLÍTICA AGRARIA EUROPEA EN CULTIVOS DE OLIVAR (*Olea europaea*) DEL SUR DE ESPAÑA

SOIL EROSION AND ENVIRONMENTAL REGULATIONS IN THE EUROPEAN AGRARIAN POLICY FOR OLIVE GROVES (*Olea europaea*) OF SOUTHERN SPAIN

F. Javier Lima-Cueto, Rafael Blanco-Sepúlveda, M. Luisa Gómez-Moreno

Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, Facultad de Filosofía y Letras, Campus universitario de Teatinos, s/n, 29071, Málaga, España. (fco.lima.geo@gmail.com), (rblanco@uma.es), (geolugom@uma.es).

RESUMEN

La erosión hídrica del suelo es uno de los principales problemas ambientales de la agricultura de montaña mediterránea. La política agraria común de la UE pretende favorecer la conservación del suelo a través de las normas de condicionalidad, que deben establecer las buenas condiciones agrarias y medioambientales de la tierra (BCAM) adaptadas al medio en el que se aplican. El objetivo de este estudio fue valorar la capacidad potencial de establecer BCAM adaptadas a cultivos de olivar (*Olea europaea*) en áreas de montaña, en el sur de España, mediante un método de análisis de la erosión del suelo que utiliza indicadores visuales. La hipótesis fue que el método de análisis se adaptaba a las condiciones de la zona de estudio y a los propósitos de establecer BCAM. El estudio se realizó en 36 parcelas de 15 fincas de olivar con las mismas características edáficas y en sistemas de cultivo ecológico y convencional y laboreo y no laboreo del suelo. El sistema de cultivo ecológico sin labor fue el más efectivo para reducir la erosión, con 23.19 % de superficie afectada y contrastó con los sistemas productivos convencional y ecológico con labor, con tasas superiores a 80 %. El laboreo o su ausencia y la cubierta vegetal fueron los factores de erodabilidad estadísticamente más significativos, con bondad de ajuste de 0.90 en la ecuación de regresión, a partir de los cuales se establecieron BCAM adaptadas al área de estudio.

Palabras clave: condicionalidad, erosión hídrica, olivar, laboreo, cobertura vegetal.

ABSTRACT

Soil erosion by water is one of the main environmental problems of mountainous Mediterranean agriculture. The Common Agricultural Policy in the EU attempts to favor soil conservation through regulations of cross-compliance, which should establish good agrarian and environmental conditions of land (GAEC) adapted to the environment where they are applied. The objective of this study was to assess the potential capacity to establish GAEC adapted to olive groves (*Olea europaea*) in mountainous areas, in southern Spain, through a method of soil erosion analysis that uses visual indicators. The hypothesis was that the analysis method did adapt to the conditions of the study zone and to the objectives of establishing GAEC. The study was carried out in 36 plots of 15 olive plantations with the same soil characteristics and in systems of ecological and conventional cultivation, with conventional tillage (CT) and no-tillage (NT). The ecological cultivation system with no-tillage was the most effective to reduce erosion, with 23.19 % of the surface affected compared to the conventional and ecological productive systems with tillage, with rates higher than 80 %. Tillage or its absence and the plant coverage were the most statistically significant erodibility factors, with goodness of fit of 0.90 in the regression equation, from which the GAEC adapted to the study area were established.

Key words: cross-compliance, water erosion, olive grove, tillage, plant coverage.

INTRODUCTION

Olive (*Olea europaea*) cultivation is one of the representative crops of the Mediterranean basin, where 93.44 % of the 10.24 million

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: octubre, 2016. Aprobado: agosto, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 52: 293-308. 2018.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de olivar (*Olea europaea*) es uno de los representativos de la cuenca mediterránea, donde se concentra 93.44 % de los 10.24 millones de ha del mundo y destaca España como el principal país productor, con 24.40 % de la superficie mundial (FAO, 2013). Según el Censo Agrario (2009), existen 2.15 millones de ha de olivar en España, de ellas 72.19 % (1.55 millones de ha) están en Andalucía. Esta gran área productora presenta contrastes territoriales por sus condiciones ambientales diferentes.

El proceso de industrialización agraria y de globalización de los mercados producido en las últimas décadas, junto a la función relevante de las ayudas de la Política Agraria Común (De Graaf y Eppink, 1999) y a la apertura de mercados consumidores (Scheidel y Krausmann, 2011) ha favorecido el crecimiento de la superficie cultivada y la intensificación del proceso productivo. El aumento de la superficie se produjo en tierras de montaña, de aptitud reducida y fragilidad ambiental alta. La intensificación productiva consistió, básicamente, en eliminar y controlar sistemáticamente la biomasa natural, labranza excesiva, introducción de agroquímicos, densificación de los marcos de plantación y simplificación varietal (Infante, 2011). Como resultado, en los ecosistemas agrarios más frágiles los procesos erosivos, la degradación física por exceso de laboreo y la biológica por reducción del contenido de materia orgánica del suelo han aumentado (De la Rosa *et al.*, 2005).

El desarrollo sostenible de la agricultura debe hacer compatible la rentabilidad económica con la conservación medioambiental. La reforma de 2003 de la Política Agraria Común (PAC) estableció el sistema de condicionalidad, a través del cual se incorporaron normas básicas en materia de ambiente, cambio climático, buenas condiciones agrarias y medioambientales de la tierra, salud pública, sanidad animal, fitosanidad y bienestar animal (reglamento UE N° 1306/2013). La reforma de 2014 (reglamento Delegado (UE) N° 640/2014 de la Comisión, del 11 de marzo de 2014) es una continuación de las medidas y los instrumentos adoptados con esta finalidad en el reglamento anterior.

Las normas de condicionalidad, con arreglo al artículo 93 (reglamento UE N° 1306/2013), se dividen en: a) Requisitos Legales de Gestión y b) Buenas

ha in the world are concentrated, among which Spain stands out as the principal producing country, with 24.40 % of the global surface (FAO, 2013). According to the Agrarian Census (2009), there are 2.15 million ha of olive groves in Spain, of which 72.19 % (1.55 million ha) are in Andalucía. This great producing area presents territorial contrasts because of its different environmental conditions.

The process of agrarian industrialization and globalization of markets produced in recent decades, together with the important function of the backing from the Common Agricultural Policy (CAP) (De Graaf and Eppink, 1999), and the opening of consumer markets (Scheidel and Krausmann, 2011) has favored the growth of the surface cultivated and the intensification of the productive process. The increase in surface was produced in mountainous lands, of reduced aptitude and high environmental fragility. The productive intensification consisted, basically, in eliminating and controlling systematically the natural biomass, excessive tillage, introduction of agrochemicals, densification of plantation schemes and varietal simplification (Infante, 2011). As a result, erosion processes, physical degradation from excess tillage, and biological degradation from the reduction of organic matter content in the soil have increased in the most fragile agrarian ecosystems (De la Rosa *et al.*, 2005).

Sustainable development of agriculture should make economic profitability compatible with environmental conservation. The 2003 reform of the Common Agricultural Policy (CAP) established a cross-compliance system, through which basic norms are incorporated in matters of environment, climate change, good agrarian and environmental conditions of the land, public health, animal health, plant health, and animal welfare (EU regulation No. 1306/2013). The 2014 reform (Delegate regulations (EU) No. 640/2014 of the Commission, from March 11th, 2014) is a continuation of the measurements and instruments adopted with this aim in the prior regulations.

The rules of cross-compliance, with mending to article 93 (EU regulations No. 1306/2013), are divided into: a) Statutory management requirements and b) Standards for good agricultural and environmental condition of land (GAEC). The CAP with these regulations attempt to prevent erosion, conserve organic matter and protect the structure

Condiciones Agrarias y Medioambientales de la tierra (BCAM). La PAC con esta normativa pretende prevenir la erosión, conservar la materia orgánica y proteger la estructura para evitar la compactación. El reglamento establece que las normas de condicionalidad deben estar adaptadas al medio en el que se aplican. Sin embargo, estas acciones no se están realizando. Las administraciones encargadas del control y seguimiento de prevención de la erosión del suelo no cuentan con una metodología que permita establecer BCAM en escala de parcela. El método apropiado de análisis de la erosión hídrica del suelo para esta finalidad debería cuantificar las pérdidas de suelo en la parcela y establecer, al mismo tiempo, los factores de erodabilidad. Estos se podrían utilizar como medidas para definir BCAM adaptadas a las áreas de aplicación, respondiendo de esta manera a una de las exigencias del reglamento de las normas de condicionalidad. Otro de los requisitos del método es la posibilidad de evaluar la erosión con un seguimiento temporal de la situación, lo que facilitaría la labor de las administraciones encargadas del control y seguimiento de la normativa citada.

La erosión en olivar se ha estudiado con métodos diferentes a los que proponemos en este estudio. Los métodos directos miden la erosión en campo a partir de procedimientos experimentales. De la Rosa *et al.* (2005) y Gómez *et al.* (2009) evaluaron la erosión a partir de microparcels y colectores de sedimentos. La precisión de estos métodos es indudable, pero podría no responder a los propósitos de ciertas investigaciones (Stroosnijder, 2005). Medir la erosión a partir de colectores en las parcelas de estudio tiene coste elevado en equipamiento y personal, lo que suele reducir el período y el área de análisis (Blanco y Aguilar, 2015). Estas circunstancias repercuten en la representatividad de los resultados (Hudson, 1993). Otros estudios han utilizado métodos que permitieron analizar la erosión histórica en cultivos de olivar. Mabita *et al.* (2012) analizó la erosión con técnicas de radiometría utilizando Cesio-137 y Kraushaar *et al.* (2014) a partir de mediciones topográficas de precisión con teodolitos. Ambos métodos permiten evaluar la erosión a largo plazo, pero no parecen apropiados para realizar un seguimiento temporal inmediato. El Cesio-137 es un isótopo radiactivo que tiene un período de semidesintegración de unos 30 años, lo que impide hacer seguimientos en escala temporal menor. El método de las mediciones topográficas con

to avoid compaction. The regulations establish that the rules of cross-compliance must be adapted to the environment where they are applied; however, these actions are not being performed. The administrations in charge of controlling and monitoring soil erosion prevention do not have a methodology that allows establishing GAEC in the scale of a plot. The appropriate analysis method for soil water erosion for this purpose should quantify the loss of soil in the plot and establish, at the same time, the erodibility factors. They could be used as measurements to define GAEC adapted to the areas of application, thus responding to one demand of the regulations of cross-compliance rules. Another requirement of the method is the possibility to evaluate erosion with temporary monitoring of the situation, which would ease the work of the administrations in charge of controlling and monitoring said regulations.

Erosion in olive groves were studied with methods different from those propose in our study. The direct methods measure erosion in the field based on experimental procedures. De la Rosa *et al.* (2005) and Gómez *et al.* (2009) evaluated erosion from microplots and sediment collectors. The precision of these methods is unquestionable, but it could not respond to the purposes of some studies (Stroosnijder, 2005). Measuring erosion from collectors in the study plots has a high cost in equipment and staff, which tends to reduce the period and area of analysis (Blanco and Aguilar, 2015). These circumstances have an effect on the representation of the results (Hudson, 1993). Other studies used methods that allow analyzing historical erosion in olive crops. Mabita *et al.* (2012) analyzed the erosion with radiometry techniques with Cesium-137 and Kraushaar *et al.* (2014) used topographic precision measurements with theodolites. Both methods allow evaluating erosion in the long term, but do not seem appropriate to carry out an immediate temporary monitoring. Cesium-137 is a radioactive isotope that has a semi-disintegration period of about 30 years, which hinders monitoring in a shorter temporal scale. The method of topographic measurements with theodolite is scarcely convenient because the topographic variations caused by plowing are confused with those caused by the erosion itself.

Indirect analysis methods estimate erosion through models. The most used model is the USLE/RUSLE model (Universal Soil Loss Equation/Revised

teodolito es poco conveniente porque las variaciones topográficas causadas por el arado se confunden con las causadas por la propia erosión.

Los métodos indirectos de análisis estiman la erosión mediante modelos. El más utilizado es el modelo USLE/RUSLE (Universal Soil Loss Equation/Revised Universal Soil Loss Equation), y Vanwalleghem *et al.* (2011) lo utilizó para cuantificar los efectos de la erosión histórica en cultivos de olivar del sur de España. Otros modelos basados en el anterior han mejorado las estimaciones en condiciones ambientales particulares; es el caso de “Analytical Network Process” (ANP) de Nekhay *et al.* (2009) y adaptado a zonas montañosas de clima mediterráneo. Estos modelos estiman la pérdida anual de suelo mediante formulaciones empíricas (González, 1991), en contraste con nuestro estudio en el que proponemos la evaluación experimental, no empírica, de la erosión y la posibilidad de hacer el seguimiento temporal de la situación. Para ello hay otros métodos de estudio que valoran cualitativamente la erosión del suelo con indicadores visuales, y se basan en la valoración del estado erosivo del suelo mediante la presencia o ausencia de indicadores, su número y tamaño (Mutekanga *et al.*, 2010). Nuestro grupo de investigación ha mejorado los métodos anteriores al incorporar procedimientos de muestreo que permiten analizar cuantitativamente el estado erosivo del suelo, mediante los mismos indicadores visuales (Blanco *et al.*, 2014; Blanco y Aguilar, 2015, 2016). El método es de coste bajo, sencillo y rápido de aplicar, lo que permite muestrear en un número elevado de casos y disponer de más datos que aumentan la fiabilidad y representatividad; además, permite evaluar el estado erosivo y la posibilidad de hacer su seguimiento temporal. Estas cualidades son necesarias para alcanzar el objetivo del presente estudio, respecto a los otros métodos.

El objetivo de nuestro estudio fue valorar si el método de campo de análisis de la erosión hídrica del suelo que hemos desarrollado y aplicado en otros contextos geográficos (Blanco y Aguilar, 2015, 2016) es apropiado para valorar la capacidad potencial de establecer BCAM adaptadas a cultivos de olivar (*Olea europaea*) en áreas de montaña. La hipótesis fue que el método de análisis de la erosión se adapta a las condiciones de cultivos de olivar de montaña de zonas mediterráneas y a las BCAM del caso de estudio.

Universal Soil Loss Equation), and Vanwalleghem *et al.* (2011) used it to quantify the effects of historical erosion in olive crops in southern Spain. Other models based on it have improved the estimations in specific environmental conditions; it is the case of the “Analytical Network Process” (ANP) by Nekhay *et al.* (2009) and adapted to mountainous zones of Mediterranean climate. These models estimate the annual soil loss through empirical formulations (González, 1991), in contrast with our study where we propose the experimental, non-empirical, evaluation of erosion and the possibility of performing temporary monitoring of the situation. For this purpose, there are study methods that assess soil erosion qualitatively with visual indicators, and are based on the assessment of the erosion status of the soil through the presence or absence of indicators, their number and size (Mutekanga *et al.*, 2010). Our research group improved the previous methods by incorporating sampling procedures that allow analyzing quantitatively the erosion status of the soil, through the same visual indicators (Blanco *et al.*, 2014; Blanco and Aguilar, 2015, 2016). The method is low cost, simple and fast to apply, which allows sampling in a high number of cases and having more data available that increase the reliability and representation; besides, it allows evaluating the erosion status and the possibility of making the monitoring temporary. These qualities are necessary to reach the objective of our study, compared to other methods.

The objective of our study was to assess whether the field method for soil water erosion analysis of the soil that we developed and applied in other geographic contexts (Blanco and Aguilar, 2015, 2016) is appropriate to evaluate the potential capacity to establish GAEC adapted to olive crops in mountainous areas. The hypothesis was that the erosion analysis method adapts to the conditions of mountainous olive crops in Mediterranean zones and to the GAEC of the study case.

MATERIALS AND METHODS

Geographic location and data of the study area

The study zone covered four municipalities in the center-west of the province of Málaga (Figure 1).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica y datos del área de estudio

La zona de estudio abarcó cuatro municipios del centro-oeste de la provincia de Málaga (Figura 1).

El área está en las Unidades Intermedias de los sistemas Béticos, en el Flysch de Teba-bajo Guadalhorce. Según Gómez (1987) esta unidad está compuesta por conglomerados, margas, arcillas, areniscas, calizas con *Microcodium* y *silex* del mioceno inferior. Para el estudio se seleccionaron las áreas con aptitud olivícola mayor, localizadas en los relieves arcillo-margosos del flysch, de morfología suave y pendiente media (25 %) y con máximas puntuales que pueden alcanzar 40 %.

El clima es mediterráneo templado con temperatura media anual de 18.4 °C y precipitación anual de 636 mm, con un período de déficit hídrico de abril a septiembre. Los suelos se han clasificado como cambisoles y regosoles calcáricos, bastante homogéneos, textura arcillosa o arcillo-limosa, contenido de C orgánico entre 1 y 1.5 % en los horizontes superficiales, capacidad de intercambio catiónico frecuentemente menor a 25 cmol kg⁻¹ y saturación de iones de calcio por su naturaleza litológica (LUCDEME, 1994, 1995, 1996).

El olivar de aceituna para mesa es el cultivo principal del área de estudio, con 53.2 % (3768 ha) de la superficie total labrada.

The area is in the Intermediate Units of the Baetica systems, in the Flysch of the low Teba zone of the Guadalhorce River. According to Gómez (1987) this unit is composed by conglomerates, loams, clays, sands, limestones with *Microcodium* and *silex* from the Early Miocene. For the study, the areas with greatest olive cultivation aptitude were selected, located on the clay-loam relief of the flysch, of soft morphology and medium slope (25 %) and with punctual maximums that can reach 40 %.

The climate is temperate Mediterranean with mean annual temperature of 18.4 °C and annual precipitation of 636 mm, with a water deficit period from April to September. The soils are classified as cambisols and calcaric regosols, rather homogeneous, clay or silty clay texture, content of organic C between 1 and 1.5 % in the superficial horizons, capacity of cationic exchange frequently lower than 25 cmol kg⁻¹, and saturation of calcium ions from its lithological nature (LUCDEME, 1994, 1995, 1996).

The olive grove for table olives is the main crop in the study area, with 53.2 % (3768 ha) of the total surface farmed. The management is with conventional cultivation systems primarily, and ecological. As part of the study, soil management was analyzed as well as the biomass that grows under the olive trees in both systems.

In the ecological cultivation system, actions were carried out to control the growth of the biomass and to give superficial

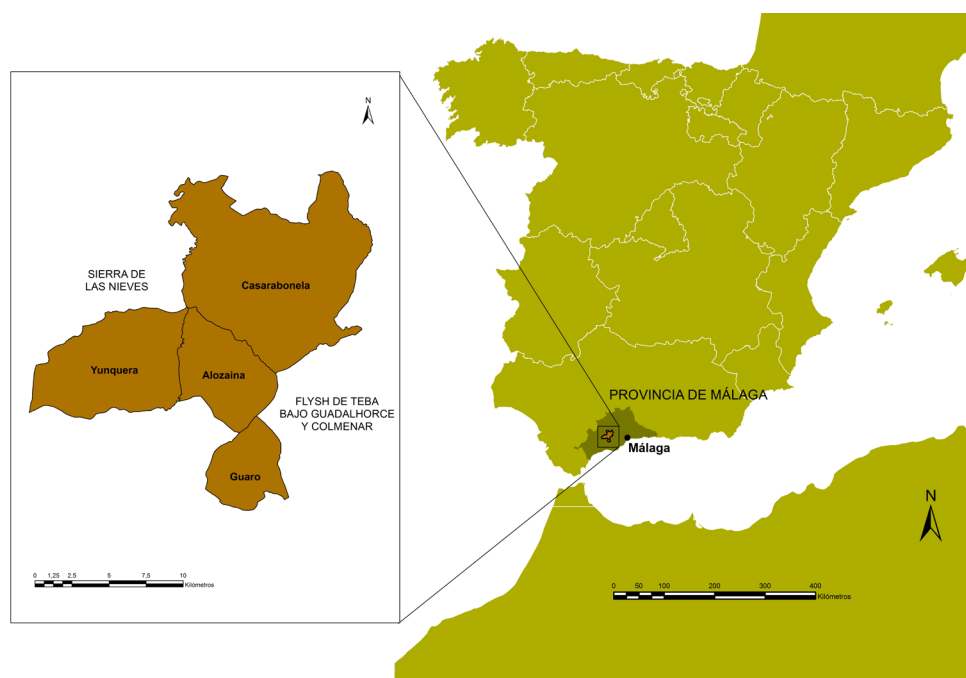


Figura 1. Localización del área de estudio de acuerdo con JJAA (2005).

Figure 1. Location of the study area according to JJAA (2005).

El manejo es con sistemas de cultivo convencional principalmente y ecológico. Como parte del estudio se analizó el manejo del suelo y la biomasa que crece bajo el olivar en ambos sistemas.

En el sistema de cultivo ecológico se realizan acciones para controlar el crecimiento de la biomasa y tratamiento superficial del suelo (Figura 2): 1) desbroces mecánicos o “a diente” mediante la introducción de ganado; 2) laboreo poco profundo (< 15 cm), como los desbroces, el laboreo depende de las precipitaciones y la densidad de la cubierta vegetal, por lo general, se realiza una o dos labores superficiales (< 15 cm), reguladas con tractor y se utiliza el cultivador de brazos flexibles semisuspendido; y (3) laboreo superficial con rastras de púas o rulos apisonadores para eliminar las grietas de retracción, adecuar el terreno para la recolección y evitar el crecimiento de nuevas cubiertas. En unos casos, las explotaciones ecológicas tratan la cubierta vegetal con laboreo superficial y desbroce, o sólo con alguno de los dos; lo que ha permitido el manejo del sistema productivo ecológico con laboreo y sin él.

El sistema de cultivo de olivar convencional controla la biomasa agresivamente con la profundidad de arado. Las plantas adventicias se controlan mediante laboreos, con el mismo apero que en el sistema ecológico, sin controlar la profundidad, por lo que la labor es más profunda (15 a 20 cm). Dos o tres labores se realizan tras la recolección y se prolongan hasta junio (Figura 3). Los rastreos o ruleos mantienen las mismas características que en el sistema ecológico.

Los herbicidas se emplean sólo en años lluviosos, cuando el crecimiento mayor de las plantas adventicias dificultaba las labores con maquinaria, principalmente en las parcelas con pendiente mayor. Este manejo disminuye el aporte de materia orgánica.

Método de estudio de la erosión hídrica del suelo

El método utilizado (Blanco y Aguilar, 2015 y 2016), cuantifica la erosión en la parcela con análisis doble: 1) análisis del

treatment to the soil (Figure 2): 1) mechanical weeding or by grazing through livestock introduction; 2) shallow tillage (< 15 cm), such as weeding, the tillage depends on the precipitations and density of the plant cover, generally one or two superficial tasks are carried out (< 15 cm), regulated with a tractor and using the cultivator of semi-suspended flexible arms; and 3) superficial tillage with dredges or bulldoze rollers to eliminate the retraction cracks, to adapt the terrain for the collection and to avoid the growth of new covers. In some cases, ecological farms treat plant cover with superficial tillage and weeding, or only with one of the two, which has allowed the management of the ecological productive system with tillage and without it.

Conventional olive grove cultivation controls the biomass aggressively with the depth of plowing. Adventitious plants are controlled through tillage, with the same tool than in the ecological system, without controlling depth, which is why the tillage is deeper (15 to 20 cm). Two or three tills are carried out after the collection and prolonged until June (Figure 3). The tillage with rollers has the same characteristics than in the ecological system.

The herbicides are used only in rainy years, when the higher growth of adventitious plants made tillage with machinery difficult, primarily in plots with greater slope. This management decreases the contribution of organic matter.

Study method of soil erosion by water

The method used (Blanco and Aguilar, 2015 and 2016), quantified the erosion in the plot with a double analysis: 1) analysis of the erosion status of the soil (percentage of the surface affected by erosion), and 2) quantitative analysis of the soil losses (volume of the soil lost in $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). The method of soil erosion analysis in rills and gullies through Hudson (1993) volumetric measurements examines, through visual indicators, the types of erosion (splash, sheet, rills and gullies) and the

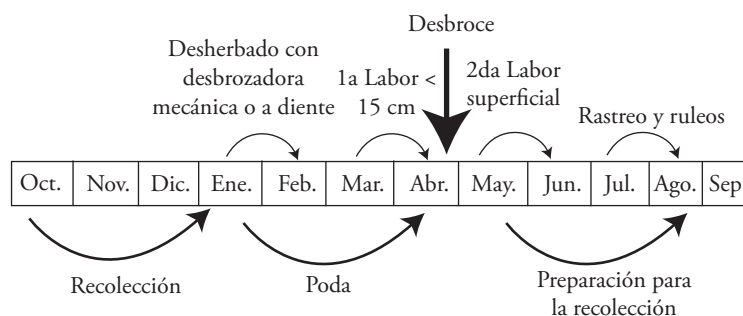


Figura 2. Temporalidad en el manejo de las explotaciones ecológicas.
Figure 2. Temporality in the management of ecological farms.

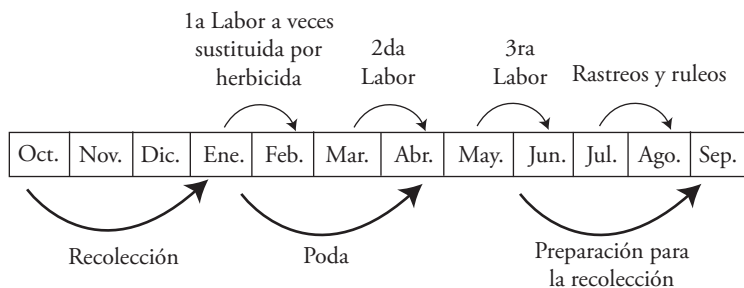


Figura 3. Temporalidad en el manejo de las explotaciones convencionales.

Figure 3. Temporality in the management of conventional farms.

estado erosivo del suelo (porcentaje de superficie afectada por erosión), y 2) análisis cuantitativo de las pérdidas de suelo (volumen de suelo perdido en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). El método de análisis de la erosión del suelo en surcos y cárcavas por mediciones volumétricas de Hudson (1993) examina, a través de indicadores visuales, los tipos de erosión (salpicadura, laminar, surcos y cárcavas) y los procesos que hayan afectado al suelo (alteración mecánica del suelo por herramienta y por pisoteo, deposiciones de sedimentos), los codifica mediante un índice, que indica el tipo de proceso, y un subíndice, que proporciona información complementaria (susceptibilidad a la erosión, tipo de erosión, tipo de cubierta vegetal protectora, entre otros) (Blanco y Aguilar, 2015).

Muestreo y análisis estadístico

El muestreo se realizó en 36 parcelas de 15 fincas, donde las características litológicas y edáficas se mantuvieron homogéneas para reducir la variabilidad de condiciones ambientales de partida. La influencia de los siguientes factores en la erosión se analizó: sistema de cultivo y manejo del suelo (laboreo/no laboreo), pendiente de ladera, cobertura vegetal a la altura de árbol y superficial en el suelo y altura mínima de la cobertura de olivar. La muestra se dividió en tres grupos con 12 parcelas por su pendiente (< 20, 20 a 30 y 30 a 40 %). Cada grupo de pendiente se subdividió en 3 parcelas por el sistema de cultivo (convencional, ecológico con labor y ecológico sin labor). La pendiente de ladera se midió con un clinómetro manual y la distancia al suelo de la cobertura de árbol se midió con un distanciómetro laser. El tipo de manejo del suelo en cada finca se identificó mediante entrevista con los agricultores.

La erosión del suelo y los factores de erodabilidad se analizaron mediante correlación bivariada (coeficiente de correlación de Pearson, r) (expresión 1), análisis de regresión múltiple (método stepwise) (expresión 2) y ANDEVA mediante Mann-Whitney (expresión 3) y de Kruskal-Wallis (expresión 4). El sistema de

procesos que afectó el suelo (mecánica alteración del suelo a través de herramientas y de pisoteo, deposiciones de sedimentos), que codifica a través de un índice que indica el tipo de proceso, y un subíndice, que proporciona información complementaria (susceptibilidad a la erosión, tipo de erosión, tipo de cubierta vegetal protectora, entre otros) (Blanco y Aguilar, 2015).

Sampling and statistical analysis

The sampling was carried out in 36 plots of 15 farms, where the lithological and soil characteristics were kept homogeneous to reduce the variability of starting point environmental conditions. The influence of the following factors on erosion was analyzed: cultivation system and soil management (conventional tillage/no-tillage), slope gradient, plant coverage at tree height and superficial on the ground, and minimum height of the olive grove coverage. The sample was divided into three groups with 12 plots based on their slope (< 20, 20 to 30 and 30 to 40 %). Each slope group was subdivided into 3 plots based on the cultivation system (conventional, ecological with tillage, and ecological with no-tillage). The slope gradient was measured with a manual inclinometer and the distance from the soil to the tree cover was measured with a laser distance meter. The type of soil management in each farm was identified through an interview with the farmers.

The soil erosion and erodibility factors were analyzed through bivariate correlation (Pearson correlation coefficient, r) (expression 1), multiple regression analysis (stepwise method) (expression 2) and ANDEVA through Mann-Whitney (expression 3) and Kruskal-Wallis (expression 4). The cultivation system is a qualitative and categorical variable of three classes, and was transformed into quantitative through Dummy variables. Thus, it was substituted with two indicating variables, with dichotomous response: presence (1) or absence of tillage (0) and presence of superficial plant coverage (1) or absence (0).

cultivo es una variable cualitativa y categórica de tres clases, se transformó a cuantitativa mediante variables Dummy. Así, se sustituyeron con dos variables indicadoras, con respuesta dicotómica: presencia (1) o ausencia de laboreo (0) y presencia de cobertura vegetal superficial (1) o ausencia (0). El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS, versión 22.0.

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (1)$$

donde: S_{xy} es la covarianza entre las variables x , y , S_x es la desviación estándar de la variable x y S_y es la desviación estándar de la variable y .

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (2)$$

donde: Y es la variable dependiente (erosión), $X_1, X_2, \dots, X_k$ son las variables independientes o explicativas de la erosión, $b_1, b_2, \dots, b_k$ son la magnitud del efecto de las variables independientes y b_0 es el valor constante del modelo.

$$U = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} u(x_i, y_j) \quad (3)$$

donde: las medias de dos muestras independientes (muestra X de tamaño n_1 y muestra Y de tamaño n_2) se comparan. Como hay $n_1 \cdot n_2$ pares (x_i, y_j) , el número esperado de pares (x_i, y_j) tales que $x < y$ será $n_1 \cdot n_2 / 2$. El estadístico U de Mann-Whitney es el número de pares con esta propiedad. Una desviación significativa de U respecto de $n_1 \cdot n_2 / 2$ indica que la homogeneidad de varianzas se rechaza.

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1) \quad (4)$$

donde: las medias de k muestras independientes de tamaños $n_1, n_2, \dots, n_k$ se comparan, las n observaciones se ordenan y se asignan intervalos desde 1 hasta n al conjunto; R_i es la suma de los intervalos asignados a las n_i observaciones de la muestra k .

Si las varianzas de las muestras son homogéneas se espera que el rango promedio sea aproximadamente igual para las k muestras, pero cuando esos promedios son diferentes la homogeneidad de varianzas se rechaza.

The statistical analysis was carried out with the SPSS software, version 22.0.

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (1)$$

where: S_{xy} is the covariance between variables x , y ; S_x is the standard deviation of variable x ; and S_y is the standard deviation of variable y .

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (2)$$

where: Y is the dependent variable (erosion); $X_1, X_2, \dots, X_k$ are the independent or explicative variables of erosion; $b_1, b_2, \dots, b_k$ are the magnitude of the effect of independent variables and b_0 is the constant value of the model.

$$U = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} u(x_i, y_j) \quad (3)$$

where: the means of two independent samples (sample X of size n_1 and sample Y of size n_2) are compared. Since there are $n_1 \cdot n_2$ pairs (x_i, y_j) , the number of pairs (x_i, y_j) such that $x < y$ will be $n_1 \cdot n_2 / 2$. The Mann-Whitney U statistic is the number of pairs with this property. A significant deviation of U with regard to $n_1 \cdot n_2 / 2$ indicates that the homogeneity of the variances is rejected.

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1) \quad (4)$$

where: the means of k independent samples of sizes $n_1, n_2, \dots, n_k$ are compared, the n observations are ordered and intervals are assigned from 1 to n to the set; R_i is the sum of intervals assigned to the n_i observations of sample k .

If the variances of the samples are homogenous, it is expected that the average range is approximately equal for k samples, but when these averages are different the homogeneity of variances is rejected.

RESULTS AND DISCUSSION

Ground cover

The sampling plots presented a dependent variable of the cultivation system. The coverage was lower in

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cobertura del suelo

Las parcelas de muestreo presentaron variable dependiente del sistema de cultivo. La cobertura fue inferior en las parcelas con sistema de cultivo convencional y fue mayor a 20 % en las cultivadas con sistema ecológico y en el ecológico con laboreo y sin laboreo (Cuadro 1). La calidad de la aceituna de mesa depende, entre otros factores, del calibre del fruto, lo que está ligado al tipo de poda y a la fertilización. La poda en el sistema convencional es agresiva y permite tamaño mayor del fruto y cobertura menor del olivar. La fertilización inorgánica con productos de asimilación rápida suele asegurar el calibre adecuado del fruto. La poda en el sistema ecológico se acompaña principalmente de fertilización orgánica, de asimilación más lenta, que disminuye la producción. El calibre y productividad menores de los olivares ecológicos los compensan las subvenciones europeas y la cotización mayor de los productos ecológicos.

La altura de la cobertura en el suelo mostró un máximo de 1.39 ± 0.74 m en las parcelas ecológicas con laboreo, sin alguna relación aparente con el sistema de cultivo. La cobertura de suelo, que incluyó la vegetación viva y los residuos vegetales, fue notablemente variable. La menor se observó en el sistema convencional, el ecológico con laboreo la duplicó y el ecológico sin laboreo presentó la mayor cobertura y la dispersión menor de los datos. Las diferentes técnicas de cada sistema de cultivo permiten explicar esas diferencias. El sistema convencional utiliza labores profundos que profundiza la cubierta y reduce

the plots with conventional cultivation system and was higher than 20 % in the ones cultivated with ecological system, and in the ecological one with tillage and no-tillage (Table 1). The quality of the table olive depends on the caliber of the fruit, which depends on the pruning and fertilization. Pruning in the conventional system is aggressive and allows a larger size of the fruit and lower coverage of the olive grove. Inorganic fertilization with products of fast assimilation tends to ensure the adequate caliber of the fruit. Pruning in the ecological system is accompanied primarily by organic fertilization, of slower assimilation, which decreases production. The lower caliber and productivity of ecological olive groves are compensated by European subventions and higher value of ecological products.

The height of the olive canopy showed a maximum of 1.39 ± 0.74 m in the ecological plots with tillage, without any apparent relationship to the cultivation system. The ground cover, which included weeds and litter, was noticeably variable. The lowest was seen in the conventional system, the ecological with tillage doubled it, and the ecological with no-tillage presented the highest coverage and lowest data dispersion. The different techniques from each cultivation system allow explaining these differences. The conventional system uses deep tillage that mixes the cover with the soil and considerably reduces the remainders on the surface. On the contrary, the ecological system bases the control of weeds on the combination of shallow tillage and mechanical weeding (ecological system with tillage), or exclusively on this last action (ecological system with no-tillage).

Cuadro 1. Cobertura de suelo en los diferentes sistemas de cultivo de olivar.

Table 1. Crop canopy and ground cover in different olive grove cultivation systems.

Cobertura	Abreviatura	Media $\pm$ desviación estándar		
		Convencional	Ecológico con laboreo	Ecológico sin laboreo
Cobertura vegetal de olivar (%)	C-olivar	11.30 $\pm$ 11.42	24.03 $\pm$ 13.19	21.94 $\pm$ 14.06
Altura de cobertura de olivar (m)	AC-olivar	1.06 $\pm$ 0.71	1.39 $\pm$ 0.74	1.08 $\pm$ 0.43
Cobertura vegetal superficial (%)	CS	42.64 $\pm$ 16.29	83.05 $\pm$ 11.84	92.92 $\pm$ 9.09
Suelo descubierto	CS-d	45.28 $\pm$ 13.84	14.65 $\pm$ 9.64	4.09 $\pm$ 8.30
Cobertura de rocas (%)	CS-roc	12.08 $\pm$ 7.84	2.29 $\pm$ 3.16	2.98 $\pm$ 2.34

considerablemente los restos en superficie. Al contrario, el sistema ecológico basa el control de plantas adventicias, en la combinación de laboreo poco profundo y desbroces mecánicos (sistema ecológico con labor), o exclusivamente en esta última acción (sistema ecológico sin labor).

El estado erosivo del suelo y los factores que influyen en la erosión

Los cultivos de olivar con sistema productivo convencional y ecológico con laboreo presentaron las tasas de erosión mayores. Al contrario, la erosión en el sistema ecológico sin laboreo fue alrededor de la cuarta parte de las anteriores (Cuadro 2). El suelo mostraba erosión laminar y secundariamente por salpicadura principalmente. La erosión favorecida por la alteración mecánica del suelo con herramienta (arado) (Hi y Hl) fue la mayor en los sistemas convencional y ecológico con laboreo y en el ecológico sin laboreo prácticamente no se vio afectada por el uso de herramientas, sólo levemente por el tránsito de personas.

La erosión en surcos y cárcavas no fue importante, estuvo ausente en las parcelas con sistema ecológico sin laboreo y fue mínima, con gran dispersión, en el sistema de cultivo convencional y ecológico con laboreo (Cuadro 3).

Erosion status of the soil and the factors that influence erosion

Olive groves with conventional and ecological productive system with tillage presented the highest erosion rates. On the contrary, erosion in the ecological system with no-tillage was around a fourth of these (Table 2). The soil showed mainly sheet erosion and secondarily by splash. The erosion favored by the mechanical alteration of the soil with tools (plow) (Hi and Hl) was higher than the conventional and ecological systems with tillage, and the ecological with no-tillage was virtually not affected by the use of tools, and only slightly by the transit of people.

The erosion in rills and gullies was not important, was absent in plots with ecological system with no-tillage and was minimal, with great dispersal, in the conventional and ecological cultivation system with tillage (Table 3).

Erosion, in percentage of surface affected, presented a significant relationship with the cultivation system, which was analyzed through the dummy variables: tillage ($r=0.91$; $p\leq 0.01$) and coverage ($r=-0.46$; $p\leq 0.01$), surface of soil exposed ($r=0.62$; $p\leq 0.01$) and superficial plant coverage ($r=-0.54$; $p\leq 0.01$). The correlation coefficients increased in all the cases with surface not affected by erosion:

Cuadro 2. Características, procesos y acciones superficiales que afectan a las parcelas.
Table 2. Surface characteristics, processes and actions that affect the plots.

Procesos superficiales	Abreviatura	Media $\pm$ Desviación estándar		
		Convencional	Ecológico con laboreo	Ecológico sin laboreo
Erosión por salpicadura (%)	Ei	0	0	7.01 $\pm$ 7.02
Erosión laminar (%)	El	0	0	15.76 $\pm$ 11.36
Suelo alterado por herramienta susceptible de erosión (%)	Hse	0.21 $\pm$ 0.52	0.28 $\pm$ 0.74	0
Suelo alterado por herramienta y afectado por erosión por salpicadura (%)	Hi	35.83 $\pm$ 15.65	28.40 $\pm$ 14.72	0
Suelo alterado por herramienta y afectado por erosión laminar (%)	Hl	46.39 $\pm$ 11.60	39.24 $\pm$ 10.98	0
Suelo alterado por herramienta y afectado por erosión en surcos (%)	Hs	0.21 $\pm$ 0.52	1.32 $\pm$ 2.34	0
Suelo alterado por pisoteo susceptible de erosión (%)	Pse	0.63 $\pm$ 1.01	2.99 $\pm$ 4.94	0.42 $\pm$ 0.97
Suelo alterado por pisoteo y afectado por erosión por salpicadura (%)	Pi	0.42 $\pm$ 0.66	6.32 $\pm$ 6.10	0.21 $\pm$ 0.38
Suelo alterado por pisoteo y afectado por erosión laminar (%)	Pl	0.21 $\pm$ 0.52	7.01 $\pm$ 5.98	0.21 $\pm$ 0.52
No existe erosión bajo cubierta vegetal viva (%)	Nv	1.11 $\pm$ 1.86	9.10 $\pm$ 8.40	35.07 $\pm$ 17.86
No existe erosión bajo residuos vegetales (%)	Nrv	0	0	17.15 $\pm$ 17.0
Erosión total (%)	Et	83.06 $\pm$ 10.55	82.29 $\pm$ 11.62	23.19 $\pm$ 16.76
Ninguna evidencia de erosión (%)	En	1.94 $\pm$ 1.92	12.36 $\pm$ 9.72	52.64 $\pm$ 9.82
Otras características de la superficie (rocas) (%)	Or	15.0 $\pm$ 9.75	5.35 $\pm$ 4.50	24.17 $\pm$ 15.97
Erosión volumen (m ³ ha ⁻¹)	Ev	9.37 $\pm$ 16.66	5.70 $\pm$ 10.26	0

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión entre la superficie afectada y no afectada por erosión y las variables sistema de laboreo y cobertura de suelo.
Table 3. Regression equations between surface affected and not affected by erosion and the variables tillage system and ground cover.

Ecuaciones	Variables [†]	Coeficientes		R ²	Sig.
		Variable	Constante		
1	L	59.48	23.19	0.82	p≤0.01
2	L	-45.49	52.64	0.85	p≤0.01
3	L	-37.20	53.95	0.90	p≤0.01
	Sd	-0.32			

[†] L = laboreo, Sd = suelo descubierto de vegetación ♦ [†] L = tillage, Sd = soil without vegetation.

La erosión, en porcentaje de superficie afectada, presentó relación significativa con el sistema de cultivo, que se analizó a través de las variables dummy, laboreo ($r=0.91$; $p\leq 0.01$) y cobertura ($r=-0.46$; $p\leq 0.01$), superficie de suelo descubierto ($r=0.62$; $p\leq 0.01$) y cobertura vegetal superficial ($r=-0.54$; $p\leq 0.01$). Los coeficientes de correlación incrementaron en todos los casos con superficie no afectada por erosión: dummy laboreo ($r=-0.92$; $p\leq 0.01$), dummy cobertura ($r=0.62$; $p\leq 0.01$), superficie de suelo descubierto ($r=-0.73$; $p\leq 0.01$) y cobertura vegetal superficial ($r=0.70$; $p\leq 0.01$); y si se incorpora la cobertura de rocas del suelo ($r=-0.40$; $p\leq 0.05$). La erosión en volumen del suelo no presentó alguna relación significativa con las variables introducidas en el análisis.

Destacó el hecho de que la pendiente de ladera no presentara relación estadística con la erosión, lo cual se pudo deber a que los efectos de otros factores, como la cobertura de suelo y el manejo con arado, destacan en la erosión. Así, la presencia de cobertura vegetal en el suelo reduce la erosión y parece que minimiza el efecto de la pendiente. Similarmente, la acción del arado eliminó la cobertura vegetal viva y de restos vegetales, y alteró y homogenizó la estructura del suelo, por lo que su efecto en la erosión no fue estadísticamente significativo. Estos resultados son similares a los de Blanco y Aguilar (2015 y 2016) con otros cultivos.

La cobertura por la copa del olivar y su altura mínima tampoco presentaron una relación estadísticamente significativa con la erosión. Al respecto, Nanko *et al.* (2008) mostró que la cobertura arbórea no reduce la erosión e incluso puede propiciarla. El

dummy tillage ($r=-0.92$; $p\leq 0.01$), dummy coverage ($r=0.62$; $p\leq 0.01$), surface of soil exposed ($r=-0.73$; $p\leq 0.01$) and ground cover ($r=0.70$; $p\leq 0.01$); and if the rock cover on the soil is incorporated ($r=-0.40$; $p\leq 0.05$). Erosion, measured in soil volume lost, did not present any significant relationship to the variables introduced in the analysis.

The fact that the slope gradient did not present statistical relationship with the erosion stood out, which could be due to the fact that effects from other factors, such as soil coverage and management with plowing, stand out in erosion. Thus, the presence of plant coverage on the soil reduces erosion and seems to minimize the effect of the slope. Similarly, the action from plowing eliminated the live plant cover and plant remainders, and altered and homogenized the soil structure, which is why its effect on erosion was not statistically significant. These results are similar to those found by Blanco and Aguilar (2015 and 2016) with other crops.

The olive canopy and its minimum height also did not present a statistically significant relationship with erosion. In this regard, Nanko *et al.* (2008) showed that the tree canopy does not reduce erosion and may even favor it. The (indirect) rain runoff through leaves and stems of the tree canopy may have more kinetic energy than direct rainfall, because the canopy can generate larger drops. The impact of indirect rainfall on the soil without plant cover can break its superficial structure and cause a reduction in the infiltration rate and an increase in the superficial runoff and erosion. The regression coefficients confirmed the influence of these factors on soil erosion.

escurrimiento de lluvia (indirecta) a través de hojas y tallos del dosel arbóreo puede tener mayor energía cinética que la lluvia directa, porque el dosel puede generar gotas de mayor tamaño. El impacto de la lluvia indirecta en el suelo sin cobertura vegetal puede romper su estructura superficial y ocasionar reducción de la tasa de infiltración y aumento de la escorrentía superficial y la erosión. Los coeficientes de regresión confirmaron la influencia de esos factores en la erosión del suelo.

El análisis de regresión con la superficie afectada por erosión, como variable dependiente, incluyó en el modelo sólo a la variable dummy laboreo como predictora, con una bondad de ajuste (R^2 corregida) de 0.82; así, 82 % de la variabilidad de la erosión la explica la variable indicada (ecuación 1). El análisis de regresión con la superficie no afectada por erosión como variable dependiente, generó dos modelos. El primero fue simple, también con la variable dummy laboreo como predictora, con bondad de ajuste de 0.85 (ecuación 2). El segundo modelo fue múltiple e incluyó, además de la variable anterior, a la superficie de suelo descubierto, con bondad de ajuste de 0.90 (ecuación 3).

Las ecuaciones 2 y 3 mejoraron en tres y ocho puntos, respectivamente, la bondad de ajuste de la primera, por lo que esta última predijo la erosión con más exactitud.

La influencia del manejo del suelo sobre la erosión hídrica

La prueba de Mann-Whitney de varianza entre la superficie no afectada por erosión y el manejo del suelo (laboreo/no laboreo) confirmó que existen diferencias significativas en el intervalo de confianza de 99 % ($U=1.00$; $p \leq 0.01$). Estos resultados, expresados como sistemas de cultivos, indican que los suelos con el cultivo convencional y ecológico con arado presentaron la superficie menos afectada por erosión (7.15 ± 8.68 %), en contraste respecto a los suelos con el sistema de cultivo ecológico sin arado (52.64 ± 9.82 %) (Figura 4).

El manejo del suelo suele ser uno de los factores más importantes para reconocer los procesos erosivos de la parcela. El laboreo rompe la estructura original del suelo que al desagregarse es más vulnerable a la erosión, porque es menos resistente al impacto de la lluvia y arrastre por escorrentía. Ésta es una de

The regression analysis with the surface affected by erosion as dependent variable, included only the tillage dummy variable in the model as predicting, with a coefficient of determination (R^2) of 0.82; thus, 82 % of the variability of erosion is explained by the variable indicated (equation 1). The regression analysis with the surface not affected by erosion as a dependent variable generated two models. The first was simple, also with the tillage dummy variable as predicting, with a R^2 of 0.85 (equation 2). The second model was multiple and included, in addition to the prior variable, the soil surface exposed, with a R^2 of 0.90 (equation 3).

Equations 2 and 3 improve in three and eight points, respectively, the coefficient of determination of the first, which is why the latter predicted erosion more accurately.

The influence of soil management on water erosion

The Mann-Whitney variance test between the surface not affected by erosion and the management of soil (tillage/no-tillage) confirmed that there are significant differences in the confidence interval of 99 % ($U=1.00$; $p \leq 0.01$). These results, expressed as cultivation systems, indicate that the soils with conventional and ecological cultivation with tillage

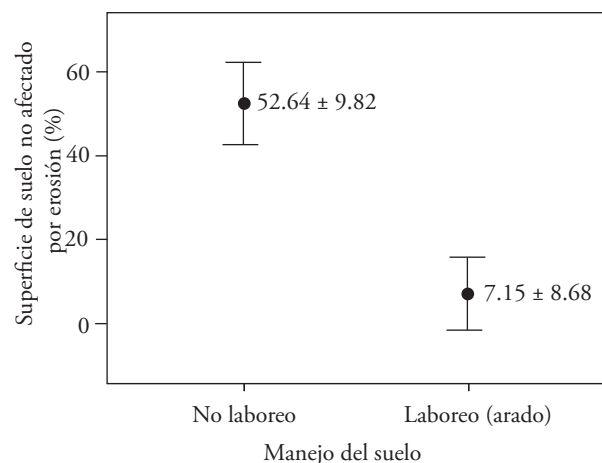


Figura 4. Suelo no afectado por erosión en cultivos de olivar con manejo edáfico diferente (media $\pm$ desviación estándar).

Figure 4. Soil not affected by erosion in olive crops with different soil management (mean $\pm$ standard deviation).

las causas más importantes que explican las tasas mayores de erosión en los sistemas de cultivo con manejo convencional con arado, en comparación con el manejo sin laboreo (Evans, 2006). Al respecto, Zhang *et al.* (2007) destacaron la importancia de la conservación de la estructura del suelo para mejorar la estabilidad estructural y la resistencia a la erosión. Arshad *et al.* (1999) explicaron la erosión menor en los sistemas agrícolas donde no se practicaba el laboreo, a partir de la conservación de la estructura y a la influencia que ejerce ésta en las propiedades hidrológicas del suelo.

Influencia de la superficie de suelo descubierto en la erosión hídrica

La prueba de Kruskal-Wallis de varianza entre la superficie no afectada por erosión y la de suelo descubierto, agrupada en los intervalos 0 a 10, 10 a 40 y 40 a 70 %, confirmó las diferencias significativas (Chi cuadrado = 21.07; $p \leq 0.01$). Los suelos con más de 40 % de superficie descubierta mostraron la superficie menor no afectada por erosión, les siguieron, con valores cercanos, los suelos con 10 a 40 % de superficie descubierta y la superficie no erosionada se elevó cuarenta por ciento en los suelos con superficie descubierta inferior a 10 % (Figura 5).

La importancia de la cobertura vegetal de la superficie del suelo para reducir la erosión se confirmó, ya que protegió contra el impacto de la lluvia y la escorrentía superficial. Hudson y Jackson (1959) y Zanchi (1983) manifestaron que la estabilidad de los agregados ante un episodio de lluvias es menor cuando la cubierta es escasa, porque las fuerzas eléctricas de calcio y magnesio se debilitan con el contacto del suelo con el agua. Al contrario, en el suelo con cobertera herbácea la consistencia de los agregados es mayor cuando se saturan. Los factores dependientes de vegetación en la superficie, las raíces de las plantas, la actividad de organismos ligados a ella (lombrices, hongos y otros) y la descomposición de los restos vegetales mejoran la cohesión de las partículas de suelo entre sí, los agregados serán estables en agua y se mantendrán con los procesos de humectación (Sullivan, 2008).

La cobertura de suelo reduce el riesgo de deterioro de la estructura superficial, favorece la infiltración, aumenta la capacidad de retención de agua y reduce la escorrentía y la erosión del suelo. Los resultados de

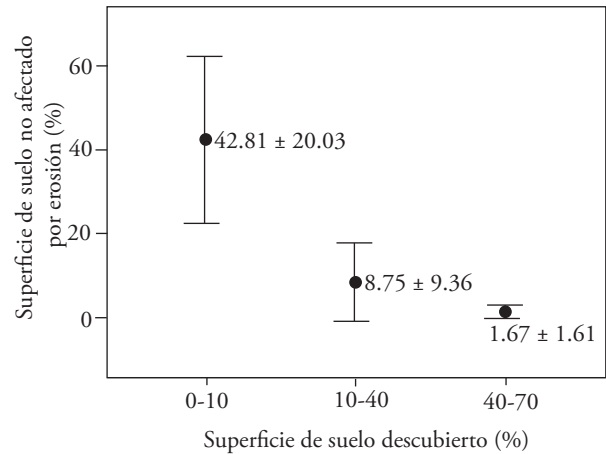


Figura 5. Suelo no afectado por erosión en cultivos de olivar con intervalos diferentes de superficie de suelo descubierto (media ± desviación estándar).

Figure 5. Soil not affected by erosion in olive crops with different intervals of surface with soil exposed (mean ± standard deviation).

presented the lowest surface not affected by erosion (7.15 ± 8.68 %), compared to the soils with ecological cultivation system with no-tillage (52.64 ± 9.82 %) (Figure 4).

Soil management tends to be one of the most important factors to explain erosive processes. Tillage breaks the original structure of the soil which when disaggregating is more vulnerable to erosion, because it is less resistant to the impact of rain and dragging from runoff. This is one of the most important causes that explain the higher rates of erosion in cultivation systems with conventional management with plowing, as compared to management with no-tillage (Evans, 2006). In this regard, Zhang *et al.* (2007) highlighted the importance of conserving the soil structure to improve the structural stability and resistance to erosion. Arshad *et al.* (1999) explained the lower erosion in the agricultural systems where tillage was not practiced, from the conservation of the structure and the influence that it exerts on the hydrologic properties of the soil.

Influence of the soil surface exposed on water erosion

The Kruskal-Wallis variance test between the surface not affected by erosion and that with soil exposed, grouped in the intervals 0 to 10, 10 to 40,

este estudio coinciden con los obtenidos por Leys *et al.* (2010), quienes indicaron que la cobertura vegetal del suelo fue la variable más importante para explicar la escorrentía y la erosión en las fincas.

Valoración del método de estudio

El método de análisis de la erosión hídrica del suelo aplicado en este estudio se consideró apropiado para cuantificar el estado erosivo del suelo y establecer los factores de erodabilidad en cultivos de olivar. Los resultados confirmaron la posibilidad de utilizar estos factores para establecer las BCAM, que requiere la normativa de condicionalidad de la PAC a las condiciones particulares de las áreas de aplicación.

Las diferencias ambientales y de manejo entre fincas, más la variación temporal y espacial de la erosión de una zona, impide extrapolar los resultados de investigaciones aisladas para identificar las causas ambientales o humanas de la erosión. El coste bajo y la facilidad de aplicación son cualidades importantes del método que utilizamos para analizar 36 parcelas con tres tipos de manejo y puede favorecer los seguimientos que requiere la normativa de la PAC.

Los resultados de este estudio en montaña mediterránea se suman a los de entornos tropicales obtenidos antes (Blanco y Aguilar, 2015, 2016).

CONCLUSIONES

El sistema de cultivo ecológico sin labor es mejor para controlar la erosión, que el convencional y ecológico con labor. El efecto combinado de conservación de la estructura del suelo y de la cubierta vegetal superficial explican las diferencias.

El manejo del suelo (laboreo/no laboreo) y la cobertura vegetal pueden ser las medidas para definir las BCAM de cada zona de estudio. El método de análisis de la erosión hídrica del suelo que se utilizó permitió cumplir con los objetivos del estudio.

LITERATURA CITADA

- Amore, E., C. Modica, M. A. Nearing, and V. C. Santoro. 2004. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. *J. Hydrol.* 293: 100-114.
- Arshad, M. A., A. J. Franzluebbers, and R. H. Azooz. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil Tillage Res.* 53: 41-47.

and 40 to 70 %, confirmed the significant differences (Chi-squared = 21.07; $p \leq 0.01$). The soils with more than 40 % surface exposed showed a lower surface not affected by erosion, followed with close values by soils with 10 to 40 % of surface exposed, and the surface not eroded rose 40 % in soils with surface exposed lower than 10 % (Figure 5).

The importance of the ground cover to reduce erosion was confirmed, since it protected against the impact of rainfall and superficial runoff. Hudson and Jackson (1959) and Zanchi (1983) pointed out that the stability of the aggregates in face of an episode of rains is lower when the cover is scarce, because the electrical forces of calcium and magnesium are weakened with the contact of the soil with water. On the contrary, in the soil with herbaceous cover the consistency of the aggregates is higher when they are saturated. The factors that depend on the surface vegetation, the roots of the plants, the activity of organisms linked to it (earthworms, fungi and others), and the decomposition of plant remainders improve the cohesion of soil particles between each other, the aggregates will be stable in water and will be maintained with humidity processes (Sullivan, 2008).

Ground cover reduces the risk of deterioration of the superficial structure, favors infiltration, increases the capacity for water retention, and reduces runoff and soil erosion. The results from our study agree with those obtained by Leys *et al.* (2010), who indicated that the ground cover of the soil was the most important variable to explain runoff and erosion in the farms.

Assessment of the study method

The analysis method of soil water erosion applied in this study was considered appropriate to quantify the erosion status of the soil and to establish the factors of erodibility in olive crops. The results confirmed the possibility of using these factors to establish the GAEC, which require the rules of cross-compliance of the CAP to the particular conditions of the application areas.

The environmental and management differences between farms, in addition to the temporal and spatial variation of erosion in a zone, impede extrapolating the results from isolated studies to identify the environmental or human causes of erosion. The low

- Barneveld, R. J., A. Bruggeman, G. Sterk, and F. Turkelboom. 2009. Comparison of two methods for quantification of tillage erosion rates in olive orchards of north-west Syria. *Soil Tillage Res.* 103: 105-112.
- Blanco, R., A. Nieuwenhuys, y A. Aguilar. 2014. Una metodología para determinar la afección del suelo por erosión hídrica en potreros y parcelas agrícolas. Serie técnica. No. 403. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 40 p.
- Blanco, R., and A. Aguilar. 2015. Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga spp* and *Musa spp*) in Northern Nicaragua. *Agr. Ecosyst. Environ.* 210: 25-35.
- Blanco, R., and A. Aguilar. 2016. The erosion threshold for a sustainable agriculture in cultures of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under conventional tillage and no-tillage in Northern Nicaragua. *Soil Use Manage.* 32: 368-380.
- Censo Agrario. 2009. Distribución general de la tierra por aprovechamiento. Acceso por: Instituto Nacional de Estadística.
- De Graaf, J., and L. Eppink. 1999. Olive oil production and soil conservation in southern Spain, in relation to EU subsidy policies. *Land Use Policy* 16: 259-267.
- De la Rosa, D., E. Díaz, F. Mayor, E.A. Czyz, A.R. Dexter, E. Dumitru, R. Enache, H. Fleige, R. Horn, K. Rajkay, and C. Simota. 2005. Part2. Soil erosion as a function of soil type and Agricultural management in a Sevilla olive area, southern Spain. *Soil Tillage Res.* 82: 19-28.
- Desir, G., and C. Marín. 2007. Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). *Catena* 71: 31-40.
- Evans, R. 2006. Sustainable practices to limit soil erosion: a review and discussion. *CAB Rev.* 1: 1-12.
- FAO. 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- Gómez, M.L. 1987. Apuntes de Geografía Física de Andalucía. Universidad de Málaga.
- Gómez, J.A., Sobrinho, T.A., Giráldez, J.V. and E. Fereres. 2009. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil Tillage Res.* 102: 5-13.
- González, M. 1991. La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología* 5: 13-50.
- Hudson, N.W. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO Soils Bulletin.* No. 68. Rome. 153 p.
- Hudson, N. W. and D. C. Jackson. 1959. Results achieved in the measurement of Erosion and Run-off in Southern Rhodesia. Paper presented to the Third Inter-African Soils conference. Dalaba.
- Infante, J. 2011. Ecología e historia del olivar andaluz. Un estudio socio-ambiental de la especialización olivarera en el sur de España (1750-2000). Tesis doctoral. Facultad de Humanidades. Universidad Pablo de Olavide de Sevilla.
- JJ.AA. 2005. Mapa de Andalucía a escala 1.400.000. Consejería de medio ambiente.
- Kraushaar, S., N. Herrmann, G. Ollesch, H.J. Vogel, and C. Siebert. 2014. Mound measurements — quantifying medium-term soil erosion under olive trees in Northern Jordan. *Geomorphology* 213: 1-12.
- Ley, A., G. Govers, K. Gillijns, E. Berckmoes, and I. Takken. 2010. Scale effects on runoff and erosion losses from arable land under conservation and conventional tillage: The role of residue cover. *J. Hydrol.* 390: 143-154.
- Lucdeme. 1994. Mapa de suelos de Alora (1054). Universidad de Granada, España.
- Lucdeme. 1995. Mapa de suelos de Ronda (1051). Universidad de Granada, España.
- Lucdeme. 1996. Mapa de suelos de Teba (1037). Universidad de Granada, España.
- Mabita, L., S. Chhem-Kietb, A. Tolozab, T. Vanwalleghem, C. Bernard, J. Infante, M. González, and J.A. Gómez. 2012. Radioisotopic and physicochemical background indicators to assess soil degradation affecting olive orchards in southern Spain. *Agr. Ecosyst. Environ.* 159: 70-80.
- Mutekanga, F.P., S.M. Visser, and L. Stroosnijder. 2010. A tool for rapid assessment of erosion risk to support decision-making and policy development at the Ngenge watershed in Uganda. *Geoderma* 160: 165-174.
- Nanko, K., Mizugaki, S. and Y. Onda. 2008. Estimation of soil splash detachment rates on the forest floor of an unmanaged Japanese cypress plantation based on field measurements of throughfall drop sizes and velocities. *Catena* 72: 348-361.
- Nekhay, O., M. Arriaza, and L. Boerboom. 2009. Evaluation of soil erosion risk using Analytic Network Process and GIS: A case study from Spanish mountain olive plantations. *J. Environ. Manag.* 90: 3091-3104.
- Okoba, B.O., and G. Sterk. 2006. Quantification of visual soil erosion indicators in Gikuuri catchment in the central highlands of Kenya. *Geoderma* 134: 34-47.

CONCLUSIONS

The ecological cultivation system with no-tillage is better for controlling erosion than the conventional and ecological with tillage. The combined effect of conservation of the soil structure and the superficial plant cover explains the differences.

Soil management (tillage/no-tillage) and ground cover can be the measurements to define the GAEC from each study zone. The analysis method of soil water erosion that was used allowed fulfilling the objectives of the study.

—End of the English version—

-----*

- Scheidel, A., and F. Krausmann. 2011. Diet, trade and land use: a socio-ecological analysis of the transformation of the olive oil system. *Land Use Policy* 28: 47-56.
- Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: Is it possible? *Catena* 64: 162-173.
- Sullivan, P. 2008. El manejo sostenible de suelos. National Sustainable Agriculture Information Service. ATTRA 1-800-411-3222: 12-31.
- Vanwallegem, T., Infante, J., González, M., Soto, D. and J.A. Gómez, 2011. Quantifying the effect of historical soil management on soil erosion rates in Mediterranean olive orchards. *Agriculture. Ecosyst. Environ.* 142: 341-351.
- Zanchi, C. 1983. Influenze dell'azione battente della pioggia e del ruscellamento nel proceso erosivo e variazioni dell'erodibilità del suolo nei diversi periodi stagionali. *Annali Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo* 14: 347-358.
- Zhang, G.S., K.Y. Chan, A. Oates, D.P. Heenan, and G.B. Huang. 2007. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. *Soil Tillage Res.* 92: 122-128.