



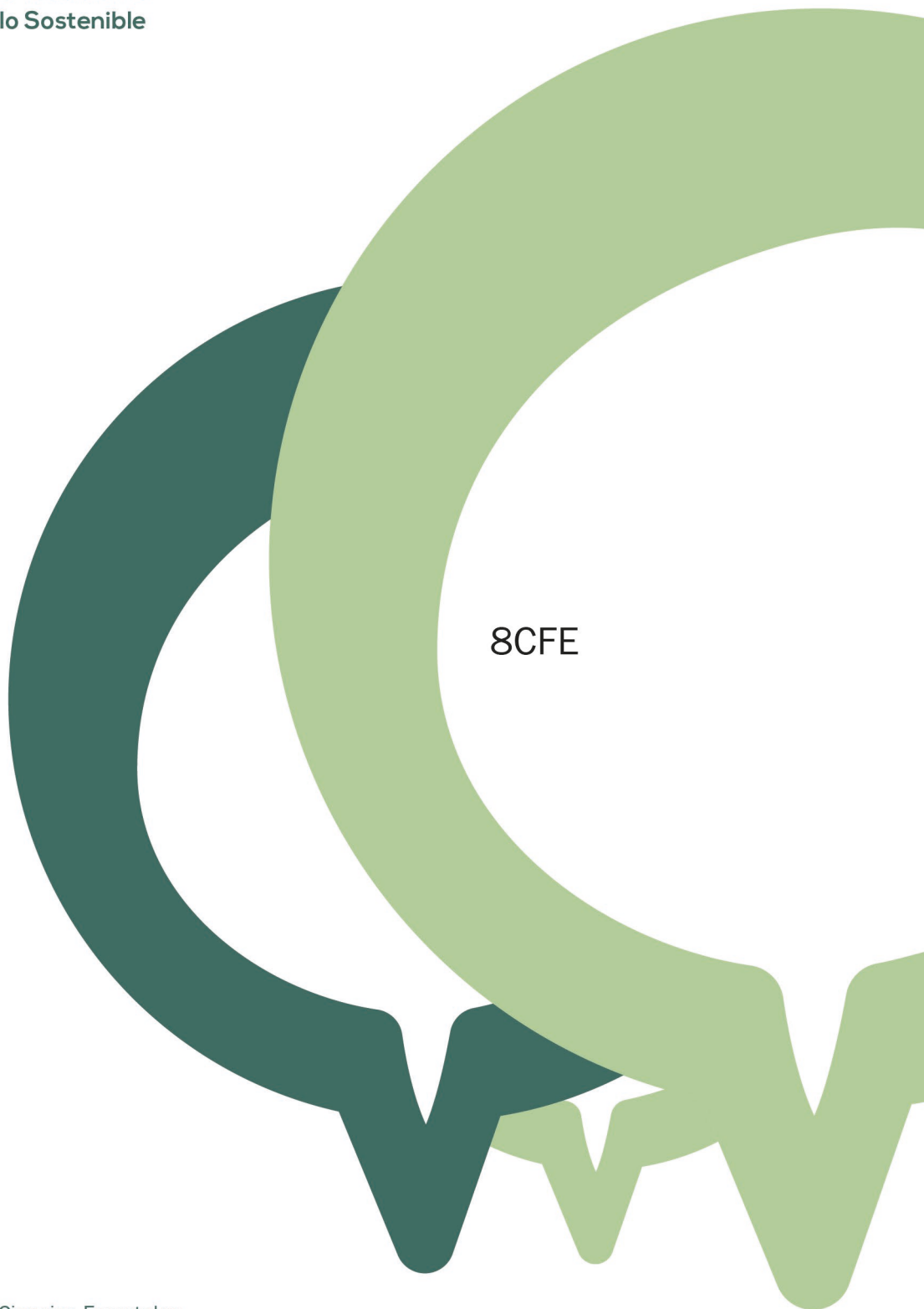
2022
Lleida

27·1
junio · juny
julio · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



Estimación y control de la erosión hídrica en laderas de bosque mediterráneo transformadas a viñedo

MONGIL MANSO, J.^{1,2}, NAVARRO HEVIA^{2,3}, J., SAIZ ROJO, A.^{3,4}

¹ Universidad Católica de Ávila

² Forest, water and soil Research Group

³ E.T.S. Ingenierías Agrarias de Palencia. Dpto. de Ingeniería Agrícola y Forestal (Universidad de Valladolid)

⁴ ZENIT Ingeniería y Consultoría

Resumen

Las laderas de los páramos calizos vallisoletanos no suelen tener problemas de erosión, mientras se mantenga la vegetación original de encinares o quejigares y se respete la red de drenaje natural. Cuando esta vegetación se degrada o se sustituye por un cultivo como el viñedo, y se anula el sistema de drenaje natural, se inician procesos erosivos de gravedad ante episodios de tormenta. En este trabajo, se analizan los problemas erosivos en una finca de la ribera del Duero. La parte alta está cubierta por monte mediterráneo con encinas y sabinas, y la inferior por viñedo, habiéndose condenado el drenaje de los cauces naturales. Se ha trabajado con fotografías aéreas desde 1946, para detectar zonas de erosión y la situación de los antiguos cauces naturales, y se han estimado las pérdidas de suelo con el modelo USLE, con varios escenarios: 1. Situación actual, con diferentes coberturas vegetales en viñedo; y 2. Con medidas de conservación, *mulch* orgánico y cubiertas herbáceas. Adicionalmente, se han diseñado las medidas de control de erosión más apropiadas, con la dinámica hidrológica de las laderas y las necesidades productivas y fitosanitarias del viñedo. En el primer escenario, las pérdidas de suelo se sitúan por encima de 40 t·ha⁻¹·año⁻¹ (graves) mientras que en el segundo están por debajo de 5 t·ha⁻¹·año⁻¹ (muy ligeras). Los primeros efectos tras aplicación de las medidas son concordantes a nuestro estudio. Los resultados pueden ser útiles para muchos otros viñedos de la región en situaciones similares.

Palabras clave

Conservación de suelos, *mulch*, pérdidas de suelo, Ribera del Duero, USLE, uso del suelo.

1. Introducción

La transformación de un monte arbolado en cultivo, por ejemplo, en viñedo, conlleva una pérdida de cubierta vegetal que favorece la erosión hídrica, especialmente si la pendiente es elevada. Así, por ejemplo, en los viñedos de Anoaia-Penedès, las transformaciones en las tierras eliminaron las técnicas tradicionales y dejaron los suelos desnudos, lo que reactivó o aceleró los procesos erosivos (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2009; Martínez-Casasnovas *et al.*, 2012). Generalmente, en un viñedo, las filas de vides dejan amplios espacios sin vegetación, lo que genera una gran cantidad de escorrentía superficial que arrastra el suelo (Ramos & Martínez-Casasnovas, 2006). De esta forma, progresan y se generalizan fenómenos de erosión laminar, en regueros y en cárcavas. Esto puede generar un elevado coste económico, que se ha cuantificado en un 5% de los ingresos por la venta de la uva (Ramos *et al.*, 2005).

La actividad erosiva en viñedos tiene las consecuencias siguientes (Auzet *et al.*, 2006; Blavet *et al.*, 2009): arranque y transporte de sedimentos, reducción del almacenaje de carbono orgánico, reducción de la fertilidad de los suelos, exposición de las raíces de las plantas (lo que supone la pérdida de soporte físico) y formación de regueros, cárcavas y coladas de barro. En los viñedos mediterráneos, la erosión se ve favorecida por su establecimiento en fuertes pendientes (Wichereck, 1993); la disposición de las vides en hileras siguiendo la máxima pendiente (Zanchi, 1998); la ocurrencia de tormentas muy intensas de gran capacidad erosiva (Arnáez *et al.*, 2007); la eliminación

de la vegetación entre filas de vides por parte de los viticultores para reducir competencia; la realización de labores mecanizadas que compactan el suelo, lo que reduce la infiltración y la retención de agua, e incrementa la escorrentía; la ausencia de prácticas de conservación de suelos; y la reducción de la densidad de viñas, lo que supone más suelo desnudo (Llorente, 2015).

Todo ello hace necesario que se tomen las medidas adecuadas para la prevención de la pérdida de suelo en el establecimiento de nuevos viñedos o, si estos ya están instalados, actuaciones de control de la erosión. En este trabajo se presenta un caso de estudio llevado a cabo en una de las zonas vitivinícolas más importantes de España, como es la Ribera del Duero. Allí, el interés de este cultivo ha supuesto, en ocasiones, la sustitución del bosque original e, incluso, la desaparición de la red de drenaje natural. Ambas situaciones conllevan consecuencias hidrológicas y ambientales indeseables.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es cuantificar la erosión hídrica en una finca de viñedo situada en la ribera del Duero, localizada en cuevas del páramo que anteriormente albergaban un bosque mediterráneo. Así mismo, tras la redacción y ejecución de un proyecto de control de la erosión en la finca, se estima la erosión con las medidas de conservación de suelos proyectadas, con el fin de conocer su idoneidad y eficacia.

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El área de estudio comprende una finca que se localiza en el término municipal de Pesquera de Duero (Valladolid). Está situada en la zona de cuevas de los páramos calizos que componen la zona norte de la vega del río Duero. Prácticamente el 75 % de la finca abarca la ladera del páramo con orientación sur. Esta zona de la finca está cubierta con vegetación arbórea de distinta cobertura, formada principalmente por encina, acompañada de una orla arbustiva de carácter mediterráneo xérico (60,3 ha). El resto de la parcela, con pendientes menores, está dedicada exclusivamente al cultivo de viñedo (98,4 ha) (Figura 1). Algunas zonas de la ladera no presentan una cobertura completa de vegetación, debido a los antiguos aprovechamientos de leñas y pastos, lo que propicia la formación de cárcavas y otros procesos erosivos (Figura 2). La regeneración del encinar por brotes es escasa debido a la avanzada edad de las cepas y la regeneración por semilla está muy limitada por la degradación de los suelos. Los procesos erosivos, con fuertes tormentas, afectan a la zona agrícola, que ante la desaparición de su drenaje natural no es capaz de asimilar toda la escorrentía, y se produce el arrastre de sedimentos. Asimismo, la disposición de las líneas de cultivo hace que las cárcavas desencadenadas por el agua afecten a las plantas, llegando a descalzar líneas enteras de vides.



Figura 1. Vistas generales de la zona de estudio con marcados procesos erosivos.



Figura 2. Varias zonas de las laderas naturales con presencia de cárcavas y zonas abiertas de arbolado.

3.2. Análisis de la problemática

La situación de la finca en una ladera, que comprende desde la parte alta del páramo hasta la ribera del río Duero (Figura 3), condiciona los procesos erosivos, fundamentalmente por las elevadas pendientes que se encuentran en algunos tramos de las cuestas de los páramos. Así, la problemática identificada puede resumirse de la siguiente manera:

- Formación de cárcavas en la zona de cabecera por falta de cobertura. Tanto en las cuestas del páramo como en las zonas más altas de los cultivos, se comienzan a producir cárcavas debido a la velocidad y al caudal que discurre por las zonas de máxima pendiente.
- Erosión en zonas intermedias. En los tramos intermedios de la finca, las cárcavas originadas en la zona alta, aumentan de tamaño descalzando las plantas de los cultivos y produciendo daños en los caminos de la finca.
- Deficiencias de drenaje en la zona baja de la finca. Por último, en la zona baja de la finca, antes del límite de la misma, se han identificado deficiencias de drenaje que provocan desbordamientos de agua y encharcamientos. Esto se debe en parte a la condena de puntos de evacuación de aguas. Destaca la zona de la entrada principal, donde se acumula gran cantidad de agua en episodios de lluvia.

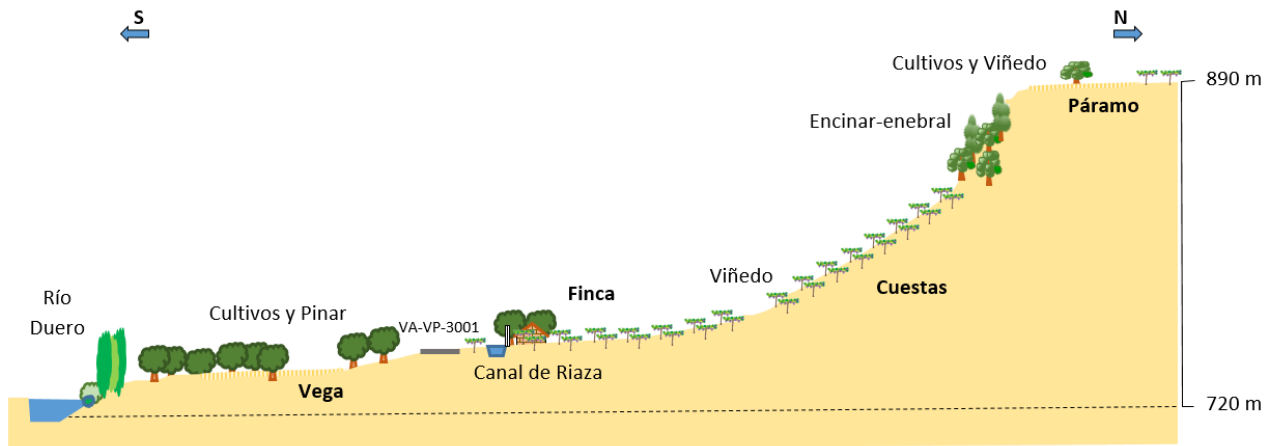


Figura 3. Situación geomorfológica de la finca y distribución de la vegetación.

Mediante el estudio de fotografías aéreas entre 1945 y 2019, y observaciones de campo, se ha analizado la situación erosiva en la que se encuentra la finca, teniendo en cuenta los cambios de uso del suelo, las cubiertas vegetales, la presencia de cárcavas y barrancos, y las modificaciones en la red natural de drenaje. En las fotografías (Figura 4) se puede observar la anulación de la red natural de drenaje a lo largo de los últimos 60 años. Se comprueba que, en el establecimiento del viñedo, se han eliminado los pequeños arroyos estacionales que descendían por las laderas. Esto ha propiciado que los principales problemas erosivos se localicen en las zonas donde anteriormente se ubicaban los cauces.

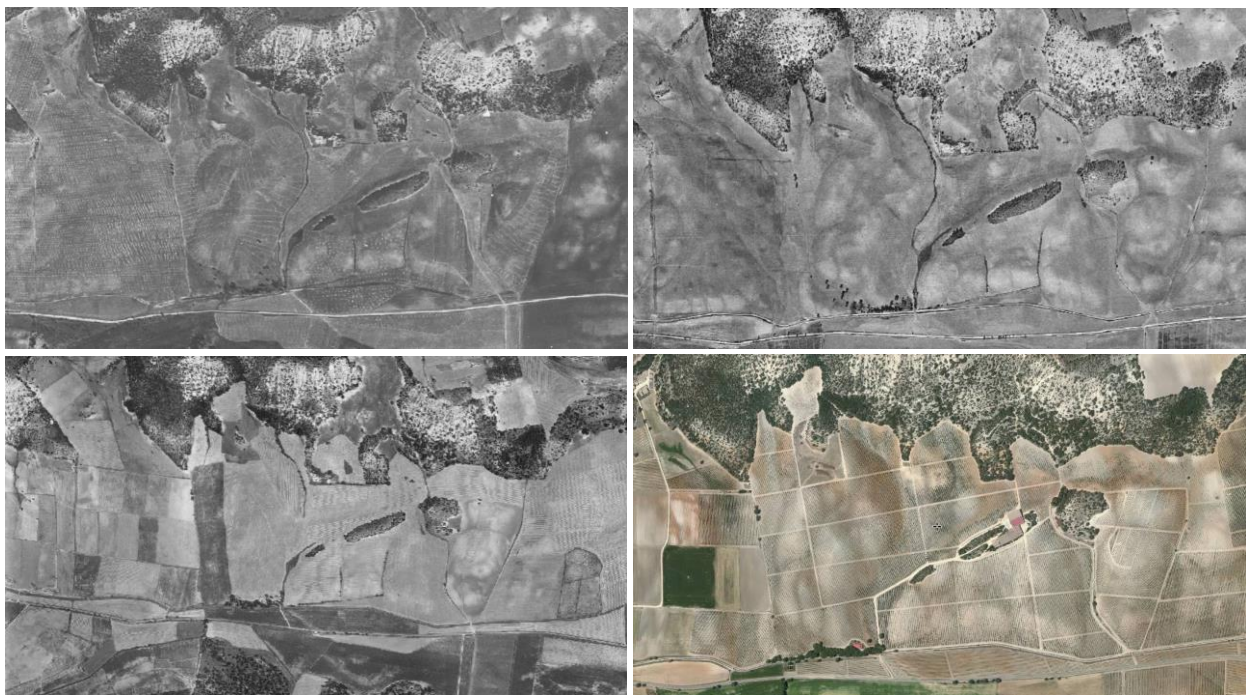


Figura 4. Fotografías aéreas de la finca y red de drenaje antural y alterada en 1945-46, 1956-57, 1973 y 2019.

3.3. Descripción de las actuaciones

En función de la problemática existente, se redactó un proyecto de corrección de los procesos erosivos y de mejora del drenaje superficial de la finca, cuyos objetivos fueron los siguientes:

- Evitar cualquier afección al tránsito de vehículos por la finca y entre las líneas de cultivo.
- Evitar impactos estéticos y paisajísticos en la finca.
- Evitar grandes ocupaciones de terreno y minimizar la afección a la superficie de viñedo.
- Conservar y mejorar las condiciones ambientales del entorno, favoreciendo las características actuales de la finca.

Para ello, se establecieron los siguientes criterios conceptuales para el diseño de las actuaciones:

- Adaptar las actuaciones a las características del entorno, evitando grandes movimientos de tierra y la modificación del relieve existente.
- Emplear materiales y técnicas que aseguren la viabilidad de las actuaciones y su integración en el entorno.
- Minimizar el uso de materiales agresivos o impactantes.
- Favorecer la accesibilidad de la maquinaria agrícola en toda la finca, evitando obstáculos para la entrada y salida de la maquinaria en todas las calles del viñedo.

Las actuaciones proyectadas fueron las siguientes:

a) Actuaciones de obra civil.

- Diques de mampostería en cabecera (Figura 5): Se han proyectado 8 diques, situados en el límite de la zona de monte y viñedo, con el objetivo de reducir la velocidad de la escorrentía superficial, evitar la concentración del flujo del agua en un punto y servir como filtro para los arrastres y el caudal sólido.
- Drenes de piedra: Dado que uno de los principales problemas es la ausencia de una red de drenaje natural por donde dirigir la escorrentía sin que produzca daños a los cultivos, se construirán nueve drenes de material filtrante (drenes ciegos con piedra caliza del entorno). Con ellos se conseguirá: favorecer la infiltración del agua de escorrentía y asegurar el paso de la maquinaria por los caminos y el acceso a las líneas de cultivo.
- Reperfilado de cunetas: Varios caminos de la finca, que discurren de norte a sur, con fuerte pendiente, requieren un perfilado de las cunetas marcando de nuevo una sección triangular y aportando una pendiente continua.
- Mejora de la evacuación de cunetas existentes: Existen varios tramos de cunetas que discurren por caminos, y que deben adecuarse para verter su caudal lo antes posible en zonas de vegetación natural aledaña.
- Mejora de la red de drenaje (colectores): En la zona de evacuación de la red de drenaje de la propia finca, en el entorno de la entrada principal, se construirán unos colectores que recojan el agua de escorrentía y lo dirijan a una parcela de los mismos propietarios, fuera del vallado, manteniendo en lo posible la red de drenaje natural.

b) Actuaciones de revegetación:

- Plantaciones forestales en ladera: A medio o largo plazo se pretende una mejora de la cubierta vegetal de las cuestas, que consistirá en la repoblación forestal con 250 pies/ha, mayoritariamente con encina (*Quercus ilex* ssp. *ballota*), enebro (*Juniperus thurifera*) y pino piñonero (*Pinus pinea*), además de varias especies arbustivas. La superficie de actuación es 60,8 ha. La preparación del terreno se realizará mediante ahoyado manual, y se instalarán protectores de rejilla en todas las plantas.
- Siembras de cubiertas vegetales (Figura 5): Se llevará a cabo la siembra de cubiertas vegetales en calles alternas del viñedo, así como en todas las calles de las zonas puntuales en las que se observa el inicio de cárcavas. Las especies a emplear son avena (*Avena sativa*) y veza (*Vicia sativa*). Dado que se trata de un viñedo en secano no se puede instalar vegetación herbácea en toda la superficie. Asimismo, se decide no instalar o fomentar vegetación herbácea natural que pueda continuar activa durante el periodo estival, en la que el viñedo requiere los recursos hídricos disponibles. El uso de especies como la avena evita este condicionante, dado que en verano se agosta, aunque sus raíces continúan realizando labores de retención de suelo y fomentando la infiltración del agua.



Figura 5. Actuaciones ejecutadas: siembras entre calles (izquierda) y dique de mampostería en seco (derecha).

c) Propuestas de laboreo y manejo del terreno:

- Trituración de restos de poda: En las zonas críticas con mayor erosión o en las zonas de viñedo situadas a mayor altitud, en las que no se haya establecido una cubierta vegetal, se propone realizar un *mulching*. Para ello, se emplearán los restos de poda de la vid (sarmientos) triturados.
- Adaptación del laboreo: Adicionalmente, se propone limitar o reducir las prácticas de paso de rodillo, en aquellas zonas de viñedo de mayor altitud y pendiente, o las que presenten indicios de erosión, para evitar la compactación y para favorecer la infiltración. Así mismo, se limita el paso del cultivador en las zonas de mayor riesgo de erosión y en los fondos de valle por donde discurre la escorrentía natural.

3.4. Análisis de la erosión

Se ha estimado la erosión mediante la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (*Universal Soil Loss Equation, USLE*) (Wischmeier & Smith, 1978), cuyo resultado representa el valor medio de suelo que se perdería en un periodo de tiempo suficientemente largo (> 20 años), en las laderas analizadas, en condiciones de pendiente, suelo, vegetación y clima homogéneos:

$$A \text{ (t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}\text{)} = R\cdot K\cdot C\cdot L\cdot S\cdot P$$

donde,

R = Factor de erosividad de la lluvia y la escorrentía. Este valor se ha obtenido del Geoportal del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, cargando la capa correspondiente en la zona, del factor R (<https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>).

K = Factor de erosionabilidad del suelo. Se ha obtenido a partir de los datos obtenidos del análisis edafológico en las laderas.

C = Factor de protección de la vegetación cultivada o natural. Evalúa el efecto del tipo de vegetación que crece sobre el terreno, ya sea un cultivo, pastos, matorrales, arbolado, o una combinación de ambos (dehesas agrícolas, ganaderas, etc.). Un factor C próximo a la unidad representa una cubierta vegetal prácticamente ausente y un terreno no protegido. Un valor mucho menor que la unidad indica una excelente protección del suelo, como ocurre en las zonas de bosque natural con un 100% de cubierta aérea, así como un 100% de cubrición de hojarasca sobre el suelo.

Se ha obtenido de las tablas de López Cadenas *et al.* (1990), dependiendo de si la altura del arbolado no supera o supera los 4 m. Para ello, es necesario conocer el tipo de cubierta vegetal y el % de terreno que cubre, además de la fracción de hojarasca, pinocha, restos vegetales, líquenes o musgos, o cubierta herbácea, que están en contacto directo sobre el suelo, y el efecto del ganado en los

terrenos, si lo hubiere (se distingue la condición de control de pastoreo, considerando que no hay carga de ganado o esta es siempre admisible, o bien, sin control de pastoreo, cuando la presencia de ganado es superior a su carga admisible).

En este caso, el factor C se ha calculado para las distintas situaciones a evaluar (Figura 6), teniendo en cuenta los porcentajes de cobertura existentes en la finca:

1. Evaluación de la situación actual:
 - 1.1. Erosión en estado actual en una parcela tipo del viñedo, con una FCC del 25% y suelo desnudo.
 - 1.2. Erosión en estado actual en una parcela tipo del viñedo, con una FCC del 50 % y suelo desnudo.
2. Evaluación con medidas de conservación de suelos:
 - 2.1. Erosión en estado de protección en una parcela tipo del viñedo, con una FCC del 25% y suelo con un *mulch* orgánico, con una cobertura en contacto con el suelo del 80%.
 - 2.2. Erosión en estado de protección en una parcela tipo del viñedo, con una FCC del 50 % y suelo con un *mulch* orgánico, con una cobertura en contacto con el suelo del 80%

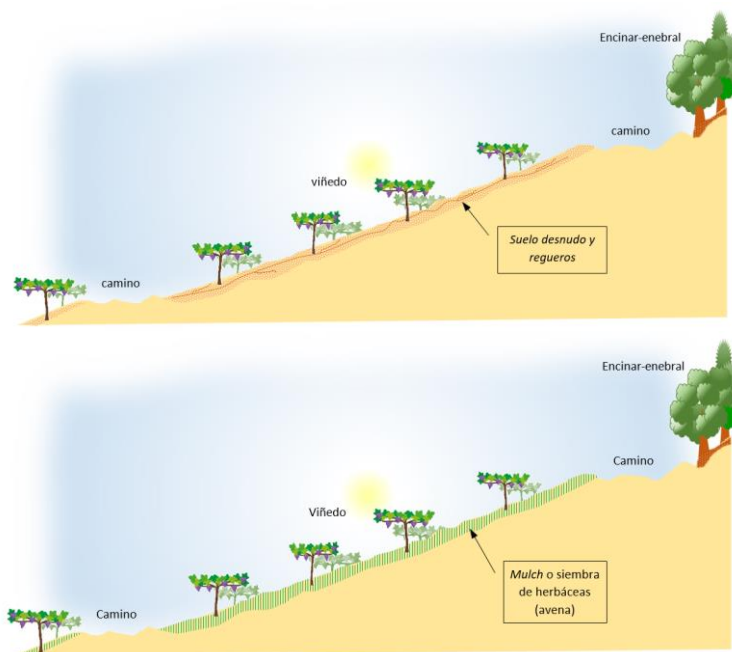


Figura 6. Croquis de ladera tipo del viñedo, (1) suelo desnudo, con bosque de encinas, quejigos y enebras en cabecera; (2) suelo cubierto con un mulch o cubierta herbácea (avena) en el 80%, con el mismo bosque de encinas, quejigos y enebras en cabecera.

$L \cdot S$ = Factor topográfico de ladera, donde L es el factor dependiente de λ (la longitud de la ladera en m y medida en proyección horizontal); y S es el factor topográfico relativo a la pendiente de la ladera (s). Representa el efecto de la inclinación del terreno y de su longitud en la generación de escorrentía y, por tanto, en la susceptibilidad del suelo a ser erosionado por el transporte del agua. En los casos estudiados se ha empleado la siguiente ecuación:

$$L \cdot S = \lambda^{0,5} \cdot (0,0138 + 0,00965 \cdot s + 0,00138 \cdot s^2) \quad (\text{para } \lambda < 350 \text{ m y } s \leq 20\%)$$

donde λ es la longitud de la ladera (m) y s su pendiente (%).

P = Factor prácticas de conservación de suelos. Se obtiene de la tabla de López Cadenas *et al.* (1990).

Teniendo en cuenta las clasificaciones de la erosión hídrica establecidas por FAO (1980) y Verheijen *et al.* (2009), para este trabajo se han establecido los intervalos de pérdida de suelo que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación e interpretación de las pérdidas de suelo. Elaboración propia a partir de FAO (1980) y Verheijen *et al.* (2009).

Pérdida de suelo (t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	Grado de erosión	Interpretación
< 1,4	Inapreciable	La pérdida de suelo es prácticamente nula. El suelo se regenera a lo largo del tiempo y las aguas de la zona mantienen su calidad. La productividad agraria no está comprometida.
1,4 a 5	muy ligera	La erosión permite todavía la regeneración del suelo a lo largo del tiempo, en general, o está muy ligeramente comprometida. Las aguas de la zona pueden tener problemas de calidad por sedimentos ocasionalmente. La productividad agraria no está comprometida.
5 a 10	ligera	La erosión compromete la regeneración del suelo a lo largo del tiempo, pero la productividad agraria no está comprometida. Las aguas de la zona pueden tener problemas de calidad por sedimentos ocasionalmente.
10 a 50	moderada	La erosión compromete la regeneración del suelo a lo largo del tiempo, y la productividad agraria está afectada. Las aguas de la zona tienen problemas de calidad por sedimentos. Es necesario aplicar prácticas de conservación de suelos.
50 a 100	grave	La erosión compromete la regeneración del suelo a lo largo del tiempo, y la productividad agraria está bastante afectada. Las aguas de la zona tienen problemas significativos de calidad por sedimentos. Es necesario aplicar prácticas de conservación de suelos como fajas de cultivo o terrazas.
100 a 200	muy grave	La erosión provoca la desaparición del suelo fértil en episodios de lluvia concretos, y el uso de la tierra, así como la productividad agraria están en peligro. Las aguas de la zona pierden la posibilidad de uso para abastecimiento y existe peligro de supervivencia para determinadas especies acuáticas. Es necesario mejorar la protección del suelo por la vegetación, aplicar prácticas de conservación de suelos como fajas de cultivo, bancales o terrazas.
> 200	Extrema	La erosión provoca la desaparición en una extensa superficie del suelo fértil, y el uso de la tierra, así como la productividad agraria están en peligro extremo. Las aguas de la zona pierden la posibilidad de uso para abastecimiento y para la supervivencia de la vida acuática. Es necesario mejorar la protección del suelo por la vegetación, aplicar prácticas de conservación de suelos como fajas de cultivo, bancales o terrazas, o aplicar técnicas estructurales como muros de contención, diques de retención, obras de desagüe, etc.,

4. Resultados

Los resultados de la aplicación del modelo USLE se exponen en la Tabla 2. Se han analizado dos situaciones diferentes:

1. Situación actual. Se trata de una ladera totalmente plantada de viñas, a partir de una zona superior ocupada por un bosque de encinas y sabinas. En la Figura 3 se muestra el croquis detallado de la ladera. Para los cálculos se han tenido en cuenta dos casos:

1.1. Erosión en estado actual en una parcela tipo con una FCC del 25% y suelo desnudo. Consideramos una parcela del viñedo, con una cobertura aérea (FCC) del 25%, y el suelo desnudo. La erosión compromete la regeneración del suelo a lo largo del tiempo, y la productividad agraria está

bastante afectada. Las aguas de la zona tienen problemas significativos de calidad por sedimentos. Es necesario aplicar prácticas de conservación de suelos como fajas de cultivo o terrazas.

1.2. Erosión en estado actual en una parcela tipo con una FCC del 50 % y suelo desnudo. La erosión compromete la regeneración del suelo a lo largo del tiempo, y la productividad agraria está bastante afectada. Las aguas de la zona tienen problemas significativos de calidad por sedimentos. Es necesario aplicar prácticas de conservación de suelos como fajas de cultivo o terrazas.

2. Con medidas de conservación de suelos, teniendo en cuenta, a su vez, dos casos:

2.1. Erosión en estado de protección en una parcela tipo del viñedo, con una FCC del 25% y suelo con un *mulch* orgánico con una cobertura en contacto con el suelo del 80%. La erosión permite todavía la regeneración del suelo a lo largo del tiempo, en general, o está muy ligeramente comprometida. Las aguas de la zona pueden tener problemas de calidad por sedimentos ocasionalmente. La productividad agraria no está comprometida.

2.1. Erosión en estado de protección en una parcela tipo del viñedo, con una FCC del 50 % y suelo con un *mulch* orgánico, con una cobertura en contacto con el suelo del 80%. La erosión permite todavía la regeneración del suelo a lo largo del tiempo, en general, o está muy ligeramente comprometida. Las aguas de la zona pueden tener problemas de calidad por sedimentos ocasionalmente. La productividad agraria no está comprometida.

Tabla 2. Resultados de la estimación de la erosión en los cuatro casos considerados

VARIABLE	CASO 1.1	CASO 1.2	CASO 2.1	CASO 2.2
Factor R ($\text{hJ}\cdot\text{cm}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$)	55,96	55,96	55,96	55,96
Factor C	0,42	0,39	0,042	0,04
Factor K ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}\cdot\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{hJ}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$)	0,36	0,36	0,36	0,36
Factor LS	5,35	5,35	5,35	5,35
Factor P	1,00	1,00	1,00	1,00
Longitud (m)	130	130	130	130
Pendiente (%)	15	15	15	15
A ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)	42,25	42,02	4,53	4,31
Clasificación	Grave	Grave	Muy ligera	Muy ligera

La ladera cubierta por el viñedo posee, en el estado actual una cubierta protectora sobre el suelo, durante el periodo vegetativo, entre el 25 y el 50%, estando todo el año el suelo desnudo. Esto hace que, aunque las lluvias en la zona no tienen un carácter demasiado erosivo, el terreno se halla muy desprotegido y las pérdidas de suelo son graves, comprendidas entre 42 y 45 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. En estas circunstancias la erosión compromete la regeneración del suelo a lo largo del tiempo, y la productividad agraria queda bastante afectada si no se toman medidas. Las escorrentías de la zona arrastran una cantidad significativa de sedimentos que alteran la calidad del agua. Resulta necesario aplicar prácticas de conservación de suelos, como fajas de cultivo o terrazas, protección del suelo mediante cubiertas herbáceas compatibles con el viñedo o mediante un *mulch* de residuos agrícolas (paja, heno, etc.).

En el caso de efectuar una protección del suelo mediante una cubierta herbácea o un *mulch* que cubra alrededor del 80% del suelo, la pérdida de suelo baja a valores tolerables, siendo muy ligera en ambos casos, entre 4,3 y 4,5 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Esta protección del terreno desnudo contribuye a generar unas pérdidas de suelo prácticamente inexistentes por la disminución de la escorrentía y la mejora en la infiltración. La erosión permite la regeneración del suelo a lo largo del tiempo, en general, o está muy ligeramente comprometida. Las aguas de la zona pueden tener problemas de calidad por sedimentos muy ocasionalmente y la productividad agraria no queda comprometida.

5. Discusión

En la Tabla 3 se muestran algunos valores de pérdidas de suelo en viñedos, obtenidas por varios autores y recopiladas por Llorente (2015). Las pérdidas de suelo obtenidas en la finca de estudio son muy elevadas (por encima de 40 t·ha⁻¹·año⁻¹) antes de las actuaciones, en comparación a otros viñedos. Sin embargo, al establecer una cubierta vegetal viva o un *mulch*, las pérdidas de suelo toman valores bajos en términos relativos, pudiéndose comparar con los existentes en las zonas vitivinícolas aterrazadas del Douro en Portugal, o de Belmonte de Tajo, en donde los viñedos se establecen en terrenos de pendientes muy suaves.

Tabla 3. Pérdidas de suelo en viñedos (Llorente, 2015).

LUGAR	EROSIÓN (t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	FUENTE
Belmonte de Tajo (España)	0,35-1,79	Ruíz-Colmenero <i>et al.</i> (2011)
Vila Real (España)	0,78-5,88	Ruíz-Colmenero <i>et al.</i> (2013)
Douro (Portugal)	1,10-2,80	Figueiredo & Ferreira (1993)
<i>Ribera del Duero (España)</i>	<i>4,4</i>	<i>Este trabajo (con cubierta)</i>
Suiza	15-25	Litzler (1988)
Piamonte (Italia)	20,77	Biddoccu <i>et al.</i> (2014)
Anoia-Penedés (España)	22	Usón (1998)
Languedoc (Francia)	22-26	Follain <i>et al.</i> (2012)
Navarra (España)	30	Casalí <i>et al.</i> (2009)
Navarra (España)	19-44	Lorenzo <i>et al.</i> (2002)
Cuenca de París (Francia)	35	Wichereck (1991)
<i>Ribera del Duero (España)</i>	<i>42,1</i>	<i>Este trabajo (sin cubierta)</i>
Sambuca, Sicilia (Italia)	86-118,5	Novara <i>et al.</i> (2011)

Las cubiertas vegetales de los suelos de las viñas son una medida eficaz y muy en boga en los últimos años. Aunque tienen algunos inconvenientes debido a la competencia de esta vegetación con las vides por recursos escasos como el agua o los nutrientes, las cubiertas presentan las siguientes ventajas (Ramírez & Lasheras, 2015):

- Protegen contra la erosión ¿y mejoran la infiltración edáfica?
- Mejoran la estructura del suelo
- Facilitan el paso de la maquinaria en cualquier época del año
- Reducen la compactación del suelo debida al paso de la maquinaria
- Enriquecen el suelo en materia orgánica
- Activan la actividad microbiana del suelo
- Controlan el crecimiento de algunas malas hierbas.

Existen numerosas experiencias de utilización de cubiertas en viñedos. Rodrigo-Comino *et al.* (2017a) y Rodrigo-Comino *et al.* (2017b) proponen sembrar plantas aromáticas y/o leguminosas en forma de parches en aquellas zonas de la viña que sean el origen de la erosión, que además de proteger el suelo también pueden comercializarse o servir de alimento para el ganado. Marqués *et al.* (2007) han comprobado en la comunidad de Madrid que las cubiertas frenan la escorrentía generada por la lluvia en primavera; la humedad media del suelo no se ve afectada, aunque sí su comportamiento hidrológico. Marqués *et al.* (2009) indican que las cubiertas vegetales permanentes en cultivos leñosos en pendiente mejoran las características del suelo y reducen la erosión, pero afectan al rendimiento de los viñedos cuando son jóvenes; otras técnicas como las cubiertas con siega primaveral evitan la competencia por el agua, permiten obtener los mismos rendimientos y frenan eficazmente la erosión. Prosdocimi *et al.* (2016) analizan el efecto de un acolchado de paja de cebada (*mulch*) sobre la pérdida de agua y sedimentos en suelos de viñedo frente a episodios de lluvia intensa poco frecuentes, característicos del clima mediterráneo; el acolchado de paja reduce un 78% la erosión de los viñedos y en un 25% la escorrentía.

En el caso de estudio, la gravedad de los problemas erosivos obliga a utilizar medidas como las cubiertas vegetales vivas o el *mulch*, que frenen drásticamente la erosión, independientemente de la reducción en la producción del viñedo o de los cambios en la calidad de la uva que pudieran producirse. Los resultados de Prosdocimi *et al.* (2016) concuerdan con nuestras estimaciones de control de erosión mediante el *mulch* o cultivo de avena.

6. Conclusiones

La transformación de bosque a viñedo en terrenos con pendiente fuerte a moderada, ocurrida en un proceso paulatino a lo largo de los últimos siglos, genera un incremento de escorrentía superficial que acelera la erosión laminar, en regueros y en cárcavas, con pérdidas de suelo elevadas, al quedar el suelo desprotegido.

La degradación de la cubierta forestal en los bosquetes situados en las zonas de pendiente muy fuerte de la parte alta de la cuesta del páramo, favorece la formación de cárcavas que, al descender por la zona de viñedo, agrava el proceso erosivo y la cantidad de escorrentía y sedimentos movilizados.

La destrucción de la red de drenaje natural, formada por arroyos estacionales que descendían hacia el río Duero, propicia un drenaje desordenado de las aguas de escorrentía, lo cual incrementa la erosión y los daños por desbordamientos y arrastres en las infraestructuras viarias de la finca y el pie de ladera del viñedo.

Por ello, se consideran imprescindibles las obras de ingeniería civil proyectadas, como diques, drenes, mejora de las cunetas, colectores, etc., así como la densificación de los bosquetes de cabecera, y las medidas de *mulching* y cubierta herbácea de los pasillos entre filas de vides. Estas dos últimas medidas hacen posible que las pérdidas de suelo pasen de graves a muy ligeras, según la evaluación realizada mediante el modelo USLE. Las observaciones tras el primer año de implementación de las medidas proyectadas son acordes a nuestras estimaciones en el proyecto, por lo que este modelo de actuación podría ser extendido a viñedos con problemáticas similares a las aquí mostradas.

7. Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a la bodega Hacienda Monasterio y en especial a Vicente Abete, técnico de la finca agrícola de la bodega, con el que disfrutamos y aprendemos durante las visitas de erosión, vides y vino.

8. Bibliografía

ARNÁEZ, J.; LASANTA, T.; RUIZ-FLAÑO, P.; ORTIGOSA, L.; 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil Tillage Res.*, 93: 324-334.

AUZET, A.V.; LE BISSONNAIS, Y.; SOUCHÉRE, V.; 2006. Soil erosion in France. En: BOARDMAN, J.; POESEN, J. (eds.). *Soil erosion in Europe*. Wiley.

BIDDOCCU, M.; OPSI, F.; CAVALLO, E.; 2014. Relationship between runoff and soil losses with rainfall characteristics and long-term soil management practices in a hilly vineyard (Piedmont, NW Italy). *Soil Sci. Plant Nutr.*, 60: 92-99.

BLAVET, D.; DE NONI, G.; LE BISSONNAIS, Y.; LEONARD, M.; MAILLO, L.; LAURENT, J.Y.; ASSELINE, J.; LEPRUN, J.C.; ARSHAD, M.A.; ROOSE, E.; 2009. Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. *Soil Tillage Res.*, 106: 124-136.

CASALÍ, J.; GIMÉNEZ, R.; DE SANTISTEBAN, L.; ÁLVAREZ-MOZOS, J.; MENA, J.; DEL VALLE DE LERSUNDI, J.; 2009. Determination of long-term erosion rates in vineyards of Navarre (Spain) using botanical benchmarks. *Catena*, 78: 12-19.

FAO; 1980. Report on the first FAO/UNEP expert consultation desertification assessment and mapping. Rome.

FIGUEIREDO, T.; FERREIRA, A.G.; 1993. Erosão dos solos em vinha de encosta da região do Douro, Portugal. In *Actas do XII Congresso Latinoamericano da Ciência do Solo, SECS (19-26 September Salamanca, Spain)*: 79-88.

FOLLAIN, S.; CIAMPALINI, R.; CRABIT, A.; COULOUMA, G.; GARNIER, F.; 2012. Effects of redistribution processes on rock fragment variability within a vineyard topsoil in Mediterranean France. *Geomorphology*, 175-176: 45-53.

LITZLER, C.; 1988. Le ruissellement et l'érosion des dols dans le vignoble de Saône-et-Loire. C.A., D.D.A. et C.R. de Saône-et-Loire.

LLORENTE, J.A.; 2015. Análisis de la erosión en áreas cultivadas con viñedos (La Rioja, España). Tesis Doctoral. Universidad de La Rioja. Logroño.

LÓPEZ CADENAS, F. (Dtor. y Coord.); 1990. Mapas de Estados Erosivos. Cuenca Hidrográfica del Duero. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

LORENZO, L.; CASALÍ, J.; LÓPEZ, J.J.; DEL VALLE DE LERSUNDI, J.; 2002. Long term assessment of soil erosion rates in vineyards and its application for USLE model evaluation. *Proceeding of European Society of Agronomy Conference*, Córdoba: 14-19.

MARQUÉS, M.J.; ALEGRE, J.; GARCÍA-ESTRÍNGANA, P.; BIENES, R.; 2007. Erosión hídrica en viñedos del sur de Madrid. En: Control de la degradación de suelos y la desertificación. In *III Simposio sobre control de la degradación de suelos y la desertificación: libro de actas. Fuerteventura, 16-20 septiembre 2007* (pp. 117-118). Universidad de La Laguna.

MARQUÉS, M.J.; RUIZ-COLMENERO, M.; GARCÍA-MUÑOZ, S.; CABELLO, F.; MUÑOZ-ORGANERO, G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, M.A.; BIENES, R.; 2009. Protección contra la erosión versus productividad en viñedos. Ensayos de cubiertas vegetales en cultivos en pendiente. In *Congreso Internacional contra la Desertificación*. Universidad de Murcia. Murcia.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; GUEVARA, M.; RAMOS, M.C.; 2012. Multi-temporal analysis of sediment yield caused by hydric erosion in a basin of the Anoia-Penedès Vineyard region (NE Spain). *Cuad. de Investig. Geogr.*, 38(1): 95-114.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; RAMOS, M.C.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, D.; 2009. Effects of land-use changes in vegetation cover and sidewall erosion in a gully head of the Penedès region (northeast Spain). *Earth Surf. Process. Landforms*, 34: 1927-1937.

NOVARA, A.; GRISTINA, L.; SALADINO, S.S.; SANTORO, A.; CERDÀ, A.; 2011. Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard. *Soil Tillage Res.*, 117: 140-147.

- PROSDOCIMI, M.; JORDÁN, A.; TAROLLI, P.; KEESSTRA, S.; NOVARA, A.; CERDÀ, A.; 2016. The immediate effectiveness of barley Straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. *Sci. Total Environ.*, 547: 323-330.
- RAMÍREZ, P.; LASHERAS, J.M.; 2015. *Guía de cubiertas vegetales en vid*. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Junta de Andalucía.
- RAMOS, M.C.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; 2006. Impact of land levelling on soil moisture and runoff variability in vineyards under Mediterranean climate. *J. Hydrol.*, 321: 131-146.
- RAMOS, M.C.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS; RIBES-DASI, M.; 2005. On-site effects of concentrated flow erosion in vineyard fields: some economic implications. *Catena*, 60: 129-146.
- RODRIGO-COMINO, J.; BRINGS, C.; ISERLOH, T.; CASPER, M.; SENCIALES-GONZALEZ, J.M.; SEEGER, M.; BREVIK, E.; RIES, J.; RUIZ SINOGA, J.D.; 2017a. Temporal changes in soil water erosion on sloping vineyards in Ruwer-Mosel Valley. The impact of age and plantation works in young and old wines. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 65(4), 402-409.
- RODRIGO-COMINO, J.; SENCIALES-GONZÁLEZ, J.M.; RAMOS, M.C.; MARTÍNEZ-CASANOVAS, J.A.; LASANTA, T.; BREVIK, E.; RIES, J.; RUIZ-SINOGA, J.D.; 2017b. Understanding soil erosion processes in Mediterranean sloping vineyards (Montes de Málaga, Spain). *Geoderma*, 296: 47-359.
- RUIZ-COLMENERO, M.; BIENES, R.; ELDRIDGE, D.J.; MARQUÉS, M.J.; 2013. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. *Catena*, 104: 153-160.
- RUIZ-COLMENERO, M.; BIENES, R.; MARQUÉS, M.J.; 2011. Soil and water conservation dilemmas associated with the use of Green cover in steep vineyards. *Soil Tillage Res.*, 117: 211-223.
- USÓN, A.; 1998. Medidas de control de la erosión en suelos de viña de las comarcas de Anoia-Alt penedés (Barcelona): efectividad y viabilidad. Tesis doctoral. Universidad de Lleida. Lleida.
- VERHEIJEN, F.G.A.; JONES, R.J.A.; RICKSON, R.J.; SMITH, C.J.; 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Sci. Rev.*, 94: 23-38
- WICHERECK, S.; 1993. The soil asset: preservation of a natural resource. En: WICHERECK, S.; (Ed.); 1993. Farm land erosion: In temperate plains environment and hills. Elsevier. Amsterdam.
- WICHERECK., S.; 1991. Viticulture and soil erosion in the North of Parisian Basin. Example: The Mid Aisne Region. *Z. Geomorphol.*, 83: 115-126.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D.; 1978. *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. USDA Agricultural Handbook, nº 537. 58 p.
- ZANCHI, C.A.; 1988. The cropping pattern and its role in determining erosion risk: Experimental plot results from Mugello Valley (central Italy). En: BODAS, M.P.; WALLING, D.E. (Eds.); 1998. Sediment budgets. Proceedings IAHS Symposium, Porto Alegre (Brasil). International Association of Horticultural Sciences Publication. Wallingford (UK): 139-146.