

# Estudio de procesos geomorfodinámicos en campos cultivados de viñedos sobre laderas en pendientes en el valle del Ruwer (Alemania)

JESÚS RODRIGO COMINO<sup>1</sup> ✉ | TAMÁS LASSU<sup>2</sup> | JOSÉ MARÍA SENCIALES GONZÁLEZ<sup>3</sup> | JOSÉ DAMIÁN RUIZ SINOGA<sup>4</sup> | MANUEL SEEGER<sup>5</sup> | JOHANNES B. RIES<sup>6</sup>

Recibido: 30-05-2014 | Aceptado: 15-04-2015

## Resumen

El presente trabajo pretende examinar la respuesta erosiva del suelo en áreas cultivadas de viñedos sobre laderas en pendientes elevadas en el Valle del Ruwer (Alemania) a través de diferentes técnicas. Los experimentos se desarrollan entre los meses de septiembre y diciembre durante diferentes épocas de manejo del suelo: antes, durante y después de la vendimia. En primer lugar, se realiza un análisis de la variación geométrica de tres rills para cuantificar su expansión lateral (de 7 a 13 cm) y vertical (1 a 4 cm). El movimiento del suelo confirma una elevada variabilidad en los procesos hidro-geomorfológicos de la ladera. A continuación, a través del cálculo del coeficiente teórico de escorrentía a partir del número de curva y lluvias simuladas en diferentes épocas del año, se observan unas elevadas tasas de infiltración, aunque con resultados muy diferentes entre técnicas. Por último, con el cálculo de la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) y el análisis de las marcas botánicas en los tocones de las parras, se calcula el impacto negativo de la erosión con el manejo agrícola del ser humano sobre los suelos de los viñedos. Con ambos métodos, se han obtenido 11.28 t ha<sup>-1</sup> y 3.4 t ha<sup>-1</sup> año de pérdida de suelo, respectivamente.

---

Palabras clave: Viñedos, Valle del Ruwer, erosión del suelo, rills, coeficiente de escorrentía.

---

## Abstract

*Study of geo-morphodynamic processes in cultivated vineyards on slopes in Ruwer Valley (Germany)*

The present work pretends to examine the erosive soil response of vineyards on the high steps in the Ruwer Valley (Germany) with different methods. The experiments were developed between September and December along three different land management situation of the soil: before, during and after vintage. Firstly, with geometrical rill monitoring we quantify the lateral (7 to 13 cm) and vertical (1 to 4 cm) erosion. The high variability on the hydro-geomorphological process along the steep slopes is confirmed by the soil transport. Elevated infiltration rates were

---

1. Departamento de Geografía Física de la Universidad de Trier (Alemania) y Departamento de Geografía de la Universidad de Málaga, s6jrodr@uni-trier.de

2. Departamento de Geografía Física de la Universidad de Trier (Alemania).

3. Departamento de Geografía de la Universidad de Málaga.

4. Departamento de Geografía de la Universidad de Málaga.

5. Departamento de Geografía Física de la Universidad de Trier (Alemania).

6. Departamento de Geografía Física de la Universidad de Trier (Alemania).

noted using the runoff curve number and rainfall simulations; however, the final results were different. Finally, the negative impact of the erosion by anthropic activities was confirmed with two methods: RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) and using botanic marks on the grape-vines. With the first techniques, 11.28 t ha<sup>-1</sup> and respectively with the second 3.4 t ha<sup>-1</sup> soil erosion rate was calculated.

---

Key Words: Vineyards, Ruwer Valley, soil erosion, rills, runoff coefficient, land management.

---

## Resumè

### *Étude des processus de géo-morphodynamique dans les vignobles cultivés sur les pentes en circulation Ruwer Valley (Allemagne) champs de différentes techniques*

Ce document vise à déterminer la réponse de l'érosion des sols dans les zones cultivées de vignes dans la Vallée de Ruwer (Allemagne) par le biais de différentes techniques. Tout d'abord, une survie géométrique rills est réalisée afin de quantifier l'expansion verticale (1-4 cm) et latérale (7 à 13 cm) lors des différentes périodes de la gestion de l'utilisation des terres (entre Septembre et Décembre): avant, pendant et après la récolte. En outre, avec le calcul théorique du coefficient de ruissellement avec le nombre de courbe et des simulations de pluies le longs de différentes saisons ont été confirmée des élevés taux d'infiltration. Finalement, le calcul de la RUSLE (Universal Soil Loss révisée Equation) et l'analyse des marques botaniques sur les souches de vignes, l'impact négatif de la gestion agricole de l'homme sur le sol du vignoble est confirmée. Avec les deux méthodes 11.28 t ha<sup>-1</sup> et 3.4 t ha<sup>-1</sup> sont perdu respectivement.

---

Mots Clés: Vignobles, Vallée de la Ruwer, l'érosion des sols, rills, coefficient de ruissellement.

---

## 1. Introducción

El suelo evoluciona a partir de elementos y factores dinámicos dentro de un sistema eco-geomorfológico complejo y sensible: la ladera (Ruiz-Sinoga *et al.*, 2010; Meitzen *et al.*, 2013; Cerdá *et al.*, 2013). Sin embargo, la intervención del ser humano en este marco natural puede condicionar todo este funcionamiento y provocar pérdidas importantes de suelo (Zucca *et al.*, 2006; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2011).

Por este motivo, numerosos autores tratan de aplicar metodologías capaces de valorar la importancia de la erosión (Hewlett y Hibbert, 1967; Vandaele *et al.*, 1997; Poesen *et al.*, 2003; García-Ruiz y Lana-Renault, 2011) o desarrollar modelos explicativos de situaciones actuales y futuras de la evolución del suelo (De Roo *et al.* 1996; López-Vicente *et al.*, 2013).

Como ejemplo, se pueden citar estudios en zonas tradicionalmente agrícolas del Mediterráneo (Vandekerckhove *et al.* 1998; Marzolf y Poesen, 2009; Durán-Zuazo *et al.*, 2010; Gabarrón-Galeote *et al.*, 2013) o del centro de Europa (Richter, 1980a; Govers, 1987; Vandaele *et al.*, 1997; Prasuhn, 2011). Gracias a estos trabajos científicos, se pueden extrapolar métodos o técnicas de análisis y comparación de resultados (Iserloh *et al.*, 2013; Peter *et al.*, 2014).

El viñedo es un cultivo sometido a un buen número de técnicas agrarias que tienen una incidencia directa en la conservación de suelos. Cerdan *et al.* (2006, 2010) afirman que las vides ocupan los territorios cultivados con mayores tasas de erosión en Europa con 12.2 t ha<sup>-1</sup> año. Estas elevadas tasas son más habituales en viñedos cultivados en tierras marginales, con elevadas pendien-

tes, suelos desprotegidos gran parte del año frente a la lluvia y un manejo no siempre sostenible de la estructura del suelo (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2003; Paroissien *et al.*, 2010).

A partir de la bibliografía, se confirma la incidencia en la erosión de los viñedos de: i) la morfología del relieve (Fox y Bryan, 2000; Martínez-Casasnovas *et al.*, 2010); ii) los componentes superficiales del suelo relacionados con la pedregosidad (Corbane *et al.*, 2008; Ruiz-Sinoga & Martínez-Murillo, 2009); iii) sus propiedades hidrológicas (Arnáez *et al.*, 2012); iv) la heterogeneidad de situaciones intra-parcelarias (Brenot *et al.*, 2008; Casalí *et al.*, 2009). Todos estos factores pueden llegar a ser desencadenantes de una elevada pérdida de suelo.

La dinámica erosiva en los viñedos se manifiesta a través de diferentes formas y procesos, entre los que rills y/o gullies se muestran más activos (Poesen *et al.*, 1998). Estas incisiones surgen principalmente a partir de las pisadas y rodadas de los tractores utilizados para las diferentes labores agrícolas (Van Dijck y Van Asch, 2002; Materechera, 2009; Arnáez *et al.*, 2012). Los rills, según los definen Bryan (2000), y Fox y Bryan (2000), o los gullies efímeros (Nachtergaele, 2001) manifiestan una elevada relación entre el grado de expansión lateral y profundización (variable entre 0.15 y 0.35 m año) y el avance o retroceso de su cabecera tasado alrededor de 0.7 m año (Martínez-Casasnovas, 2003).

Petit *et al.* (2012) señalan que en la viticultura europea predominan históricamente las parcelas aterrazadas en zonas con elevadas pendientes y construidas sobre estructuras de piedra; sin embargo, los procesos erosivos afectan con intensidades distintas por diferentes motivos. Para Kosmas *et al.* (1997), los viñedos mediterráneos tienen las mayores pérdidas de sedimentos a causa de las elevadas tasas de escorrentía superficial. Vandekerckhove *et al.* (1998) confirman que las tasas de erosión son más elevadas, particularmente tras intensos y concentrados eventos lluviosos o después de la aplicación de las malas prácticas agrícolas por parte de los viticultores. No obstante, los valores de erosión son muy variados según la metodología utilizada y el área de estudio. Martínez-Casasnovas y Poch (1998) en el N de España obtienen entre 302-405 t ha<sup>-1</sup> año; en el NO de Italia Tropeano (1983) registra tasas de la erosión entre los 40 y 70 t ha<sup>-1</sup> año; Wicherek (1991) y Wainwright (1996) en Francia recogen cifras superiores a 30 t ha<sup>-1</sup> año.

En Alemania con una elevada tradición en el cultivo de la vid y aterrazamientos en laderas de los valles del Mosela, Ahr o Rin, también se manifiestan problemas importantes de erosión (Unwin, 1996). Auerswald *et al.* (2009) recogen en su estudio sobre la erosión en Alemania que las cifras de pérdida de suelo en los viñedos oscilan entre las 0.2 t ha<sup>-1</sup> año (Richter, 1991) y 151 t ha<sup>-1</sup> (Emde, 1992). A lo largo del Valle del Mosela, la Universidad de Trier elaboró numerosos estudios con parcelas experimentales para explicar la relación existente entre las precipitaciones (en forma de agua y nieve) y el comportamiento de la pérdida de suelo a través de mecanismos de escorrentía superficial (Richter y Negendank, 1977; Richter, 1975, 1980a, 1980b, 1991). Los suelos de estos territorios se caracterizan por unas elevadas tasas de infiltración, movilización de gravas y elementos finos, junto con unas proporciones altas de materia orgánica y una explotación intensiva con el uso de maquinaria (Hacisalihoglu, 2007).

La erosión en campos cultivados con viñedos se potencia, en gran medida, por la intensificación de la producción y las consecuentes labores perjudiciales para el suelo (Boardman *et al.*, 2003; Raclot *et al.*, 2009). Esta nueva dinámica comenzó en las décadas de los 50 a los 90, con una transformación sustancial en los métodos de producción por la introducción de nuevas máquinas (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2010). Como consecuencia, se generalizó la presencia de gullies

y rills, la compactación del suelo y la alteración del ciclo biogeoquímico local (Van Oost *et al.*, 2007; Quinton *et al.*, 2010).

Así pues, se considera indispensable localizar, cuantificar y proponer medidas que sean capaces de prevenir estas modificaciones y desestabilizaciones (Torri *et al.*, 2002) dentro de la gestión territorial. Los territorios con una agricultura intensiva localizados en áreas de montaña deben ser catalogados como puntos vulnerables frente a la erosión. Las normativas deberían regular y limitar la modificación de las morfologías de las laderas en favor de los aterrazamientos y el uso de maquinaria indiscriminada. Estas alteraciones pueden implicar cambios con consecuencias no apreciables a corto plazo, pero irreversibles a largo (Piccarreta *et al.*, 2006).

Las técnicas utilizadas para los estudios de erosión aplicados para la ordenación del territorio en campo cultivados varían según la escala de análisis (ladera, valle, región...) y su objeto final (como modelizar situaciones futuras o cuantificar sucesos).

Por un lado, se encuentran los métodos paramétricos con complejas ecuaciones como la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) en sus diversas revisiones (Wischmeier y Smith, 1978; Renard *et al.*, 1991; McCool *et al.*, 1995; Dabney *et al.*, 2012) o los números de curva para el cálculo del coeficiente teórico de escorrentía (Hudson, 1982; López *et al.*, 1994, 2003), ambos elaborados por el USDA (United States Department of Agriculture). Otros autores se valen de mediciones *in situ* como las monitorizaciones de elementos concretos del paisaje (Marzolf y Poesen, 2009; Tebebu *et al.*, 2010; Nadal-Romero *et al.*, 2011), simulaciones de lluvia (Seeger, 2007; Iserloh *et al.* 2012, 2013) o los experimentos con escorrentía (Wirtz *et al.*, 2012).

El propósito de este estudio, según lo anteriormente expuesto sería: i) obtener los resultados de la respuesta hidrológica y erosiva del suelo a través de distintas técnicas contrastadas; ii) describir y cuantificar los procesos erosivos resultantes; iii) cuestionar los resultados según los métodos y discutir las posibles causas que los provocan.

## 2. Área de estudio

El área de estudio se localiza al oeste de Alemania en el valle del Mosela, dentro de una cuenca de pequeña extensión (Ruwer) que se incluye en el municipio de Waldrach (Trier-Saarburg, región de Renania-Palatinado). El valle del Ruwer se encuentra al norte de la ciudad de Trier, al sur de la región del Sarre, al oeste del zócalo de Oewig y al sur del relieve del Feller Bach. Se conforma como una plataforma en forma de cuesta que desciende de norte a sur desde 500 a 200 m.s.n.m. (Richter, 1980b).

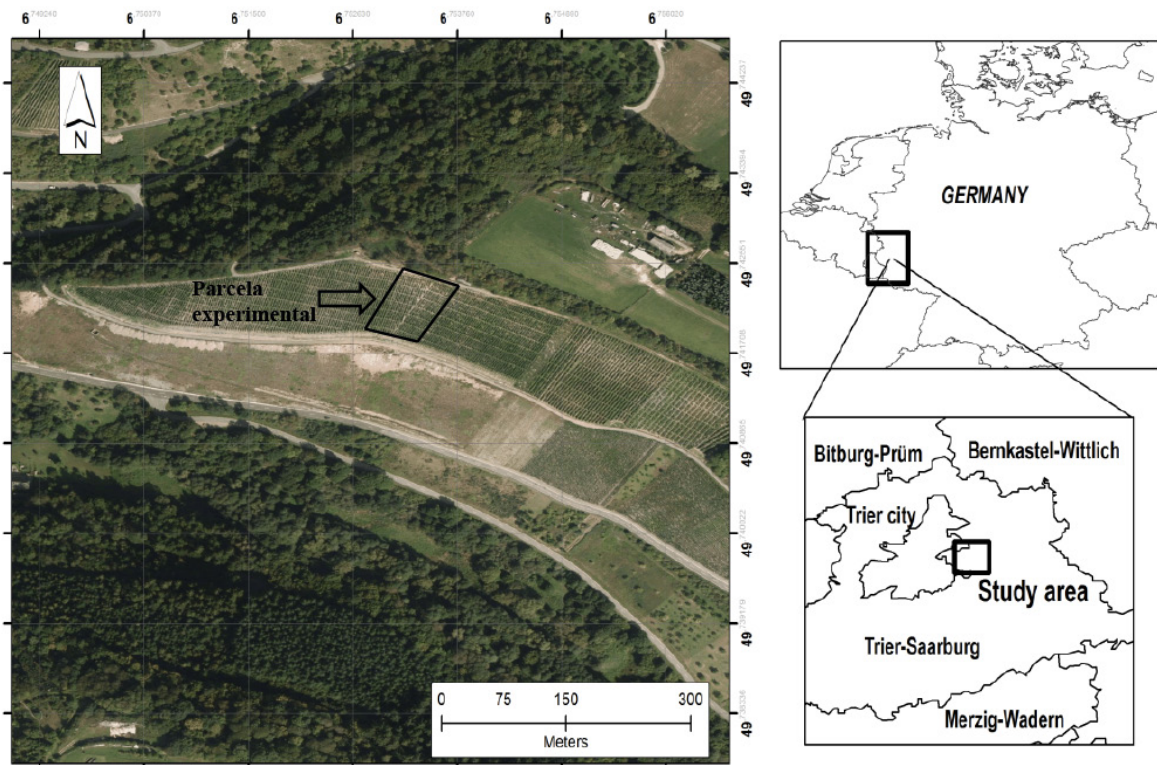
La litología dominante está formada por: i) una base de rocas de la era Primaria, que dan forma a montañas alomadas sobre grauwacas, pizarras y cuarcitas, y ii) sedimentos finos del Pleistoceno (Schröder, 1991).

Concretamente, la zona de estudio se sitúa entre los 49°44'28" N y 6°45'12" E y una altitud de 220-250 metros (Fig. 1). Las laderas están orientadas principalmente hacia el SW y S aprovechando la mayor intensidad de insolación para favorecer la fenología de los cultivos (Menzel, 2005). Las parras cultivadas tienen alrededor de 35 años. Las plantas están alineadas en hileras separadas por un 1x0.9 m. La variedad de uva blanca plantada recibe el nombre de *Riesling* y es utilizada para realizar vinos de mesa en la cooperativa de la ciudad de de Gebrüder Steffes (Waldrach) y

las bodegas de Langguth (Traben-Trarbach). La vendimia se repite cada año entre los meses de octubre y noviembre con trabajadores normalmente inmigrantes y tractores de pequeña tamaño.

El cultivo de la vid es el uso agrario tradicional mayoritario de la región y hoy conforma una de las bases económicas más sólidas (Ashenfelter y Storchmann, 2010). Estas prácticas comenzaron en tiempos de los romanos y continuaron con la construcción de los primeros monasterios a lo largo de la Edad Media en Centroeuropa (Urhausen *et al.*, 2011).

Figura 1. Área de estudio



Extrapolando las bases de datos siguiendo la metodología diseñada por Rodrigo Comino (2013) de Mertesdorf (211 m), Hermeskeil (480 m), Trier-Zewen (131.5 m), Trier-Petrisberg (265 m), Trier-Irsch (228 m), Deuselbach (480.5 m), Konz (180 m), Bernkastel-Kues (120 m) y Weiskirchen (380 m) se han obtenido unos valores que permiten enmarcar el territorio dentro de un clima *Cfb*, según la clasificación de Köppen y Geiger (1954). El total pluviométrico anual es de 765 mm, concentrándose el mayor volumen de precipitación en los meses de verano (entre 65-72 mm) y el menor en Febrero-Abril (50-60 mm). La temperatura media anual es de 9.3°C, dándose los máximos valores promedio en junio, julio y agosto (16.2-17.6°C) y los mínimos de diciembre a enero (1.5-2.3°C).

Respecto a las características edafológicas del área de estudio, en la Tabla 1 se exponen los datos obtenidos en los análisis de laboratorio de las propiedades químicas y físicas más relevantes de los suelos del área de estudio. Se han tomado muestras en a dos profundidades: 0-5 cm y >5 cm de profundidad y se observan altos contenidos de materia orgánica (entre 6.46 y 10.74%) y elevados porcentajes de gravas (66-68%) que conforman un suelo pedregoso en todo su espesor. Además, destaca la fuerte presencia de arenas y arcillas que favorecen la infiltración y los movimientos a lo largo de la ladera con una textura arcilloso-arenosa y areno-arcillosa.

Tabla 1. Análisis de suelo y clase textural

Muestras	pH	COT (%) <sup>a</sup>	CIT (%) <sup>b</sup>	Saturación (%) <sup>c</sup>	Capacidad de absorción (%) <sup>d</sup>	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
0-5 cm	6.6	10.74	1.48	11.28	12.71	1.4
>5 cm	6.6	6.46	1.5	9.77	10.85	1.4

Muestras	>2 mm (% Total)	<2 mm (% Total)	<2mm (% in 200 g.)		
			Arenas % (2-0.2 mm)	Limos % (0.2-0.63mm)	Arcillas % (<0.063 mm)
0-5 cm	68.18	31.82	49	14	37
>5 cm	66.19	33.81	44	11	45

a) COT = Carbono Orgánico Total; b) CIT = Carbono Inorgánico Total; c) Saturación (%) = (Agua añadida hasta la saturación/ peso final) x 100; d) Capacidad de absorción (%) = ((Peso del agregado saturado - peso inicial) / peso inicial) x 100.

Por último, se ha elaborado un perfil de suelo y se ha identificado el tipo como *Cambisol léptico-húmico* según el modelo de descripción de perfiles de FAO (2006a, 2006b y 2007) (Figs. 2 y 3, y Tabla 2).

Tabla 2. Descripción del perfil de suelo según FAO (2006a)

Parámetro	Horizonte A (0-5 cm)	Horizonte B (5-42 cm)
Localización	49° 44' 30'' N; 6° 45' 11'' E (240 m.s.n.m.)	
Condiciones climáticas	Nublado (fecha: 29/10/2013).	
Exposición	Suroeste	
Cobertura vegetal	Abundante (40-80%). Cultivo de viñedos de carácter intensivo.	
Litología	Roca metamórfica (pizarras saprolitizada).	
Pendiente	45% (ladera convexa).	
Tipo de erosión % de afección y descripción	Activa y presente. Rills y gullies. Carácter antrópico. Afectado >50%. Erosión severa, horizontes completamente removidos y eliminada la cubierta vegetal, para favorecer los cultivos (funciones botánicas alteradas).	
Pedregosidad general	Abundante (40-80%) con gravas medias (6-20 mm), gruesas (2-6 cm) y piedras (6-20 cm).	
Salinidad y encostramientos	Nulos.	
Distinción entre horizontes	Clara e irregular.	
Clase textural	Areno-arcillosa.	Arcillo-arenosa.
Color	2.5Y 3/6 (húmedo) – 10YR 4/3 (muy húmedo).	2.5Y 4/7 (húmedo) – 10YR 4/5 (muy húmedo).
Moteado	Ninguno.	Muy fino (<2mm) y pocos (2-5%).
Estructura	Fuerte y rocosa (subangular, 20-50 mm).	
Consistencia	Extremadamente dura; friable (húmedo) y muy friable (muy húmedo).	
Adhesividad	Adhesivo.	Muy adhesivo.
Plasticidad	Muy plástico.	
Poros	Vughs; muy finos y finos en los agregados (0,5-2 mm to 5-2 mm), comunes (50-200). Intersticiales entre espacios texturales (elevada pedregosidad).	
Raíces	Finas (20-50 raíces).	Finas (1-20 raíces).

Figuras 2 y 3. Perfiles de suelo



### 3. Métodos

#### 3.1. Análisis geométrico geométrico de los rills

Entre los meses de septiembre y diciembre, se midió la anchura y la profundidad de tres rills (R1, R2 y R3) con diferentes tamaños y orígenes. Su finalidad fue conocer estos procesos erosivos que se desarrollan continuamente en el área de estudio de forma provisional por su corto intervalo de mediciones, con objeto de inferir *a posteriori* sus consecuencias (pérdida de suelo, deslizamientos de ladera,...). En principio, se debe tener en cuenta, como apuntan Govers y Poesen (1987), Vandekerckhove *et al.* (2003) y Wirtz *et al.* (2012), que la aparición de rills y gullies refleja los serios problemas de inestabilidad en las laderas y la variabilidad meteorológica del área de estudio.

El primer rill (R1) tiene su origen en una rodada de tractor de aproximadamente 30 metros de longitud y se extiende desde el comienzo del talud hasta el interior de los pasillos existentes entre las parras. Dispone de una pendiente media de 40-45% y un área de contribución aproximada de 660 m<sup>2</sup>. El segundo (R2) y el tercero (R3) se desarrollan en el talud previo a los cultivos, cuentan con pendientes de 45-50% y unas áreas de contribución de 19.14 m<sup>2</sup> y 24.96 m<sup>2</sup>, respectivamente. R2 (cercano a un muro de contención con un canal de desagüe) posee 7 metros de longitud y R3 alrededor de 10 metros. Ambos tienen su génesis en pisadas realizadas por los viticultores.

Para representar su evolución geométrica temporal, se han diseñado una serie de gráficos del perfil de cada rill (medido en centímetros). El seguimiento se llevó a cabo durante la época del año en la que el suelo fue más vulnerable al recibir una actuación de tipo antrópica: antes, durante y después de la vendimia.

### 3.2. Técnicas relacionadas con el cálculo de la escorrentía

Constatada la existencia de procesos erosivos, se aplicaron dos técnicas diferentes para calcular la escorrentía asociada a eventos pluviométricos dentro del área de estudio, con objeto de comprobar si este factor es un elemento condicionante de la erosión (Tilahun *et al.*, 2013).

El método del número de curva utiliza el dato de entrada de la precipitación que cae sobre el suelo de un área, con unas características de su sustrato concretas y con diferentes estados del suelo (Hudson, 1982; López *et al.*, 1994, 2003): seco, húmedo y muy húmedo. De esta forma, según Senciales (1999), se asume que en un mismo territorio lluvias distintas provocarán diferentes grados de escorrentía (superficial). La fórmula parte del siguiente supuesto:

$$(1) \quad Q = \frac{(I - 0,2S)^2}{I + 0,8S}$$

Donde  $Q$  es el coeficiente de escorrentía teórico en mm,  $I$  la cantidad de lluvia caída en mm y  $S$  la diferencia máxima potencial entre la precipitación que ha caído y la escorrentía que se ha producido. Este último parámetro se calcula según la fórmula:

$$(2) \quad S = \frac{25.400}{N} - 254$$

Siendo  $N$  el número de curva que se obtiene mediante una serie de tablas elaboradas y predefinidas según las condiciones del sustrato (López *et al.*, 1994). Así, con los valores obtenidos en las diferentes condiciones se podrá observar la evolución de la escorrentía teórica en el área de estudio.

Para contrastar los anteriores resultados, se realizaron ocho simulaciones de lluvia en meses alternos con estados de humedad del suelo diferentes (de húmedo a muy húmedo). La simulación permitió cuantificar el grado de infiltración y definir el tipo de escorrentía con lluvia simulada de 40 mm/hora siguiendo lo expresado con la utilización de lluvia simulada de Iserloh *et al.* (2012, 2013). Se realizó el experimento en un área de 0.28 m<sup>2</sup> circunscrita a un anillo de metal dentro del simulador. Se utilizó una bomba de tipo KSK-206 1200HIG100, 0-125 L h<sup>-1</sup>, (Kobold Company) y un manómetro con una calibración de 0.2 bares. Se aplicaron intervalos de medición de 5 minutos con una duración total de cada simulación de 30 minutos. Las cuatro primeras pruebas se realizaron en el mes de agosto, coincidiendo con la época de mayor volumen pluviométrico del área de estudio. Las cuatro siguientes se hicieron durante el otoño.

### 3.3. Técnicas referidas al cálculo de la pérdida de suelo

Se han utilizado diferentes métodos para cuantificar la cantidad de pérdida de suelo: una técnica de tipo paramétrico (RUSLE) y otra de medición *in situ* (marcas botánicas).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (*Revised Universal Soil Loss Equation* o RUSLE) es un método paramétrico que se utiliza para estimar la media anual de cantidad de suelo erosionado en una ladera a través de la movilización de materiales por rills u otros mecanismos geomorfológicos (Dabney *et al.*, 2012). Para dicho cálculo se requiere una precisa base de datos climáticos, edafológicos y geomorfológicos a partir de los cuales se podrán desarrollar modelos



que favorezcan la conservación y planificación del medio (Wischmeier y Smith, 1978; Vieira y Dabney, 2011; Dabney et al., 2014).

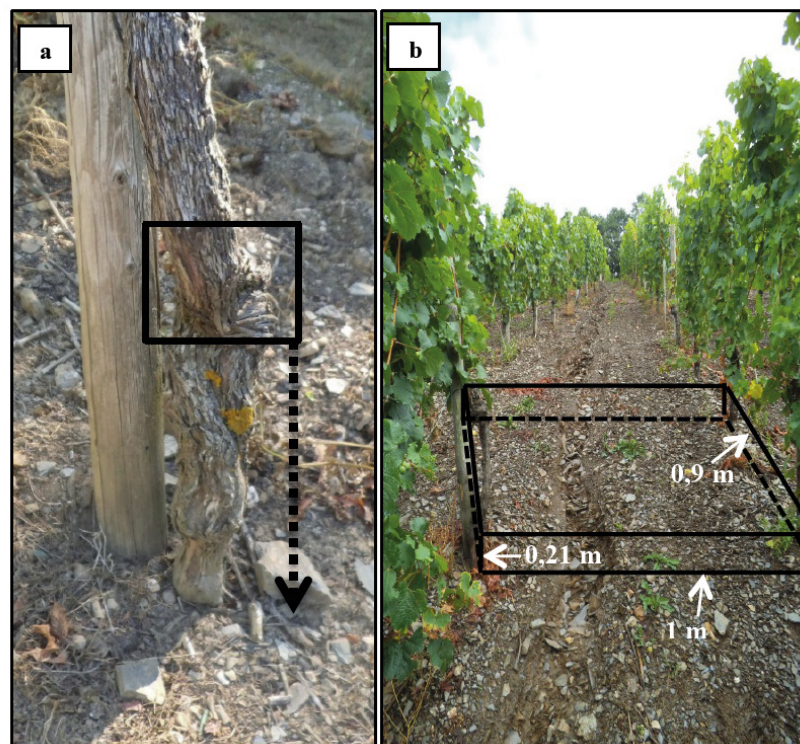
Para este trabajo se ha calculado dicha ecuación en la parcela experimental cultivada con viñedos, utilizando todas las variables enunciadas por los autores que la diseñaron. Sin embargo, cabe mencionar algunas salvedades implementadas en este estudio. Por un lado, para el factor  $R$  se ha utilizado la fórmula aplicada para el conjunto de Alemania, pues como afirman Casper et al., (2013), las pruebas realizadas por otros autores (Sauernborn, 1994) en el estado de Renania-Palatinado no son del todo exactas:

$$(3) R = 0,0078 \times \text{Promedio anual (mm)} - 2,82$$

Por otra parte, para el factor  $C$  se ha utilizado el valor calculado por Auerswald (2002) para los viñedos alemanes con un valor de 0.3.

Para el método de medidas *in situ* se calcularon los centímetros existentes desde las marcas frontales en la parte inferior del callo de los tocones hasta el actual nivel del suelo (Fig. 4). Esta técnica se basa en la teoría de las «marcas botánicas» en la especie *Vitis vinífera* afectada por la crisis de la *Phylloxera* y con injertos de especies americanas (*Vitis rupestris*, *Vitis riparia* y *Vitis berlandieri*) expuesta por Brenot et al. (2008), Casalí et al. (2009) y Paroissien et al. (2010). Estos autores afirman que las señales del callo de las parras son un buen indicador del movimiento del suelo en los viñedos (erosión, transporte y sedimentación). En este caso, los viñadores suelen dejar al menos 2 cm de distancia entre el tocón y el suelo con objeto de impedir que la parra al ser plantada contraiga enfermedades por hongos o pueda congelarse.

Figura 4. Monitoreo de las marcas botánicas en el callo del tocón de las parras



a) Distancia medida desde el callo del tocón al suelo en cm. b) Polígono imaginario para el cálculo de la pérdida de suelo a través de las señales botánicas.

Se midieron un total de 720 vides plantadas hace 35 años en 0.065 has y situadas sobre el talud donde se desarrollan los rills monitoreados. Dicha superficie está dividida en dos partes por un muro de contención con una canalización (adyacente al rill R2) planificada para evitar acumulaciones de material en el camino de acceso a los viñedos. Los datos se expresan en unos gráficos lineales con sus respectivas tendencias y coeficiente de correlación. Para el cálculo de la tasa final de erosión, se tomó la fórmula diseñada por Paroissien *et al.* (2010) de erosión-deposición (*ER*) y una estimación lineal con el promedio de cada resultado.

$$Er = (Vol \times Ds) / (St \times Av)$$

Donde *Vol* es el volumen total calculado de un polígono imaginario cuyos lados eran la separación entre cada parra (0.9 m a lo largo y 1 m a lo ancho) y la altura los centímetros perdidos tras la medición en el callo del tocón (Figura 4). *Ds* corresponde a la densidad aparente (1.4 gr cm<sup>3</sup>), *St* sería el área total de estudio y *Av* la edad de las parras (35). A cada parra para este cálculo final se le ha restado 2 cm para compensar la distancia que los viñadores suelen dejar al cultivar. Cabe tener en cuenta también que para el cálculo de este modelo se precisa la asunción de que la superficie tomada es absolutamente plana, aunque en realidad existan irregularidades en forma de pisadas, rills y rodadas de tractor.

## 4. Resultados

### 4.1. Análisis geométrico de rills de origen antrópico

La dirección del flujo de la escorrentía y el ritmo de los procesos erosivos se manifiestan cuando numerosos rills dividen la ladera en diferentes transectos (Bryan, 2000; Prashun, 2011). Este patrón de surcos o incisiones paralelos pone de manifiesto la degradación del suelo y conforma áreas potencialmente vulnerables por la actividad humana (Sánchez-Moreno *et al.*, 2012). Los resultados obtenidos de las dimensiones y evolución de estos rills antes, durante y después de la vendimia se pueden apreciar en las Figs. 5, 6 y 7 y en la tabla 3.

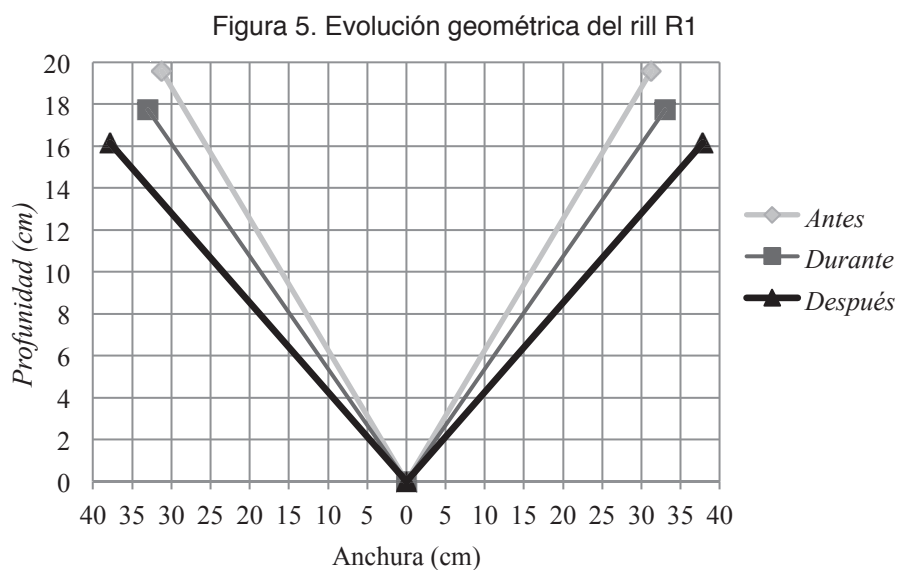


Figura 6. Evolución geométrica del rill R2

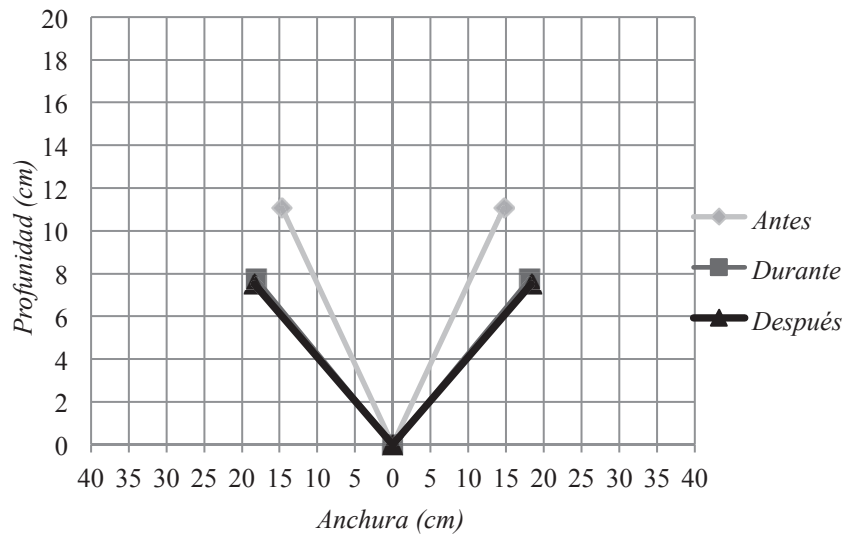


Figura 7. Evolución geométrica del rill R3

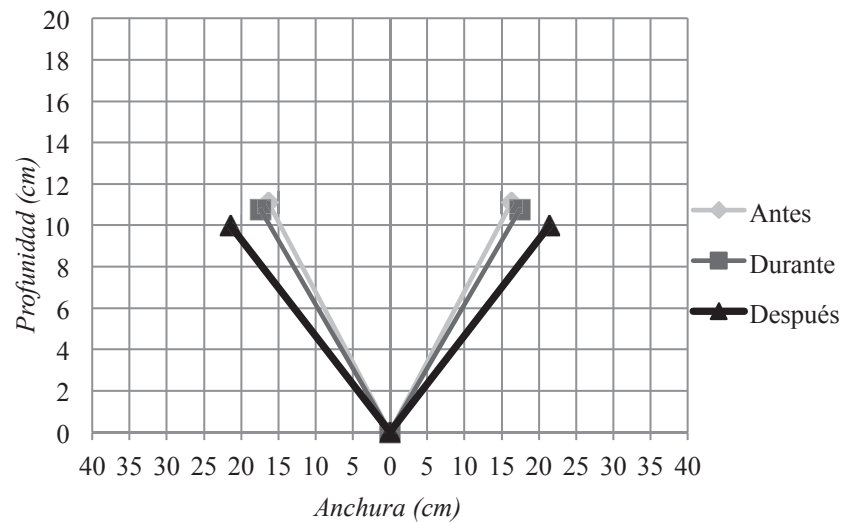


Tabla 3. Evolución geométrica y temporal de los rills monitoreados (medido en cm)

Épocas	R1		R2		R3	
	Anchura	Profundidad	Anchura	Profundidad	Anchura	Profundidad
Antes de la vendimia (17.09.2013-8.10.2013)	62.51±19.7	19.56±7.8	29.38±8.7	11.08±4.2	32.67±8.7	11.09±4.9
Durante la vendimia (15.10.2013-29.10.2013)	66.06±17.7	17.73±7.4	36.25±11.3	7.75±2.5	34.87±9.4	10.77±4.1
Después de la vendimia (6.11.2013-10.12.2013)	75.72±19.4	16.14±7.3	36.67±13.7	7.50±3	42.85±13.3	9.98±3.6
$x_t - x_0^*$	+13.21	-3.42	+7.28	-3.58	+10.18	-1.11

\*Diferencia en centímetros entre el estado inicial y final del rill durante el periodo de monitorización.

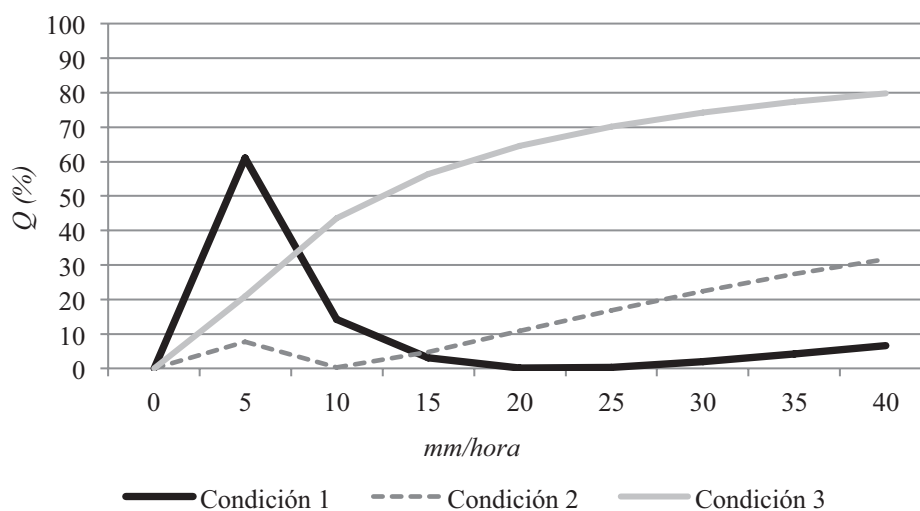
Las variaciones geométricas durante el transcurso del período de muestreo son significativas, sobre todo en la erosión lateral (anchura). Los tres rills han incrementado su tamaño entre los 7 y 13 centímetros. Por otra parte, con respecto a su desarrollo vertical (profundidad) se puede observar cómo predominan los procesos de deposición frente a los de incisión (oscilando las cifras entre los 1.1 a casi 4 cm más de altura). Pese a que R1 presenta mayores dimensiones y posee un origen diferente a los otros dos rills monitoreados (rodada de tractor), la dinámica geomorfológica que se aprecia sigue el mismo patrón: i) canalizan las pérdidas de suelo a lo largo de la ladera y ii) predomina la erosión lateral frente a la lineal.

#### 4.2. Comparación entre diferentes métodos para el cálculo de la escorrentía

Como se ha indicado, el coeficiente teórico de escorrentía se ha calculado inicialmente a través del número de curva. Siguiendo las indicaciones de Hudson (1982), Senciales (1999) y López *et al.*, (2003), se ha obtenido un número de curva igual a 85 (en una condición de tipo 2 con suelo húmedo). Se ha localizado el área de estudio en un espacio marcado por cultivos dispuestos linealmente, siguiendo la dirección de la pendiente, y en sustrato alterado por la acción antrópica (aterrazado, laboreo y uso de fitosanitarios). A continuación se extrapola dicho número a otras dos condiciones del sustrato: condición 1 (suelo seco) y 3 (suelo muy húmedo), siendo el resultado del número de curva de 70 y 97, respectivamente.

A continuación, se presenta una gráfica con la variación del coeficiente de escorrentía teórico en porcentaje (Fig. 8) para diferentes niveles de precipitaciones medidas en mm hora<sup>-1</sup>:

Figura 8. Coeficiente teórico de escorrentía a partir del número de curva



Los resultados obtenidos muestran unas curvas que, a priori, parecen bastante acertadas. En la condición 1 o suelo seco, cuando el sustrato puede acoger un mayor volumen de agua, el coeficiente es más reducido, hasta que la capacidad de campo se alcanza a los 5 minutos y comienza a expulsar agua, aumentando el porcentaje de escorrentía. Algo parecido, pero con una tendencia más acusada, ocurre con la condición 2 y el manto edáfico humedecido. Sin embargo, para la última situación (condición 3, suelo muy húmedo) la tendencia es la de un incremento del coeficiente a medida que las lluvias son más abundantes.

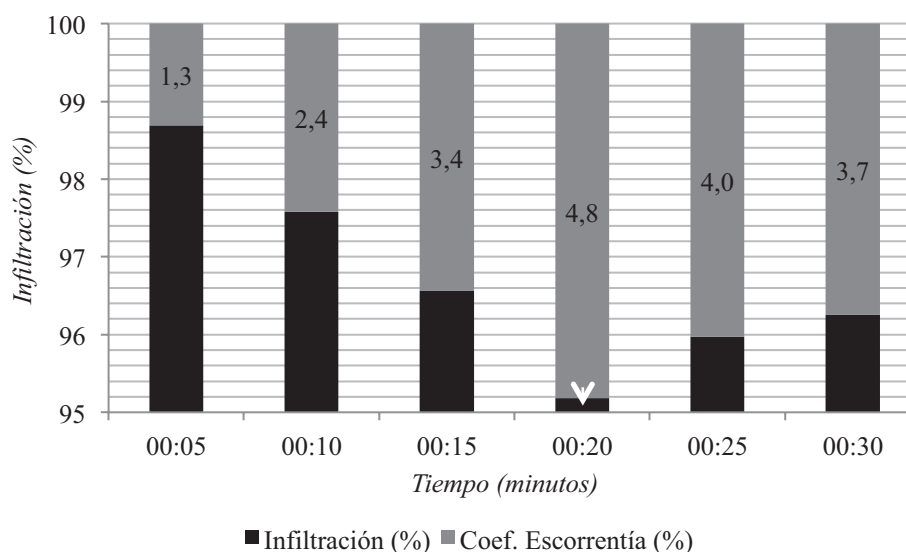
Tras obtener los datos teóricos, se procede a la realización de los experimentos de las simulaciones de lluvia (Tabla 4 y Figura 9). Durante agosto se puede hablar de un estado de la capa edáfica

similar a la condición 3 (muy húmeda) y, por el contrario, para los experimentos llevados a cabo durante los meses siguientes las condiciones descritas serían como la situación 2 (suelo húmedo).

Tabla 4. Coeficiente de escorrentía a partir de simulaciones de lluvia

Simulaciones	Pp (l/5 min)	Escorrentía (l/5min)	Coeficiente de escorrentía (%)	Infiltración (%)
1. Agosto	0.81	0.03±0.01	3.94±1.06	96.06±1.06
2. Agosto	0.86	0.004±0.002	0.52±0.18	99.48±0.18
3. Agosto	1.1	0.17±0.09	15.2±7.83	84.81±7.83
4. Agosto	0.87	0.06±0.04	6.69±4.84	93.31±4.84
5. Octubre	0.9	0	0	100
6. Octubre	0.89	0	0	100
7. Noviembre	0.93	0	0	100
8. Diciembre	0.79	0	0	100

Figura 9. Promedios de los coeficientes de escorrentía e infiltración por intervalos de tiempo durante las simulaciones de lluvia



A luz de los resultados obtenidos, se puede observar como el comportamiento de la escorrentía es distinto al descrito por el anterior método, por lo que los datos no pueden ser comparados, sino más bien enfrentados. Las tasas de infiltración cuando el suelo está en su punto más elevado en la capacidad de campo (mes de agosto) oscila alrededor del 85 y 99,5%; sin embargo, cuando el suelo no está completamente humedecido es capaz de absorber el 100% de la lluvia. Teniendo en cuenta que el experimento se realizó con una intensidad de 40 mm/h, se puede observar la elevada capacidad de infiltración del suelo.

### 4.3. Comparación entre diferentes métodos de cálculo de pérdida de suelo

El primer método utilizado para el cálculo de pérdida de suelo ha sido la RUSLE (con las salvedades expuestas en el apartado de descripción metodológica). Los resultados de su aplicación pueden observarse en la Tabla 5 y se concluye que las 11.28 t ha<sup>-1</sup> año de pérdida de suelo se

enmarcan en una erosión de carácter moderado a medio (Wischmeier y Smith, 1978; Dabney *et al.*, 2014).

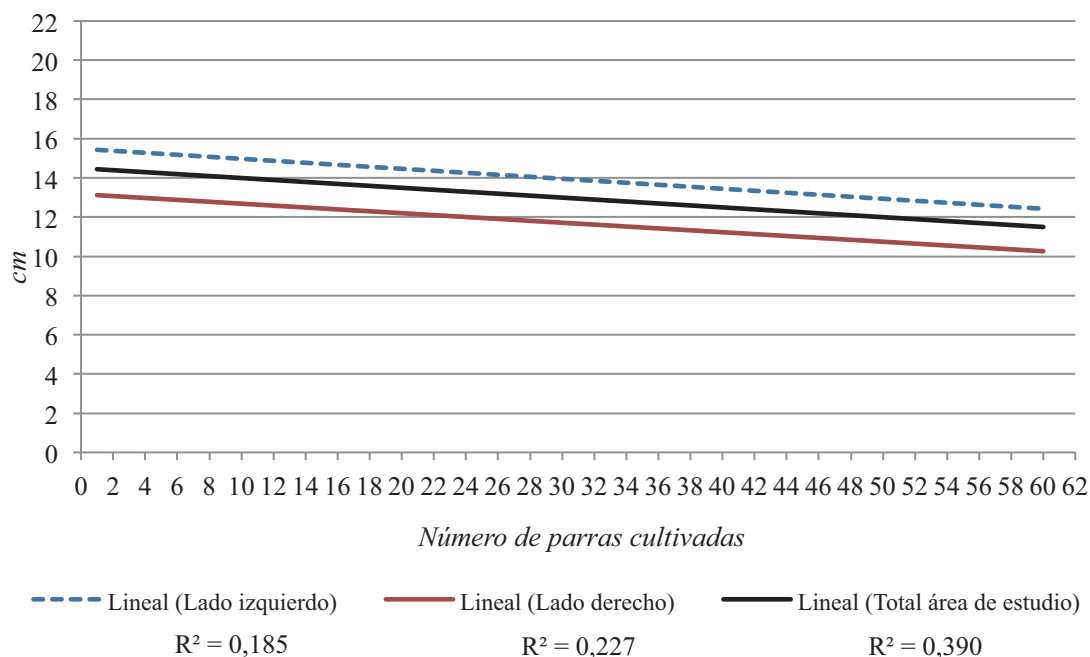
Tabla 5. Cálculo de la RUSLE o Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada

Factores		Resultado
R	Erosividad de la lluvia	54.31
K	Erodibilidad	0.22
LS	Longitud de la pendiente e inclinación	21.27
C	Uso y manejo	0.3
P	Práctica mecánica de apoyo	0.15
A = R*K*LS*C*P		Pérdida de suelo (t ha <sup>-1</sup> año)
		11.28

El segundo método de análisis ha sido el de las marcas botánicas. A lo largo de una superficie concreta cultivada de vides de 0.065 ha (54x12 m), se han medido las distancias entre las marcas frontales del callo del tocón de las parras y el nivel del suelo actual. La pendiente media a lo largo de la ladera se mantiene constante entre el 40 y el 45%.

Siguiendo las indicaciones de Brenot *et al.* (2008), Casalí *et al.* (2009) y Paroissien *et al.* (2010) se han realizado las distintas mediciones en el callo del tocón de 720 parras. En la Fig. 10, se puede analizar hacia dónde tienden las mayores pérdidas o acumulaciones de suelo y cuál es la tendencia de este movimiento. En el eje vertical, se expresa la distancia en cm desde el tocón de las parras con respecto al suelo y en el horizontal el número de las vides cultivadas muestreadas comenzando por la cabecera de la ladera hasta la base.

Figura 10. Grado de decapitación del suelo



Como se puede apreciar, la distancia entre el suelo y la marca en el tocón que realizó el suelo al erosionarse va disminuyendo conforme descendemos la ladera. A continuación, utilizando el dato de densidad aparente (1.4 gr cm<sup>3</sup>), se han obtenido las t ha<sup>-1</sup> totales de pérdida a partir del

volumen estimado. En el Tabla 6, se exponen los resultados finales con el promedio anual de pérdida a cada lado del canal de desagüe y en la totalidad del área de estudio.

Tabla 6. Cálculo de las estimaciones de volumen de suelo perdido

Erosión del suelo (sectores)	Pérdida (cm)	m <sup>3</sup> /ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup> año
Izquierda del canal (total)	13.93±2.07	5.8	3.6
Derecha del canal (total)	11.69±1.78	5.2	3.2
Pérdida total	12.97±1.4	5.5	3.4

\* = El divisor es 35, los años de plantación de las vides en la ladera del área de estudio.

Existen dinámicas diferentes a cada lado del canal con el muro de contención y entre los distintos espacios del área de estudio. Se aprecia cómo las mayores tasas de erosión se dan en la parte izquierda de la parcela (3.6 t ha<sup>-1</sup>). Una dinámica más estable se observa en el lado derecho, donde los rebajes son menos elevados conforme se desciende (3.2 t ha<sup>-1</sup>).

Con respecto a las cifras totales, se constata cómo las pérdidas totales de suelo son de 3.4 t ha<sup>-1</sup> al año. Por último, se comparan (Tabla 7) los resultados con viñedos obtenidos en otros estudios por diferentes autores en el Valle del Mosela, Alemania y Europa.

Tabla 7. Comparación de tasas de pérdida de suelo entre diferentes usos, territorios y metodologías

Autores	Área de estudio	Método	Tasas (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Richter (1975, 1991)	Mertesdorf (Valle del Mosela)	Cajas de sedimentos	0.2-6.6
Emde (1992)	Rheingau (Valle del Rin)	USLE	151
Hacisalihoglu (2007)	Mertesdorf (Valle del Mosela)	»Algemeine Boden Abtrags Gleichung" (ABAG)	6.47
Auerswald <i>et al.</i> (2009)	Alemania	USLE (Universal Soil Loss Equation)	5.2
Cerdan <i>et al.</i> (2006, 2010)	Europa	Extrapolación a partir de trabajos recopilados	12.2
Este estudio	Waldrach (Valle del Ruwer)	Marcas botánicas	3.4
		RUSLE	11.28

## 5. Conclusiones y discusión

Se han comparado diferentes técnicas para estudiar la erosión en campos cultivados de viñedos en el valle del Ruwer. En primer lugar, se ha cuantificado la variación geométrica de tres rills a lo largo de un período de muestreo que abarca desde el periodo anterior a la vendimia hasta el periodo posterior. Se han constatado cambios sustanciales, sobre todo, en la erosión lateral de los rills (entre 7 y 13 cm) frente a la incisión, la cual queda alterada por la deposición materiales sobre el sustrato (entre 1 y 4 cm de espesor). Sin embargo, cabe preguntarse: i) ¿por qué predomina la expansión lateral frente a la vertical?; ii) ¿cómo puede explicarse que sin escorrentía superficial abundante prime la sedimentación y transporte de materiales? Las respuestas podrían estar vin-

culadas con el pisoteo, la remoción y el laboreo o a la respuesta del suelo como consecuencia de su dinámica hidro-geomorfológica.

Por otra parte, para analizar dicha respuesta del suelo se ha calculado el coeficiente de escorrentía. Para dicho fin, se ha utilizado el número de curva que demuestra de forma «teórica» que, conforme la precipitación se incrementa, la escorrentía es aumentada. Sin embargo, se confirma a través de las simulaciones de lluvia que la respuesta no está ligada en gran medida a la cantidad de lluvia caída, sino más bien a las condiciones higrométricas previas del suelo y su potencial de infiltración. Si el manto edáfico no tiene la capacidad de campo al completo, es capaz de absorber precipitaciones de más de  $40 \text{ mm h}^{-1}$  (con tasas de infiltración del 100% en otoño) y canalizar el agua a través de otros mecanismos hidrológicos. Se observa cómo ambas metodologías utilizadas no pueden ser comparables, pero sí usadas para enfrentar paradigmas de tipo teórico y práctico. Por supuesto, es relevante su cuantificación, porque: i) podrían explicarse los mecanismos de pérdida de suelo; ii) la ladera es inestable y, por ende, llegarían a serlo también las infraestructuras que se instalen sobre ella, por lo que es positivo prever posibles negativas consecuencias; iii) podría haber problemas para la sujeción de las parras, pudiéndose partir o volcar los tallos; iv) una continua escorrentía subsuperficial bajo las vides provocaría un exceso de humedad para sus raíces, desembocando en la pérdida de calidad y productividad de la uva, y por consiguiente, del vino, uno de los principales motores económicos en este territorio.

Con respecto a los resultados en la pérdida de suelo, la RUSLE aporta valores de  $11.28 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}$  y el método de las marcas botánicas en los tocones en 3.4. Con ambas técnicas se obtiene una información válida para cuantificar dicho suceso, puesto que los datos no son tan diferentes a los obtenidos por otros autores. Por otra parte, centrados en el análisis de los resultados del nivel de decapitación del suelo a través de las marcas botánicas, un tema de discusión podrían estar en relación en cuanto a los resultados: la subjetividad del método. Dos personas distintas podrían obtener un mapa diferente a través de este método. Sin embargo, autores que ya han aplicado este método ya han alertado este posible problema (Brenot *et al.*, 2008; Casali *et al.*, 2009; Paroissien *et al.*, 2010) y sostienen que los diferentes resultados obtenidos, siendo rigurosamente justificados, pueden ser, lógicamente, completamente válidos.

## 6. Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a la cooperativa de Weinbauverband Mosel, y las bodegas de Gebrüder Steffes (Waldrach) y Langguth (Traben-Trarbach) por facilitar el área de estudio. Finalmente, también dar las gracias a Caixa-Bank y el Servicio de Intercambio Académico Alemán (DAAD) por la beca concedida a Jesús Rodrigo Comino para realizar este trabajo.

## 7. Referencias bibliográficas

- Arnáez, J., Ruiz-Flaño, P., Lasanta, T., Ortigosa, L., Llorente, J.A., Pascual, N., Lana-Renault, N. (2012). «Efectos de las rodadas de tractores en la escorrentía y erosión del suelo en laderas cultivadas con viñedos». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38: 115-130.
- Ashenfelter, O., Storchmann, K. (2010). «Using hedonic models of solar radiation and weather to assess the economic effect of climate change: The case of Mosel Valley vineyards». *The Review of Economics and Statistics*, 92(2), 333-349. DOI: 10.1162/rest.2010.11377.



- Auerswald, K. (2002). «Schätzung des C-Faktors aus Fruchtartenstatistiken für Ackerflächen in Gebieten mit subkontinentalem bis subatlantischem Klima nördlich der Alpen». En: «Landnutzung Landentwicklung», nº43, pp. 1–5.
- Auerswald, K., Fiener, P., Dikau R. (2009). «Rates of sheet and rill erosion in Germany (a meta-analysis)». *Geomorphology*, 11, 182–193. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.04.018
- Boardman, J., Poesen, J., Evans, R. (2003). «Socio-economic factors in soil erosion and conservation». *Environmental Science, Policy*, 6: 1-6.
- Brenot, J., Quiquerez, A., Petit, C., Garcia, J.P. (2008). «Erosion rates and sediment budgets in vineyards at 1-m resolution based on stock unearthing (Burgundy, France)». *Geomorphology*, 100: 345–355. DOI:10.1016/j.geomorph.2008.01.005.
- Bryan, R. B. (2000). «Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope». *Geomorphology*, 32: 385–415. DOI: 10.1007/BF02872682.
- 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. DOI: 10.1016/j.catena.2009.02.015.
- Casper, M., Grigoryan, G., Heinemann, G., Bierl, R. (2013). «Auswirkungen des Klima-wandels auf die Ressource Wasser in Rheinland-Pfalz. – Rheinland-Pfalz Kompetenz-Zentrum für Klimawandelfolgen». En: Schlussberichte des Landesprojekts Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP), nº2, Módulo de Agua, Universidad de Trier, Trier, Alemania.
- Cerdá, A., Gallart, R., Li, J., Papanastasis, V.P., Parmenter, R.R., Turnbull, L., Parsons, A.J., Wainwright, J. (2013). Long-range ecogeomorphic processes: 103-139. En: «Patterns of Land Degradation in Drylands. Understanding Self-Organized Ecogeomorphic Systems». Mueller, E.N., Wainwright, J., Parsons, A.J. & Turnbull. Springer.
- Cerdan O., Govers G., Le Bissonnais Y., Van Oost K., Poesen J., Saby N., Gobin A., Vacca A., Quinton J., Auerswald K., Klik A., Kwaad F. J. P. M., Raclot Damien, Ionita I., Rejman J., Rousseva S., Muxart T., Roxo M. J., Dostal T. (2010). «Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: a study based on erosion plot data». *Geomorphology*, 122 (1-2): 167-177. DOI:10.1016/j.geomorph.2010.06.011.
- Cerdan, O., Poesen, J., Govers, G., Saby, N., Le Bissonnais, Y., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., Klik, A., Kwaad, F.F.P.M., Roxo, M.J., (2006). «Sheet and rill erosion. Soil Erosion in Europe». John Wiley&Sons, pp. 876 DOI: 10.1002/0470859202.ch38.
- Corbane, C.; Andrieux, P.; Voltz, M.; Chadaeuf, J.; Albergel, J.; Robbez-Masson, J.M.; Zante, P. (2008). «Assessing the variability of soil surface characteristics in row-cropped fields: The case of Mediterranean vineyards in Southern France». *Catena* 72: 79-90.
- Dabney, S.M., Yoder, D.C., Vieira, D.A.N. (2012). «The Application of the Revised Universal Soil Loss Equation, Version 2, to evaluate the impacts of alternative climate change scenarios on runoff and sediment yield». *Journal of Soil and Water Conservation*. 67 (5): 343-353.
- De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G., Ritsema, C.J., (1996). «LISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I- Theory, input and output». *Hydrol. Process.*, 10: 1107–1117.
- Deutscher Wetterdienst (DWD): Agencia de Meteorología Alemana (datos climáticos).
- Dienstleistungszentren Ländlicher Raum-Rheinland-Pfalz (DLR-RLP): Centro de datos territoriales del Estado de Renania-Palatinado.
- Durán-Zuazo, V.H., Rodríguez-Pleguezuel, C.R., Martín-Peinado, F.J., De Graaff, J., Franco-Tarifa, D., Flanagan, D.C. (2010). «Environmental impact of introducing plant covers in the taluses of terraces: Implications for mitigating agricultural soil erosion and runoff». *Catena*, 84: 79-88. DOI:10.1016/j.catena.2010.10.004.
- Emde, K. (1992). «Experimentelle Untersuchungen zu Oberflächenabfluß und Bodenaustrag in Verbindung mit Starkregen bei verschiedenen Bewirtschaftungssystemen in Weinbergsarealen des oberen Rheingaus». Geisenheimer Berichte. Gesellschaft zur Förderung der Forschungsanstalt Geisenheim, Geisenheim, vol. 12, pp. 248.
- Fox, D.M., Bryan, R.B. (2000). «The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient». *Catena*, 38: 211–222. DOI: 10.1016/S0341-8162(99)00072-7.
- Gabarrón-Galeote, M.A., Ruiz-Sinoga, J.D., Quesada, M.A. (2012). «Influence of aspect in soil and vegetation water dynamics in dry Mediterranean conditions: functional adjustment of evergreen and semi deciduous growth forms». *Ecohydrology* 6: 241–255. DOI: 10.1002/eco.1262.

- García-Ruiz, J.M., Lana-Renault, N. (2011). «Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region». *Agric.Ecosyst. Environmental*, 140 (3–4): 317–338. DOI: 10.1016/j.agee.2011.01.003.
- Gómez-Gutiérrez, A., Schnabel, S., Lavado-Contador, F., Jariego-García, Á. (2011). «The origin and development of a valley bottom gully in a small rangeland catchment, influences of land use in the growth model». *Landform Analysis*, 17: 65–70.
- Govers, G., (1987). «Spatial and temporal variability in rill development processes at the Huldenberg experimental site». En: R.B. Bryan (Editor), *Geomorphic Significance of Rill Development*. *Catena*, Suppl., 8: 17.
- Govers, G., Poesen, J. (1987). «Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an upland field plot». *Geomorphology*, 1: 343-354. DOI: 10.1016/0169-555X (88)90006-2.
- Hacısalihoglu, S., (2007). «Determination of soil erosion in a steep hill slope with different land-use types: a case study in Mertesdorf (Ruwertal/Germany)». *Journal of Environmental Biology*, 28 (Supl. 2), 433–438.
- Hewlett, J.D., Hibbert, A.R., (1967). «Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid regions». En: Sopper, W.E., Lull, H.W. (Eds.), *Forest Hydrology*. Pergamon Press, Oxford.
- Hudson, N., (1982). «*Conservación de suelo*» Reverte S.A. Barcelona.
- Iserloh, T., Ries, J.B., Arnáez, J., Boix-Fayos, C., Butzen, V., Cerdà, A., Echeverría, M.T., Fernández-Gálvez, J., Fister, W., Geißler, C., Gómez, J.A., Gómez-Macpherson, H., Kuhn, N.J., Lázaro, R., León, F.J., Martínez-Mena, M., Martínez-Murillo, J.F., Marzen, M., Mingorance, M.D., Ortigosa, L., Peters, P., Regüés, D., Ruiz-Sinoga, J.D., Scholten, T., Seeger, M., Solé-Benet, A., Wengel, R., Wirtz, S. (2013). «European small portable rainfall simulators: a comparison of rainfall characteristics». *Catena* 110, 100-112. DOI: 10.1016/j.catena.2013.05.013
- Iserloh, T., Fister, W., Seeger, M., Willger, H., Ries, J.B. (2012). «A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion». *Soil and Tillage Research*, 124: 131–137. DOI: 10.1016/j.still.2012.05.016
- IUSS Working Group WRB. (2006a). «World Reference Base for Soil Resources 2006». World Soil Resources Report 103. FAO, Rome, pp. 117.
- IUSS Working Group WRB. (2006b). «Guidelines for constructing small-scale map legends using the WRB». World Soil Resources, 2º ed. FAO, Rome, pp. 97.
- IUSS Working Group WRB. (2007). «Land Evaluation. Towards a revised framework». Land and Water discussion paper (6), 2º ed. FAO, Rome, pp. 107.
- Köppen, W., Geiger, R. (1954). «*Klima der Erde*». Justus Perthes, Darmstadt, Alemania.
- Kosmas C., Danalatos N., Cammeraat L.H., Chabart M., Diamantopoulos J., Farand R. Gutierrez L., Jacob A., Marques H., Martinez-Fernandez J., Mizara A., Moustakas N., Nicolau J.M., Oliveros C., PinnaG., Puddu R., Puigdefabregas J., Roxo M., Simao A., Stamou G., Tomasi N., Usai D., Vacca A. (1997). «The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions». *Catena*, 29: 45–59. DOI:10.1016/S0341-8162(96)00062-8
- López Cadenas de Llano, F. (Coord.) (1994). «*Restauración hidrológico-forestal de cuencas*». Tragsa-Tragsatec. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, pp. 1002.
- López Cadenas de Llano, F. (Coord.). (2003). «*La Ingeniería en los procesos de desertificación*». Tragsa-Tragsatec. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, pp. 1045.
- López-Vicente, V., Poesen, J., Navas, A., Gaspar, L. (2013). «Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees». *Catena*, 102: 62–73. DOI: 10.1016/j.catena.2011.01.001
- Martínez-Casasnovas, J. A., Antón-Fernández, C., Ramos, M. C. (2003). «Sediment production in large gullies of the Mediterranean area (NE Spain) from high-resolution digital elevation models and geographical information. Systems analysis». *Earth Surf. Process. Landforms*, 28: 443–456. DOI: 10.1002/esp.451.
- Martínez-Casasnovas, J.A. Ramos, M. C., Cots-Folch, R. (2010). «Influence of the EU CAP on terrain morphology and vineyard cultivation in the Priorat region of NE Spain». *Land Use Policy*, 27: 11–21. DOI:10.1016/j.landuse-pol.2008.01.009
- Martínez-Casasnovas, J.A. (2003). «A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion». *Catena*, 50: 293–308. DOI:10.1016/S0341-8162(02)00134-0
- Martínez-Casasnovas, J.A., Poch, R.M. (1998). «Estado de conservación de los suelos de la cuenca del embalse Joaquín Costa». *Limnetica*, 14: 83–91.
- Marzoff, I., Poesen, J. (2009). «The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system». *Geomorphology*, 111: 48–60. DOI:10.1016/j.geomorph.2008.05.047.

- Materechera, S.A. (2009). «Tillage and tractor effects on soil compaction in horticultural fields used for peri-urban agriculture in a semi-arid environment of the North West Province, South Africa». *Soil and Tillage Research*, 103: 11-15. DOI:10.1016/j.still.2008.09.001.
- McCool, D.K., Foster, G.R., Renard, K.G. and Weesies, G.A. (1995). «The Revised Universal Soil Loss Equation». En: Proc. *DOD Interagency Workshop on Technologies to Address Soil Erosion on DOD Lands*. Dept. of Defense. San Antonio, EEUU, 195-202.
- Meitzen, K.M., Doyle, M.W., Thoms, M.C., Burns, C.E. (2013). «Geomorphology within the interdisciplinary science of environmental flows». *Geomorphology*, 200: 143-154. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.03.013
- Menzel, A. (2005). «A 500 year pheno-climatological view on the 2003 heat wave in Europe assessed by grape harvest data». *Meteorologische Zeitschrift*, 14 (1): 75-77. DOI: 10.1127/0941-2948/2005/0014-0075
- Nachtergaele, J., (2001). «A spatial and temporal analysis of the characteristics, importance and prediction of ephemeral gully erosion». Unpubl. PhD Thesis. Department of Geography-Geology, K.U. Leuven.
- Nadal-Romero, E., Lasanta, T., Regüés, D., Lana-Renault, N., Cerdá, A. (2011). «Hydrological response and sediment production under different land cover in abandoned farmland fields in a mediterranean mountain environment». *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* (55): 303-323.
- Paroissien, J. B., Lagacherie, P., Le Bissonnais, Y. (2010). «A regional-scale study of multi-decennial erosion of vineyard fields using vine-stock unearthing-burying measurements». *Catena*, 82: 159-168. DOI:10.1016/j.catena.2010.06.002.
- Peter, K.D., d'Oleire-Oltmanns, S., Ries, J.B., Marzolf, I., Ait Hssaine, A. (2014). «Soil erosion in gully catchments affected by land-levelling measures in the Souss Basin, Morocco, analyzed by rainfall simulation and UAV remote sensing data». *Catena* 113, 24-40. DOI:10.1016/j.catena.2013.09.004.
- Petit, C., Konold, W., Höchtl, F. (2012). «Historic terraced vineyards: impressive witnesses of vernacular architecture». *Landscape History*, 33 (1): 5-28. DOI: 10.1080/01433768.2012.686786
- Piccarreta, M., Capolongo, D., Boenzi, F., Bentivenga, M. (2006). «Implications of decadal changes in precipitation and land use policy to soil erosion in Basilicata, Italy». *Catena*, 65: 138-151. DOI:10.1016/j.catena.2005.11.005.
- Poesen J., Vandaele K., van Wesemael, B. (1998). «Gully erosion: importance and model implications». En: *Modelling Soil Erosion by Water*. Boardman J, Favis-Mortlock D (eds). NATO ASI Series, Vol. I 55. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C. (2003). «Gully erosion and environmental change: importance and research needs». *Catena*, 50: 91-133. DOI:10.1016/S0341-8162(02)00143-1.
- Prasuhn, V. (2011). «Soil erosion in the Swiss midlands: Results of a 10-year field survey». *Geomorphology*, 126: 32-41. DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.10.023.
- Quinton, J.N., Govers, G., Van Oost, K., Bardgett, R.D. (2010). «The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling». *Nature Geoscience*, 3: 311-314. DOI: 10.1038/ngeo838.
- Raclot, D., Le Bissonnais, Y., Louchart, X., Andrieux, P., Moussa, R., Voltz, M. (2009). «Soil tillage and scale effects on erosion from fields to catchment in a Mediterranean vineyard area». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134: 201-210. DOI:10.1016/j.agee.2009.06.019
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. and Porter, J.P. (1991). «RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation». *J. Soil and Water Conservation*, 46 (1): 30-33.
- Richter, G. (1975). «Der Aufbau der Forschungsstelle Bodenerosion und die ersten Messungen un Weinbergslagen». En: *Forschungsstele Bodenerosion der Universität Trier*, Trier, Alemania, pp. 26.
- Richter, G. (1980a). «On the Soil Erosion Problem in the Temperate Humid Area of Central Europe». *GeoJournal* (4-3): 279-287.
- Richter, G. (1980b). «Three years of plot measurements in vineyards of the Moselle region some preliminary results». *Zeitschrift fur Geomorphologie*, Supplementband, 35: 81-91.
- Richter, G. (1991). «Combating Soil Erosion in Vineyards of the Mosel-Region». Universität Trier, Trier.
- Richter, G., Negendank, J.F.W. (1977). «Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river». *Earth Surf Process.*, 2 (2-3), 261-278. DOI:10.1002/esp.3290020217
- Rodrigo Comino, J. (2013). «Cuantificación de los gradientes térmicos a nivel superficial a lo largo del Rheinland-Pfalz (Renania-Palatinado, Alemania)». *Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia*, Universidad de Málaga. 35, 23-48.

- Ruiz-Sinoga, J.D. y Martínez-Murillo, J.F. (2009). «Effects of soil surface components on soil hydrological behavior in a dry Mediterranean environment (Southern Spain)». *Geomorphology*, 108: 234–245. DOI:10.1016/j.geomorph.2009.01.012.
- Ruiz-Sinoga, J.D., Romero-Díaz, A., Ferre-Bueno, E., 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 (2), 15: 131–139. DOI:10.1016/j.catena.2009.09.007.
- Sánchez-Moreno, J.F., Mannaerts, C.M., Jetten, V., Löffler-Mang, M. (2012). «Rainfall kinetic energy–intensity and rainfall momentum–intensity relationships for Cape Verde». *Journal of Hydrology* (454–455): 131–140. DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.06.007
- Sauerborn, P. (1994). «Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland – Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa». En: «Bonner Bodenkundliche Abhandlungen», 13, Bonn, Alemania, pp. 326.
- Schröder, D. (1991). «Soils and Cultivation of Land in the Region of Trier». pp. 25-41. En: Richter, G. (1991): *Combating Soil Erosion in Vineyards of the Mosel-Region*. Universität Trier, Trier, Alemania.
- Seeger, M. (2007). «Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations». *Catena* 71, 56–67. DOI: 10.1016/j.catena.2006.10.005.
- Senciales, J.M. (1999). «Redes fluviales. Metodología de análisis». Edit. Universidad de Málaga, Málaga, España.
- Tebebu T.Y., Abiy, A.Z., Zegeye, A.D., Dahlke, H.E., Easton, Z.M., Tilahun, S.A., Collick, A.S., Kidnau, S., Moges, S., Dadgari, F., Steenhuis, T. S. (2010). «Surface and subsurface flow effect on permanent gully formation and upland erosion near Lake Tana in the northern highlands of Ethiopia». *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 2207–2217. DOI: 10.5194/hess-14-2207-2010.
- Tilahun, S. A.; Mukundan, R.; Demisse, B. A.; Engda, T. A.; Guzman, C. D.; Tarakegn, B. C.; Easton, Z. M.; Collick, A. S.; Zegeye, A. D.; Schneiderman, E. M.; Parlange, J.-Y.; Steenhuis, T. S. (2013). «A saturation excess erosion model». *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 56(2): 681-695
- Torri D., Borselli L., Calzolari C., Yanez M.S., Salvador Sanchis M.P. (2002). «Land use, soil quality and soil functions: effect of erosion». En: Rubio, J.L., Morgan, R.P.C., Asins, S., Andreu, V. (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Congress of the European Society for Soil Conservation*, 28 March 2000, Valencia Spain. *Man and soil in the third millennium*. Geoforma Ediciones, Logroño, España vol. I, 131–148.
- Tropeano, D. (1983). «Soil erosion on vineyards in the Tertiaria Piedmontese basin (northwestern Italy). Studies on experimental áreas». *Catena Supplement*, 4: 115-127.
- Unwin, T. (1996). «*Wine and the Vine: an historical geography of viticulture and the wine trade*». Edit. Routledge, Taylor & Francis Group, New York, pp. 390.
- Urhausen, S., Brienen, S., Kapala, A., Simmer, C. (2011). «Climatic conditions and their impact on viticulture in the Upper Moselle region». *Climatic Change*, 109: 349–373. DOI:10.1007/s10584-011-0059-z.
- Van Dijck, S.J., van Asch, W.J. (2002). «Compaction on loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France». *Soil and Tillage Research*, 63: 141-153. DOI:10.1016/S0167-1987(01)00237-9.
- Van Oost K., Quine T.A., Govers G., De Gryze S., Six J., Harden J.W., Ritchie J.C., McCarty G.W., Heckrath G., Kosmas C., Giraldez J.V., da Silva J.R., Merckx R. (2007). «The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle». *Science*, 318: 626–629. DOI:10.1126/science.1145724.
- Vandaele, K., Poesen, J., Marques de Silva, J.R., Govers, G., Desmet, P., (1997). «Assessment of factors controlling ephemeral gully erosion in Southern Portugal and Central Belgium using aerial photographs». *Z. Geomorphol.* N.F., 41; 273–287.
- Vandekerckhove, L., Poesen, J., Govers, G. (2003). «Medium-term gully headcut retreat rates in Southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurements». *Catena*, 50: 329– 352. DOI:10.1016/S0341-8162(02)00132-7.
- Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., de Figueiredo, T. (1998). «Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensive cultivated areas of the Mediterranean». *Catena*, 33: 271– 292. DOI:10.1016/S0341-8162(98)00068-X.
- Vermessungs und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz. (2013). Basis-DLM, DLM50, Hauskoordinaten, Hausumringe, DGM, LiKa-V, LiKa-R, DTK5, DTK25, DTK50, TK100, DOP, Übersichts-/historische-Karten.
- Vieira, D.A.N., Dabney, S. M. (2011). «Modeling edge effects of tillage erosion». *Soil & Tillage Research*, 111: 197–207

- Wainwright, J. (1996). «Infiltration, runoff and erosion characteristics of agricultural land in extreme storm events, SE France». *Catena*, 26: 24-47. DOI:10.1016/0341-8162(95)00033-X.
- Wicherek, S. (1991). «Viticulture and soil erosion in the North of Parisian Basin. Example: The mid Aisne Region». *Z. Geomorph. N.F. Suppl.*, 83: 115-126.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978). «Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning». *Agriculture Handbook*, 537. USDA-SEA, Washington, DC., USA.
- Wirtz, S., Seeger, M., Ries, J.B. (2012). «Field experiments for understanding and quantification of rill erosion processes». *Catena*, 91: 21–34. DOI: 10.1016/j.catena.2010.12.002.
- Zucca C., Cannu A., Della-Peruta R. (2006). «Effects of land use and landscape on spatial distribution and morphological features of gullies in an agropastoral area in Sardinia (Italy)». *Catena*, 68: 87–95. DOI:10.1016/j.catena.2006.03.015.

#### JESÚS RODRIGO COMINO

Licenciado en Geografía por la Universidad de Málaga en el curso 2011- 2012. Actualmente, realiza la tesis doctoral bajo la dirección de los profesores Johannes Ries (Departamento de Geografía Física, Universidad de Trier) y José Damián Ruiz Sinoga (Departamento de Geografía, Universidad de Málaga) con una beca de Caixa-Bank y el DAAD (Servicio de Intercambio Académico Alemán) titulada: “Procesos geomorfológicos en campos cultivados con viñedos sobre fuertes pendientes. Comparación del Valle del Ruwer (Alemania) y los Montes de Málaga (España)”. Su publicación científica más relevante se titula “Rainfall and human activity impacts on soil losses and rill erosion in vineyards (Ruwer Valley, Germany) en la revista *Solid Earth* (en prensa, 2015).

#### JOSÉ DAMIÁN RUIZ SINOGA

Catedrático del Departamento de Geografía de la Universidad de Málaga, Investigador Principal del Grupo RNM-279 y del Laboratorio de Geomorfología y Suelos (Universidad de Málaga). Su tesis doctoral defendida en la Universidad de Málaga se titula: “Estudio ecogeográfico del viñedo en las cordilleras béticas litorales” (1986). Su línea de investigación abarca principalmente las relaciones suelo-agua-planta, degradación de suelos, desertificación, erosión, restauración de suelos e hidrología de suelos. Ha realizado colaboraciones y estancias de investigación en las Universidades de La Habana (2008, Cuba) y Bar-Illan (2001, Ramat-Gan, Israel). Una de sus publicaciones científicas más relevantes es “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*, 2010).

#### TAMÁS LASSU

Licenciado en Geografía por la Universidad de Pech (Hungría) en el curso 2009-2010. Ha realizado diferentes estancias de investigación relacionadas con temáticas ambientales: Departamento de medioambiente y ciencias analíticas de la Universidad de Wolverhampton (Reino Unido), Departamento de Física de Suelos y Ordenación del Territorio en la Universidad de Wageningen (Países Bajos) y Departamento de Geografía Física de la Universidad de Trier (Alemania). Su publicación científica más relevante se titula “The Wageningen Rainfall Simulator: Set-up and Calibration of an Indoor Nozzle-Type Rainfall Simulator for Soil Erosion Studies” en la revista *Land Degradation and Development* (2014).

#### MANUEL SEEGER

Profesor-investigador del Departamento de Geografía Física de la Universidad de Trier (Alemania). Realizó sus estudios en la Universidad de Karlsruhe sobre Geo-Ecología (1997) y defendió su tesis doctoral en 2001 en Friburgo titulada: “Los suelos y su balance hídrico como indicadores de la degradación del paisaje en espacios agropecuarios extensificados en Aragón (España)”. Ha realizado estancias de colaboración investigadora y docente con las Universidades de Zaragoza y Wageningen (Países Bajos). Sus líneas de investigación se centran en los métodos de medición y análisis de los procesos erosivos. Su publicación científica más relevante se titula “Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees” (*Journal of Hydrology*, 2004).

#### JOSÉ MARÍA SENCIALES GONZÁLEZ

Profesor Titular en el Departamento de Geografía en la Universidad de Málaga (área de Geografía Física) desde 2003. Su tesis doctoral defendida en la Universidad de Málaga se titula: “La cuenca del río Vélez. Estudio Hidrográfico” (1995). En su trayectoria investigadora aborda estudios hidrogeográficos, climatológicos y edafológicos. Ha dirigido dos memorias de Licenciatura, la más reciente (2012) del licenciado J. Rodrigo Comino. Sus dos publicaciones más relevantes son: i) La desembocadura del río Vélez (provincia de Málaga, España). Evolución reciente de un delta de comportamiento mediterráneo (*Cuaternalario y Geomorfología*, 2003); ii) Análisis espacio-temporal de las lluvias torrenciales en la ciudad de Málaga (*Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2013).

#### JOHANNES RIES

Catedrático y jefe del del Departamento de Geografía Física de la Universidad de Trier (Alemania) desde 2002. Realizó sus estudios de Geografía en la Universidad de Friburgo, donde llevó a cabo su tesis doctoral: “Bodenerosion in der Hochgebirgsregion des östlichen Zentral-Himalaya untersucht am Beispiel Bantti/Bhandar/Surma, Nepal” (1994). Desde 1994 a 2001 trabajó como profesor-investigador en la Universidad de Frankfurt am Main (Alemania). Sus actuales líneas de investigación versan sobre los procesos geomorfodinámicos y los métodos de análisis de las dinámicas erosivas sobre suelos en el Mediterráneo (España y Marruecos), Oeste de África y el Sur de Asia. Una de sus publicaciones científicas más relevantes se titula: “Monitoring of gully erosion in the Central Ebro Basin by large-scale aerial photography taken from a remotely controlled blimp” (*Catena*, 2003).