



**PÉRDIDA DE SUELO Y AGUA BAJO CUBIERTA
DE *QUERCUS COCCIFERA* EN LA SIERRA
DE ENGUERA. VALENCIA**

*Soil and water losses under *Quercus coccifera* cover at the Sierra de Enguera,
Valencia*

Artemi Cerdà(1), Antonio Giménez-Morera(2), Merche B. Bodí(1,3,4), María Burguet(1),
Javier García López(1), Carlos Jovani(1) & Miguel Segura(1)

(1) *Departament de Geografia. Universitat de València. Blasco Ibáñez, 28, 46010 València, Spain.
artemio.cerda@uv.es*

(2) *Departamento de Economía y Ciencias Sociales, Escuela politécnica superior de Alcoy, Universidad
Politécnica de Valencia. Paseo del Viaducto, 1, 03801 Alcoy (Alicante).*

(3) *School of the Environment and Society, Swansea Univ. Singleton Park, Swansea SA2 8P, UK.*

(4) *GEA-Grupo de Edafología Ambiental, Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, Universidad
Miguel Hernández, Avda. de la Universidad, s/n. 03202 Elche, Alicante, Spain.*

Resumen: El matorral es un factor clave para el control de la erosión acelerada del suelo en las montañas mediterráneas, y es necesario investigar su papel en la gestión de los recursos hídricos en los ecosistemas semiáridos. En la estación experimental de El Teularet - Sierra de Enguera se desarrolló un experimento en 2004 que muestra las tasas de erosión de una cubierta de *Quercus coccifera* bajo lluvia natural y simulada. Estas mediciones confirman que la cubierta es eficiente en la protección de los suelos de los ecosistemas mediterráneos.

Palabras clave: Matorral, Erosión, Agua, El Teularet, Valencia.

Abstract: The scrubland (matorral) is a key factor to control the accelerated soil erosion rates on Mediterranean mountains, and is relevant the research on its impact on water resources on semiarid ecosystems. An experiment carried out on the El Teularet-Sierra de Enguera experimental station in 2004 shows that erosion rates on a *Quercus coccifera* vegetation cover were negligible under natural and simulated rainfall. These measurements confirm that the kermes oak is an efficient vegetation cover protection to control the soil losses on Mediterranean ecosystems.

Keywords: Scrubland, Erosion, Water, El Teularet, Valencia.



A. Cerdà, A. Giménez-Morera, M. B. Bodí, M. Burguet, J. García López, C. Jovani & M. Segura (2010). Pérdida de suelo y agua bajo cubierta de *Quercus coccifera* en la sierra de Enguera. Valencia. *Rev. C. & G.*, 24 (3-4), 13-23.

1. Introducción

En el trabajo científico de John Thornes destaca su incansable labor de estudio de la relación entre la vegetación y los procesos erosivos. Sus enseñanzas en este tema abrieron una línea de investigación que todavía hoy es prioritaria para los científicos españoles. Las investigaciones de los últimos 30 años han corroborado el papel de la vegetación como el principal factor de los procesos erosivos, y su influencia positiva en el control de las pérdidas de agua y suelo. Pero a pesar de ello, aún se sigue viendo el matorral como una cubierta vegetal improductiva, de la cual el beneficio económico es nulo. Y todo ello a pesar de que se ha comprobado reiteradamente que el matorral presenta bajas o incluso insignificantes tasas de escorrentía y erosión, y altas tasas de infiltración (Bergkamp, 1996; Cerdà, 1997; García-Ruiz, 1997).

El matorral es una cubierta vegetal protectora del suelo y las aguas (Thornes, 1985). Esta visión del matorral como conservador del suelo surgió muy pronto en los estudios de erosión del suelo en España (Thornes, 1976). La pasión por conocer el papel del matorral en los procesos de erosión dio lugar a las primeras publicaciones en este campo (López Bermúdez et al., 1986; Francis y Thornes, 1990). Así, los estudios sobre el matorral y los sistemas geomórficos iniciaron líneas de investigación, vocacionales y trabajos científicos de gran relevancia en los estudios ambientales en España (Cerdà, 2008; García Ruiz y López Bermúdez, 2009). A pesar de ello el matorral ha sido desatendido por la política forestal española. Es necesario el desarrollo de estudios minuciosos que verifiquen el papel del matorral en la gestión de los recursos hídricos y edáficos. Para ello se deben estudiar las distintas especies que componen el matorral con la finalidad de conocer en detalle su impacto hidrológico y erosivo, lo que permitirá su uso en la reforestación de zonas degradadas de forma más eficiente. Estos estudios deben contribuir a una nueva política forestal en el mediterráneo en general y en España en particular.

Este trabajo muestra el control que ejerce *Quercus coccifera* sobre los procesos hidrológicos y erosivos. Para ello se han realizado mediciones con parcelas cerradas de distintos tamaños (de 1 a

48 m²) bajo lluvia natural y con lluvia simulada para reproducir eventos extraordinarios difíciles de cuantificar en parcelas bajo lluvia natural por su reducida recurrencia.

2. Métodos

2.1. Zona de estudio

La Sierra de Enguera es la alineación montañosa más meridional de Sistema Ibérico, y forma parte del Macizo del Caroig, delimitado al norte y al este por el Río Júcar, al este por el valle de Ayora y al sur por el Valle del Río Cañoles. Es un mundo de calizas cretácicas intensamente karstificadas, con valles profundos y cañones, pero también superficies intensamente erosionadas como lo demuestran los topónimos de Sierra Plana, o la Muela de Cortes, situada al norte de la zona de estudio.

El clima se caracteriza por una precipitación media anual de 478 mm anuales, si bien la variabilidad estacional e interanual es elevada como lo demuestran los periodos de sequía. La temperatura media es de 14 °C, la cual oscila entre los 23 °C de agosto y los 9 °C de enero.

La vegetación climácica es un encinar de *Quercus coccifera*, el cual fue sustituido por pinares destinados a la industria maderera y a la producción de traviesas en el desarrollo ferroviario de mediados del siglo XIX, cuando tuvo en la línea de Xàtiva una continua demanda. Los pinares, como todo el sistema agrícola español sufrieron un rápido abandono en los años 50 y 60, lo que finalmente facilitó la proliferación de incendios y la matorralización del territorio. Ese matorral siempre fue visto por la administración como una cubierta vegetal sin provecho, por lo que los intentos de repoblación y los subsiguientes fracasos han sido continuos. El paisaje vegetal más común es ahora el del matorral con algunos pinares, o bien matorrales en los que los pinos son cada vez más abundantes fruto de su recuperación natural o potenciada por las repoblaciones.

Los suelos presentan profundidades variables debido a la karstificación de la roca caliza. Es habitual espesores de suelo de 20 cm, pero también zonas con grietas donde el perfil supera los 60 cm.

La densidad del suelo media es de 1,02 Kg cm⁻³, con una textura donde abundan las arenas (55 % arenas, 23 % limos; 22 % arcillas), y un contenido en materia orgánica (4,55 % entre 0 y 5 cm de profundidad) que duplica la de los suelos agrícolas cercanos. La ladera seleccionada es una ladera norte, con 9° de pendiente media y sin ningún uso agrícola o ganadero.

En la Sierra de Enguera, el matorral está compuesto básicamente por *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera* y *Juniperus oxycedrus*. Tras los incendios se producen etapas de transición en las que abundan *Cistus albidus*, *Romarius officinalis* y *Ulex parviflorus*. Este territorio de matorral agreste y difícil de transitar fue utilizado durante décadas como zonas de pastoreo de cabras blancas y ovejas que permitieron producir carne de calidad en los espacios no aptos para el cultivo del cereal. Cuando el matorral no ofrecía suficiente pasto era quemado o bien rozado para permitir la regeneración de brotes tiernos y herbáceas. Uno de los aprovechamientos más extendidos fue el uso del matorral como biomasa para la cocción de la cerámica local, hornos de cal y su uso en las cocinas. No fue su uso sólo local, ya que el oficio de “gavillero” fue muy habitual en la primera mitad del siglo XX, cuando las gavillas de matorral de estas sierras de interior fueron aprovechadas para los hornos de cerámica de la zona costera, como es el caso de la conocida cerámica de Manises. También el matorral, en este caso el de *Ulex parviflorus* y *Cistus albidus*, fue utilizado para la fertilización de los campos donde tras ser recogido en las laderas era quemados y mezcladas sus cenizas con el suelo. Este sistema de artigueo era aquí conocido como “hormiguero”. Además de fuente de nutrientes para los suelos agrícolas, forraje para los rebaños y energía para la cocción, el matorral se ha mostrado como un gran protector del suelo.

El abandono del campo desde los años 50 ha producido una recuperación de la vegetación en la Sierra de Enguera, y en ella predomina la *maquia*, ya que las repoblaciones de pinares (*Pinus halepensis*) han sufrido incendios recurrentes y en pocas ocasiones se ha llegado a formar una cubierta estable de pinar después de los años 80. De todas las plantas que participan en la formación de esta cubierta vegetal destaca *Quercus coccifera* por su

gran capacidad de recuperación tras los incendios, el pastoreo o la tala. La coscoja es rebrotadora, y esto le confiere una gran capacidad de adaptación. A partir de los años 60, con el abandono del campo, se produjo una recuperación de la maquia, a pesar de la potenciación de la cubierta de pinar (*Pinus halepensis*) por las políticas gubernamentales.

2.2. Parcelas bajo lluvia natural

En 2003 se instalaron parcelas de distintos tamaños (1, 2, 4, 16 y 48 m²) en la Estación Experimental de El Teularet-Sierra de Enguera (Bodí y Cerdà, 2008) con el fin de cuantificar la pérdida de sedimentos y aguas después de cada evento de lluvia. La precipitación se mide mediante cinco pluviógrafos de 0,2 mm de precisión y la escorrentía con depósitos totalizadores (ver Bodí y Cerdà, 2008 para más datos técnicos de la estación experimental). Tras cada evento de lluvia se cuantifica la escorrentía acumulada y la concentración de sedimentos en la arroyada. La concentración de sedimentos se midió por desecación. Las cinco parcelas estudiadas presentan una cubierta vegetal del 97, 89, 88, 92 y, 93 %, respectivamente para las parcelas de 1, 2, 4, 16 y 48 m². Estos valores medios se han calculado a partir de la media de cuatro mediciones realizadas en enero, abril, julio y octubre de 2004. Destaca la cubierta de piedras en las escasas zonas desnudas y la hojarasca que alcanza los 15 cm debajo de *Quercus coccifera*, la cual es la especie predominante con un 48 % de la superficie en la ladera estudiada (Figura 1). Otras especies de fanerógamas son *Pistacia lentiscus* y *Juniperus oxycedrus*, pero también gramíneas como *Brachypodium retusum*. La toma de campo siguió el mismo protocolo tras cada lluvia. Se midió la escorrentía acumulada en los depósitos donde se tomaron tres muestras por depósito, las cuales se trasladan al laboratorio donde por desecación se cuantifica la concentración de sedimentos. Los sedimentos de los colectores se trasladan al laboratorio si su peso es inferior a 3 Kg, se secan y se pesan. Cuando el peso supera los 3 Kg se toma una alícuota (entre el 10 y el 50 % de la muestra según la cantidad de sedimentos) para secarlo y pesarlo en el laboratorio (ver Bodí y Cerdà, 2008).

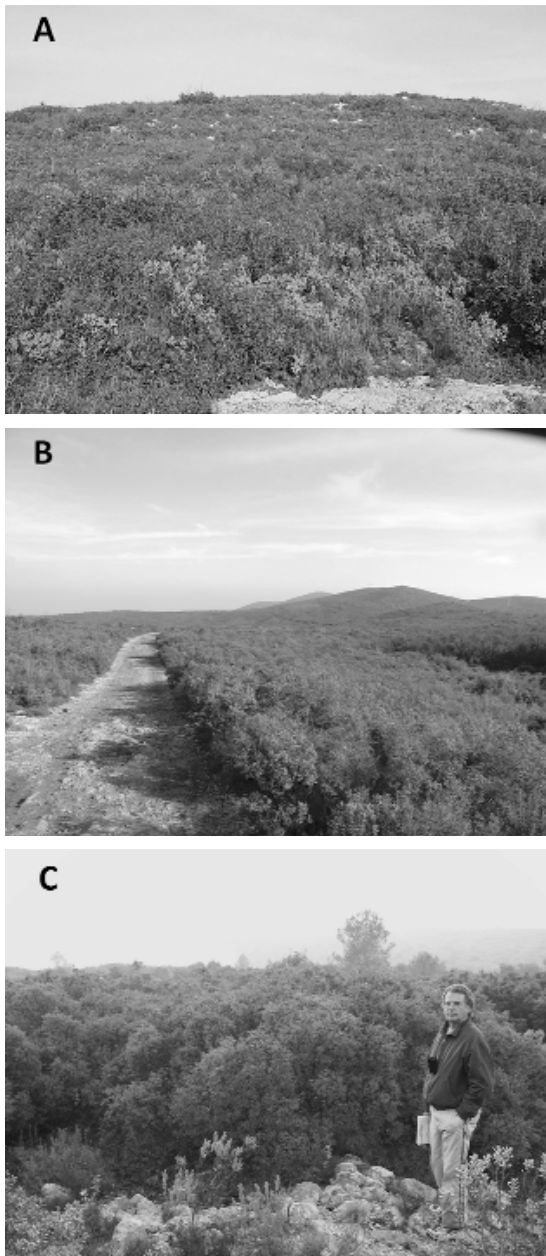


Figura 1. Vista del matorral típico de la Sierra de Enguera. Las cubiertas de matorral son continuas, si bien cuando el pastoreo está presente o en los años posteriores a los incendios, se aprecian zonas desnudas entre matas. En este trabajo se han estudiado zonas sin pastoreo y sin incendios forestales recientes (> 20 años). Tom Fowke ejerce de escala en la tercera fotografía.

Figure 1. View of the Sierra de Enguera scrubland landscapes. Scrubland cover is continuous, although when grazing take place or during the post-fire years there are bare patches between the vegetated zones, which reduce the runoff and fire connectivity. This research is focused on study areas without grazing and recent fires (> 20 years). Tom Fowke exert as scale in the third photograph.

2.3. Parcelas bajo lluvia simulada

En 2004 se realizaron mediciones con lluvia simulada en parcelas de 1 m² para determinar la generación de escorrentía y el transporte de sedimentos bajo lluvia intensas con periodos de recurrencia de 15 años. Las mediciones de 2004 en verano e invierno sobre suelos secos y húmedos permitieron conocer la respuesta de las zonas de matorral a lluvias intensas, las cuales por su largo periodo de recurrencia son difícilmente cuantificadas bajo lluvias naturales.

El simulador de lluvia utilizado para las parcelas de 1 m² está basado en las boquillas Hardi-1553-12, con tres unidades funcionado al mismo tiempo desde 2 metros de altura (Figura 2). La intensidad de la lluvia simulada alcanzó los 68,2 mm h⁻¹ durante una hora y se aplicó sobre una superficie de 3 m² de los cuales 1 m² quedó como zona de medición de la escorrentía y pérdida de suelo. Las tres boquillas funcionando al mismo tiempo, con agua destilada y desde una altura de 2 m presentaron un coeficiente de Christiansen de 85,7% bajo condiciones de laboratorio. El tamaño medio de las gotas fue de 2,68 mm con una velocidad de caída de 3,78 m s⁻¹ y una energía cinética de 9,34 J m⁻² mm⁻¹ con una presión de 1,75 Kg cm⁻². Las parcelas se diseñaron rectangulares (1250 mm x 800 mm) con el fin de tener una forma similar a las utilizadas bajo lluvia natural. Se delimitaron con láminas metálicas de hierro galvanizado, y las



Figura 2. Vista del simulador de lluvia durante una de las pruebas en campos de cultivo. La parcela mostrada es idéntica a la utilizada en las zonas de matorral.

Figure 2. View of the rainfall simulator during one of the test on agriculture land. The plot shown is the one also use on "matorral" scrubland cover experiments.

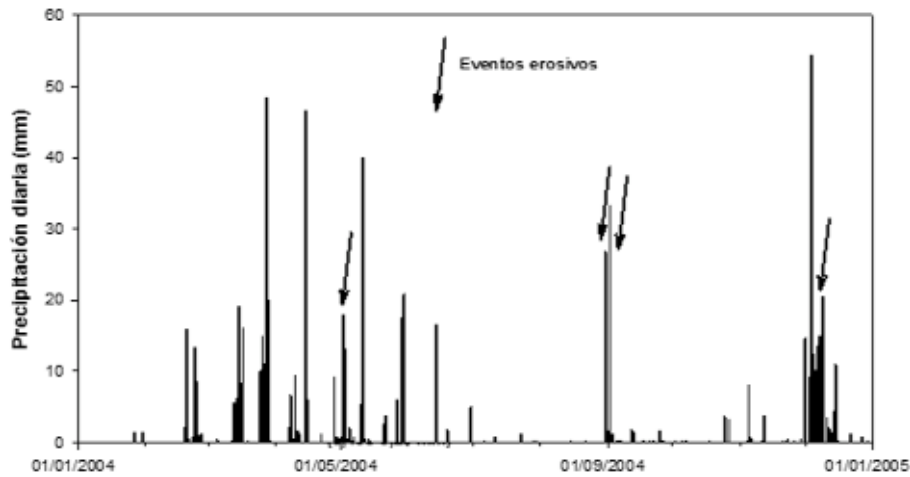


Figura 3. Precipitación diaria en la estación experimental El Teularet-Sierra de Enguera de enero a diciembre de 2004.
 Figure 3. Daily rainfall at the experimental station of El Teularet - Sierra de Enguera from January to December 2004.

escorrentías se recogieron en un colector de PVC de 800 mm de largo, 150 mm de ancho y 100 mm de profundidad, similares a los utilizados en las parcelas de lluvia natural.

Se seleccionaron 10 parcelas en la misma ladera donde se encuentran las parcelas bajo lluvia natural, y se aplicaron lluvias simuladas de 1 hora de duración tanto en verano (julio de 2004) como en invierno (diciembre de 2004). Las escorrentías se midieron cada minuto, y las muestras tomadas (1 cada 5 minutos) se desecaron para determinar la concentración de sedimentos.

3. Resultados

3.1. Precipitación

Las mediciones registradas durante el año 2004 demuestran que las lluvias fueron abundantes pero poco intensas en la estación experimental de El Teularet-Sierra de Enguera (ver figura 3 y tabla 1). No se registraron lluvias con intensidades superiores a los 60 mm día⁻¹, y el 31 % de la precipitación diaria no alcanzó los 5 mm día⁻¹, y menos del 10 % quedó entre 30 y 60 mm h⁻¹.

Dos eventos de intensidad elevada se produjeron durante sendas tormentas el 31 de agosto y el 2 de septiembre de 2004. El primero de estos eventos

contribuyó con 26,8 mm entre las 15:15 y las 18:00 horas. La I₃₀ máxima medida se produjo entre las 15:35 y las 16:35 horas con 18,6 mm en 30 minutos. La I₅ máxima se produjo entre las 15:43 y las 15:47 con 4,6 mm. El chaparrón del 2 de septiembre fue más intenso, con 32,6 mm entre las 18:23 y las 19:31, con un I₃₀ de 25,8 mm. El I₅ máximo fue de 6,2 mm entre las 19:10 y las 19:14. De los 61 eventos registrados en 2004 estos dos fueron los más intensos. La abundancia de los días de lluvia fue la razón del elevado volumen de lluvias. En concreto se alcanzaron 81 días de lluvia con precipitaciones superiores a 0,4 mm (110 contabilizándolas todas), cuando lo habitual para la zona de estudio son entre 36 y 41 días de precipitación (ver tabla 2). La intensidad media de la lluvia diaria quedó por debajo de la media (Tabla 1).

La precipitación media diaria en la zona de estudio oscila entre 13 y 15 mm día⁻¹. Sin embargo en 2004 quedó en valores por debajo de los 9 mm día⁻¹ (ver tabla 3).

3.2. Escorrentía

Los caudales cuantificados durante los 61 eventos de 2004 fueron insignificantes ya que nunca llegaron al 1 % de la precipitación, y quedaron en valores medios inferiores 0,2 %. De hecho, de los

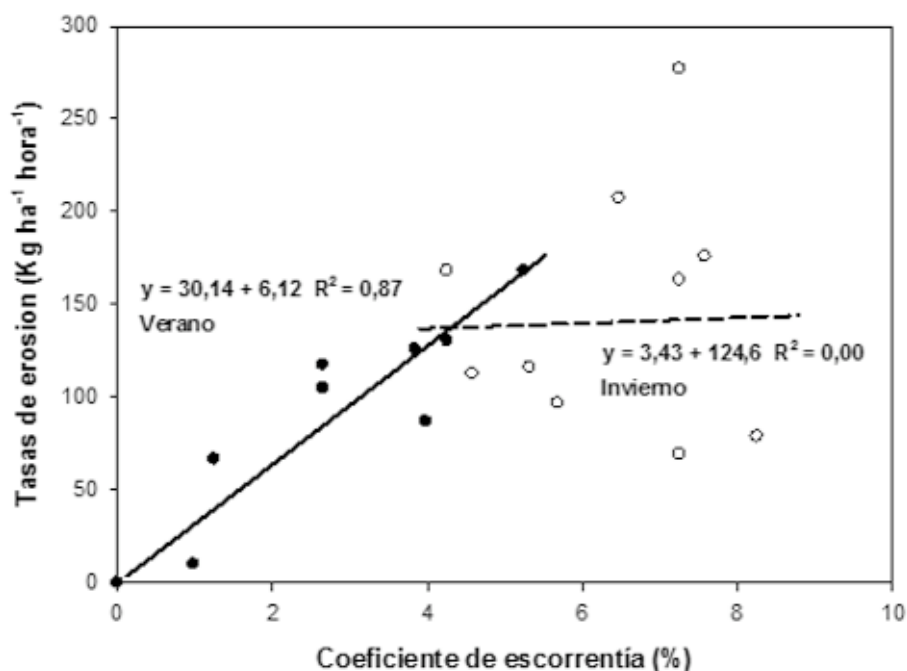


Figura 4. Relación entre el coeficiente de escorrentía y la tasa de erosión bajo lluvia simulada en invierno (suelos húmedos) y verano (suelos secos).

Figure 4. Runoff coefficient and soil erosion rates relationship under simulated rainfall under winter (moist soils) and summer (dry soils).

61 eventos registrados (110 días de lluvia) sólo cuatro contribuyeron con caudales cuantificables. Las escorrentías se produjeron en los eventos 17 y 57, los dos con precipitaciones de escasa intensidad y elevado volumen, y los eventos 27 y 29 con intensidades elevadas como se ha visto en el apartado anterior, pero de volumen reducido. Los eventos 19 (38,2 mm entre los días 29 y 30 de mayo de 2004) y 57 (140,6 mm entre el 3 y el 12 de diciembre con 10 días consecutivos de lluvia) aportaron caudales escasos, especialmente el último debido a la reducida intensidad de la lluvia. Los valores inferiores de escorrentía (%) se encontraron en las parcelas de mayores tamaños (Tabla 1).

3.3. Concentración de sedimentos

La concentración de sedimentos fue muy baja, de 0,044 gr l⁻¹ de media, con valores siempre por debajo de 0,1 gr l⁻¹. En este caso no se encontró ninguna relación con el tamaño de la parcela.

Tampoco en los eventos de lluvia intensos de agosto (evento 27) y septiembre (evento 29) se produjeron concentraciones de sedimentos distintas a las de otros eventos con intensidades inferiores.

3.4. Tasas de erosión

La pérdida media de suelo fue de 16 Kg ha⁻¹ año⁻¹, y las diferencias entre parcelas y eventos, aunque de dos órdenes de magnitud (tabla 7) no dejan de ser anecdóticas ya que en general son muy bajas. Sí hay una clara influencia del tamaño de las parcelas sobre la tasas de erosión al depender el caudal del tamaño de las parcelas, y por lo tanto influir en la pérdida de suelo (ver tabla 7)

3.5. Lluvia simulada

Los experimentos con lluvia simulada reproducen chaparrones de alta intensidad que no han sido

Tabla 1. Precipitación (mm) según intervalos de intensidades diarias en los observatorios de la Sierra de Enguera (1940-2004) y la estación de El Teularet-Sierra de Enguera (2004).

Table 1. Rainfall (mm) at different daily intensities at the Sierra de Enguera meteorological stations (1940-2004) and the El Teularet-Sierra de Enguera meteorological station (2004).

Precipitación (mm día ⁻¹)	0-5	5-15	15-30	30-60	60-100	100-200	>200
Enguera, La Matea	24,68	143,88	214,70	133,61	52,28	3,76	0,00
Enguera, Las Arenas	42,30	140,25	178,42	102,73	40,59	29,92	0,00
El Teularet-Sierra de Enguera	222,6	220,8	202,8	69,6	0	0	0

Tabla 2. Número de días de precipitación anuales para los tres observatorios cercanos (1940-2004) y para la Estación Meteorológica de El Teularet-Sierra de Enguera en el año 2004.

*Se eliminan los días con precipitaciones inferiores a 0,4 mm.
Table 2. Annual rainy days for closest meteorological stations at the Sierra de Enguera (1940-2004) and the El Teularet-Sierra de Enguera meteorological station (2004). *Without the days of rainfall below 0.4 mm.

Observatorio	Número de días de precipitación
Enguera, CHJ	40,7
Enguera, La Matea	35,7
Enguera, Las Arenas	37,9
El Teularet-Sierra de Enguera	110/81*

medidos bajo lluvia natural. En ellos se cuantifica la respuesta ante lluvias intensas, y se han repetido en condiciones de humedad elevada (>20 %) en diciembre de 2004 y de baja humedad (< 6 %) en julio de 2004.

Los experimentos realizados en verano mostraron una escorrentía del 2,48 %, con concentraciones de sedimentos medias de 0,39 g l⁻¹ y tasas de erosión de 81 Kg ha⁻¹ h⁻¹. La escorrentía osciló

entre 0 en dos parcelas y 5,24 %, la concentración de sedimentos entre 0,15 y 0,78 g l⁻¹ y las tasas de erosión entre 0 y 167 Kg ha⁻¹ h⁻¹.

Las mediciones tomadas en invierno bajo la misma intensidad y duración de la lluvia mostraron valores de 6,39 % en cuanto a la escorrentía, 0,35 g l⁻¹ en la concentración de sedimentos y una tasa de erosión de 146,47 Kg ha⁻¹ h⁻¹. La escorrentía osciló entre 4,58 % y 8,25 %, la concentración de sedimentos entre 0,14 y 0,58 g l⁻¹ y las tasas de erosión entre 69,22 y 276,89 Kg ha⁻¹ h⁻¹.

Las escorrentías bajo lluvia simulada se iniciaron tarde (25' 34" en verano y 13' 54" en invierno) debido a la interceptación de las gotas de lluvia por las plantas y la hojarasca. La escorrentía superficial se produjo por debajo de la hojarasca y en volúmenes reducidos. Los encharcamientos del suelo no se podían observar con precisión por la presencia de hojarasca. Se observaron zonas repelentes al agua, sobre todo en verano, pero no se determinó su influencia debido a que ello hubiera supuesto la alteración de la vegetación y la hojarasca. También se observaron zonas de grietas donde se concentraba el flujo superficial y favorecía el flujo en macroporos.

4. Discusión

Las mediciones realizadas en este trabajo demuestran que la cubierta de *Quercus coccifera*, como otras cubiertas vegetales, contribuye a la ralentización de la escorrentía, a la interceptación de la precipitación y al aumento de las tasas de infiltración. La densa cubierta vegetal (> 90 % cubierta de plantas y hojarasca) también determina una muy baja erosionabilidad del suelo como lo demuestran las bajas concentraciones de sedimentos. Escasas escorrentías superficiales, y bajas con-

Tabla 3. Precipitación diaria media (precipitación media anual / número de días de precipitación) para los tres observatorios cercanos (1940-2004) y para la Estación Meteorológica de El Teularet-Sierra de Enguera en el año 2004. *Si sólo se tiene en cuenta aquellas precipitaciones superiores a 0,4 mm.

Table 3. Mean daily rainfall (mean annual rainfall / rainfall day number) for the closest station (1940-2004) and the El Teularet-Sierra de Enguera meteorological station (2004). *Without the days of rainfall below 0.4 mm.

Observatorio	Precipitación diaria media (mm)
Enguera, CHJ	14,5
Enguera, La Matea	15,1
Enguera, Las Arenas	12,6
El Teularet-Sierra de Enguera	6,51/8,83*

Tabla 4. Coeficiente de Escorrentía (%) en las cinco parcelas con cubierta de matorral de la estación experimental de El Teularet-Sierra de Enguera durante el año 2004. Precipitación 715,8 mm.

Table 4. *Runoff coefficient (%) at the five plots with scrubland cover at the El Teularet-Sierra de Enguera experimental station during 2004. Rainfall 715.8 mm.*

Parcela	A	B	C	D	E	Escorrentía (%)
Superficie (m ²)	1	2	4	16	48	Media
Matorral	0,14	0,12	0,08	0,03	0,01	0,076

Tabla 5. Escorrentía (mm) en las cinco parcelas con cubierta de matorral de la estación experimental de El Teularet-Sierra de Enguera durante el año 2004 para los cuatro eventos con escorrentía.

Table 5. *Runoff coefficient (mm) at the five plots with scrubland cover at the El Teularet-Sierra de Enguera experimental station during 2004. Rainfall 715.8 mm.*

Parcela	A	B	C	D	E
Superficie (m ²)	1	2	4	16	48
Evento 17 (38,2 mm)	0,2450	0,2290	0,0385	0,0157	0,0083
Evento 27 (26,8 mm)	0,2360	0,2125	0,2140	0,0784	0,0503
Evento 29 (32,6 mm)	0,5260	0,4475	0,3135	0,1346	0,0830
Evento 57 (140,6 mm)	0,0010	0,0007	0,0003	0,0001	0,1171

Tabla 6. Concentración media de sedimentos en la escorrentía (gr l⁻¹) en las cinco parcelas con cubierta de matorral de la estación experimental de El Teularet durante el año 2004.

Table 6. *Mean runoff sediment concentration (gr l⁻¹) at the five plots with scrubland cover at the experimental station El Teularet-Sierra de Enguera experimental during 2004.*

Parcela	A	B	C	D	E	Conc. Sedi.
Superficie (m ²)	1	2	4	16	48	Media
Matorral	0,04	0,07	0,05	0,03	0,03	0,044

Tabla 7. Tasa de erosión hídrica media (Kg ha⁻¹ año⁻¹) en la parcela cubierta de matorral de la estación experimental de El Teularet durante el año 2004.

Table 7. *Mean annual soil water erosion (Kg ha⁻¹ year⁻¹) at the five scrubland cover plots at the experimental station El Teularet-Sierra de Enguera experimental during 2004.*

Subparcela	A	B	C	D	E	Erosión
Superficie (m ²)	1	2	4	16	48	Media
Matorral-2	39,52	22,59	13,66	1,54	0,93	15,65

centraciones de sedimentos, dan como resultado tasas de erosión muy bajas, que en el caso de lluvias de baja intensidad como las medidas bajo lluvia natural durante el año 2004 favorecen pérdidas insignificantes de suelo. Tan sólo dos eventos de lluvia de intensidades elevadas, en sendas tormentas de verano, y también dos eventos de lluvia prolongada en la primavera y el invierno, movilizaron materiales. Al no haberse producido lluvias intensas, se han realizado experimentos con lluvia simu-

lada con intensidades de 15 años de periodo de recurrencia que han podido demostrar cómo las pérdidas de suelo aumentan con la intensidad de la lluvia, y que son más abundantes con los suelos húmedos. Sin embargo, a pesar de estas elevadas intensidades y volúmenes de precipitación, las pérdidas de agua y suelo han sido escasas en cualquiera de las mediciones realizadas.

Los experimentos con lluvia simulada han mostrado un aumento de la pérdida de suelo con el cau-

Tabla 8. Tasa de erosión hídrica ($\text{Kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) por eventos en las parcela cubierta de matorral de la estación experimental de El Teularet durante el año 2004

Table 8. Soil water erosion ($\text{Kg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$) by events at the scrubland cover plots at the experimental station El Teularet-Sierra de Enguera experimental during 2004.

Subparcela	A	B	C	D	E
Superficie (m^2)	1	2	4	16	48
Evento 17 (38,2 mm)	16,50	6,60	4,13	1,24	0,14
Evento 27 (26,8 mm)	65,80	41,25	23,52	1,42	1,45
Evento 29 (32,6 mm)	52,51	36,27	23,31	2,65	1,79
Evento 57 (140,6 mm)	23,25	6,25	3,68	0,85	0,33

Tabla 9. Escorrentía (%), concentración de sedimentos (g l^{-1}) y pérdida de suelo ($\text{Kg ha}^{-1} \text{hora}^{-1}$) bajo lluvia simulada ($68,2 \text{ mm h}^{-1}$) en julio de 2004 en el matorral de la Sierra de Enguera.

Table 9. Runoff (%), sediment concentration (g l^{-1}) and soil losses ($\text{Kg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$) under simulated rainfall ($68,2 \text{ mm h}^{-1}$) in July 2004 at the Sierra de Enguera scrublands.

Parcelas Verano	Escorrentía (%)	Conc. Sed. (g l^{-1})	Erosión ($\text{Kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)
1	2,65	0,58	104,82
2	3,84	0,48	125,71
3	5,24	0,47	167,96
4	2,65	0,65	117,47
5	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00
7	3,98	0,32	86,86
8	4,25	0,45	130,43
9	1,25	0,78	66,50
10	0,98	0,15	10,03
Media	2,48	0,39	80,98
Std	1,86	0,27	59,91
Cv (%)	0,75	0,69	0,74

dal, lo que muestra que el proceso de erosión es dependiente de la capacidad de transporte de la arroyada. En invierno, los suelos húmedos disponen de poco material para ser erosionado, por lo que no se encuentra relación entre los dos parámetros antes mencionados (ver Figura 4). En esas condiciones, el proceso de erosión es controlado por la disponibilidad de material o por el arranque por el impacto de gota, el cual es nulo por la presencia de una abundante cubierta vegetal.

Este trabajo confirma que los matorrales mediterráneos son cubiertas vegetales protectoras del suelo. Siguiendo los pasos de John Thornes, muchos investigadores españoles estudiaron el efecto del matorral sobre el control de la erosión, y todos ellos han podido ratificar esta tendencia

hacia suelos más estables bajo cubiertas de matorral. Los estudios de Romero-Díaz et al., (1995), López Bermúdez (1996) y Belmonte et al., (1999) en Murcia; Rodríguez et al., (1991), Calvo y Cerdà, 1994, Bochet et al., (1998), Cerdà (1999), Boix (2000), Cerdà y Bodí (2008) en el País Valenciano; González Hidalgo (1996-1997) y Guerrero Campo (1996-1997) en Aragón; Úbeda (1994) en Cataluña; Soto y Díaz-Fierros (1998) en Galicia; Puigdefábregas et al., (1992), Sánchez (1995) y Ruiz Sinoga et al., (2010) en Andalucía; o Schnabel et al., (1996) en Extremadura, entre otros, vienen a confirmar esta capacidad protectora del matorral. En el caso de *Quercus coccifera* se ha confirmado además que ante lluvias intensas la pérdida de suelo continua siendo baja por su

Tabla 10. Escorrentía (%), concentración de sedimentos (g l^{-1}) y pérdida de suelo ($\text{Kg ha}^{-1} \text{hora}^{-1}$) bajo lluvia simulada ($68,2 \text{ mm h}^{-1}$) en diciembre de 2004 en el matorral de la Sierra de Enguera.

Table 10. Runoff (%), sediment concentration (g l^{-1}) and soil losses ($\text{Kg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$) under simulated rainfall ($68,2 \text{ mm h}^{-1}$) in December 2004 at the Sierra de Enguera scrublands.

Parcelas Verano	Escorrentía (%)	Conc. Sed. (g l^{-1})	Erosión ($\text{Kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)
1	5,68	0,25	96,84
2	4,58	0,36	112,45
3	6,47	0,47	207,39
4	4,25	0,58	168,11
5	7,25	0,56	276,89
6	5,32	0,32	116,10
7	8,25	0,14	78,77
8	7,25	0,33	163,17
9	7,58	0,34	175,77
10	7,25	0,14	69,22
Media	6,39	0,35	146,47
Std	1,36	0,15	64,48
Cv (%)	0,21	0,44	0,44

cubierta de hojarasca, la elevada cubierta vegetal y el denso sistema radicular, todo ello temas que deben investigarse con más profundidad.

Los resultados obtenidos apuntan a que las escorrentías superficiales generadas en zonas de calizas se producen como consecuencia del retorno del flujo subsuperficial o por la saturación del suelo, pero no como escorrentía superficial directa al no superarse la capacidad de infiltración de los suelos (Cerdà, 1995). Este estudio permite confirmar que existe una pérdida del caudal con el aumento del área de medición como demuestran las mediciones con parcelas de distinto tamaño. Por ello, cuanto mayor es la parcela menor la pérdida de suelo y agua. Serán necesarias mediciones a escala de cuenca de drenaje para conocer si el retorno de flujo es efectivo en las laderas mediterráneas, y qué papel juega en ello cubiertas densas y protectoras como el matorral. Sin duda, los flujos subsuperficiales juegan un papel fundamental en la hidrología de las laderas mediterráneas, por lo que la investigación debe seguir a otras escalas como las cuencas de drenaje y prestando más atención a las escorrentías subsuperficiales.

Desde los años 60, la insistencia de John Thornes y otros investigadores en la importancia del matorral como protector del suelo fue desoída reiteradamente –aun lo es hoy– por la administración. El trabajo aquí presentado, y en su conjunto la Estación Experimental de El Teularet - Sierra de Enguera viene confirmando esa idea de que el matorral debe ser considerado un excelente protector del suelo, el cual debemos potenciar y proteger.

5. Conclusiones

Las mediciones bajo lluvia natural y simulada han demostrado que las cubiertas de matorral como *Quercus coccifera* presentan tasas de erosión del suelo y pérdidas de agua por arroyada superficial insignificantes, incluso bajo lluvias intensas y en condiciones de invierno con suelos húmedos. Se ha confirmado un aumento de la pérdida de suelo con el aumento de la intensidad de la precipitación, y también un descenso del agua y suelo transportado con el incremento de la parcela, lo que apunta a la infiltración de las escorrentías en macroporos. El matorral de *Quercus coccifera* es, por lo tanto, un magnífico gestor de los recursos suelo y agua.

Agradecimientos

Se agradece a la Masia d'Agricultura i Ramaderia Ecològica de El Teularet la ayuda en la instalación y mantenimiento de la estación experimental. El proyecto CGL2008-02879/BTE financió el material instalado en la estación experimental. Adrian Revert, Diego García y Fermin Poquet colaboraron en el mantenimiento de la estación experimental de El Teularet-Sierra de Enguera. Se agradece a los dos revisores las mejoras introducidas en el manuscrito original. El proyecto "Land and Ecosystem Degradation and Desertification: Assessing the Fit of Responses. LEDDRA 243857 CONSORTIUM AGREEMENT ENV.2009 243857 financió el último tramo de la investigación.

Referencias

- Belmonte Serrato, F., Romero-Díaz, A., López-Bermúdez, F. y Hernández Laguna, E. (1999). Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. *Papeles de Geografía*, 30, 5-15.
- Bergkamp, G. (1996). *Mediterranean Geoecosystems. Hierarchical organisation and degradation*. Tesis Doctoral, Departamento de Geografía Física y Edafología, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Amsterdam, 238 pp.
- Bochet, E., Rubio, J.L. y Poesen, J. (1998). Relative efficiency of three representative matorral species in reducing water erosion at the microscale in a semi-arid climate (Valencia, Spain). *Geomorphology*, 23, 139-150.
- Bodí, M. y Cerdà, A. (2008). La Estación Experimental para el Estudio de la Erosión y Degradación de los Suelos de El Teularet-Sierra de Enguera. En: *Erosión y degradación del suelo agrícola en España* Cerdà, A. (Ed.), Universitat de València Estudi General, Valencia, 2009, 209-238 pp.
- Boix, C. (2000). *Procesos geomórficos en diferentes condiciones ambientales mediterráneas: el estudio de la agregación y la hidrología de los suelos*. Tesis Doctoral, Facultad de Geografía e Historia, Universitat de València, 394 pp.
- Calvo, A. y Cerdà, A. (1994). An example of the changes in the hydrological and erosional response of soil after a forest fire, Pedralba (Valencia), Spain. En: *Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires* (M. Sala y J.L. Rubio, eds), Geofoma Ediciones, Logroño, 89-100.
- Cerdà, A. (1995). *Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos*. Monografías Científicas 5, Geofoma Ediciones, Logroño, 151 pp.
- Cerdà, A. (1997). Seasonal Changes of the Infiltration Rates in a Typical Mediterranean Scrubland on Limestone in Southeast Spain. *Journal of Hydrology*, 198, 198-209.

- Cerdà, A. (1999). Parent material and vegetation affect soil erosion in eastern Spain. *Soil Science Society of America Journal*, 63, 362-368.
- Cerdà, A. (2008). *Erosión y degradación del suelo agrícola en España*. Universitat de València Estudi General, Valencia, 238 pp.
- Cerdà, A. y Bodí, M. (2008). Erosión hídrica del suelo en el territorio valenciano. En: *Erosión y degradación del suelo agrícola en España* (Cerdà, A. ed.), Universitat de València Estudi General, Valencia, 51-82.
- Francis, C. y Thornes, J.B. (1990). Matorral: Erosion and Reclamation. En: *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas* (Albaladejo, J., Stocking, M.A. y Díaz, E. eds.), CSIC, Murcia, 87-112.
- García Ruiz, J.M. (1997). La agricultura tradicional de montaña y sus efectos sobre la dinámica hidromorfológica de laderas y cuencas. En: *Acción humana y desertificación en ambientes mediterráneos* (J.M. García Ruiz y P. López García, eds.), Instituto Pirenaico de Ecología, Zaragoza, 119-144.
- García Ruiz, J.M. y López Bermúdez, F. (2009). *La erosión del suelo en España*. Sociedad Española de Geomorfología, Logroño, 543 pp.
- González Hidalgo, J.C. (1996-1997). Efecto de la vegetación y orientación de ladera en perfiles de humedad en el suelo de un ambiente semiárido del interior de España. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 22-23, 81-96.
- Guerrero Campo, J. (1996-1997). Procesos erosivos intensos en las áreas marginales de la depresión del Ebro y del Pirineo. Interpretación de los patrones de vegetación. *Cuadernos de Investigación Geográficas*, 22-23, 57-79.
- López Bermúdez, F. (1996). Erosión del suelo e intervención humana en las regiones mediterráneas de la Península Ibérica. En: *España-Portugal: Ordenación Territorial del Sureste Comunitario* (A.J. Campesino y C. Velasco, eds.), Universidad de Extremadura, Cáceres, 141-170.
- López Bermúdez, F., Thornes, J.B., Romero, A., Francis, C.F. y Fisher, G.C. (1986). Vegetation-erosion relationships; Cuenca de Mula, Murcia, Spain. En: *Estudios sobre Geomorfología del Sur de España* (F. López Bermúdez y J.B. Thornes, eds.), Murcia, 101-104.
- Puigdefábregas, J., Solé, A., Lázaro, R. y Nicolau, J.M. (1992). Factores que controlan la escorrentía en una zona semiárida sobre micaesquistos. *Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología*, 117-127.
- Rodríguez, J., Pérez, R. y Cerdà, A. (1991). Colonización vegetal y producción de escorrentía en bancales abandonados: Vall de gallinera, Alacant. *Cuaternario y Geomorfología*, 5, 119-129.
- Romero Díaz, A., Barberá, G.G. y López Bermúdez, F. (1995). Relaciones entre erosión del suelo, precipitación y cubierta vegetal en un medio semiárido del sureste de la península ibérica. *Lurralde*, 18, 229-243.
- Ruiz Sinoga, J.D., Romero Díaz, A., Ferre Bueno, E. y Martínez Murillo, J.F. (2010). The role of soil surface conditions in regulating runoff and erosion processes on a metamorphic hillslope (Southern Spain). Soil surface conditions, runoff and erosion in Southern Spain. *Catena*, 80, 131-139.
- Sánchez, G. (1995). *Arquitectura y dinámica de las matas de esparto (Stipa tenacissima L.) efectos en el medio e interacciones con la erosión*. Tesis Doctoral inédita. Universidad Complutense de Madrid, 120 pp.
- Schnabel, S., Gómez Amelia, D. y Bernet, R. (1996). La pérdida de suelo y su relación con la cubierta vegetal en una zona de dehesa. *VII Coloquio Ibérico de Geografía*, Cáceres, 195-206.
- Soto, B. y Díaz-Fierros, F. (1998). Runoff and soil erosion from areas of burnt scrub: comparison of experimental results with those predicted by the WEPP model. *Catena*, 31, 257-270.
- Thornes, J. B. (1976). Semi-arid erosional system, case studies from Spain. *Geographical papers*, Great Britain, London School of Economics, 7, 104 pp.
- Thornes, J.B. (1985). The Ecology of Erosion. *Geography*, 70 (3), 222-36.
- Úbeda, X. (1994). Caracterització del sòl i quantificació del transport de sediment en un bosc mediterrani (les Gavarres, Massís Litoral CATALA). *Notes de Geografia Física*, 23, 31-38.