

# SEGURIDAD HÍDRICA



JOAQUÍN MELGAREJO MORENO  
M<sup>a</sup> INMACULADA LÓPEZ ORTIZ  
PATRICIA FERNÁNDEZ ARACIL



# SEGURIDAD HÍDRICA



© los autores, 2023  
© de esta edición: Universitat d'Alacant  
ISBN: 978-84-1302-234-5

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

# TABLA DE CONTENIDO

## BLOQUE I - PLANIFICACIÓN

<b>Consideraciones ambientales con relación a la aprobación del Plan Hidrológico del Tajo de Tercer Ciclo 2022-2027 y el Trasvase Tajo-Segura</b> José Navarro Pedreño.....	19
<b>Planificación Hidrológica: información, participación y evaluación ambiental estratégica</b> Ángel Ruiz de Apodaca Espinosa .....	39
<b>Representación espacio-temporal del riesgo de inundación a partir de las indemnizaciones del seguro de riesgos extraordinarios</b> Francisco Espejo Gil, Urko Elozegi Gurmendi.....	59
<b>La desalación en la estrategia de seguridad hídrica. Implicaciones económicas y ambientales</b> Alberto del Villar García.....	73
<b>La desalación en la provincia de Almería: garantía para el abastecimiento y el regadío</b> Francisco Javier Alcántara Pérez .....	93
<b>Mejorar la resiliencia ante las inundaciones en la Vega Baja (España). Propuesta didáctica en bachillerato</b> Ángela del Carmen Zaragoza, Álvaro-Francisco Morote, María Hernández Hernández.....	105
<b>Resignificando la ciudad como biotopo humano</b> Javier Eduardo Parada Rodríguez, Liliana Romero Guzmán, Jesús Enrique De Hoyos Martínez .....	117
<b>Gestión del agua y saneamiento básico en una reserva de desarrollo sostenible: comunidad de Nossa Senhora do Livramento do Tupé, Brasil</b> Antonio Jorge Barbosa da Silva Maria Claudia da Silva Antunes de Souza .....	133
<b>Proposición de una metodología para estimar la erosión del suelo en viticultura mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method). Un caso en el viñedo leonés</b> Antonio Jódar-Abellán, Marta García-Fernández, Susana García-Pisabarro, Jesús Rodrigo-Comino .....	141
<b>Estimación de la disponibilidad y seguridad hídrica bajo escenarios de cambio climático en una cuenca hidrológica agro-forestal del sureste de España</b> Antonio Jódar-Abellán, Dámaris Núñez-Gómez, Efraín Carrillo-López, Ryan T. Bailey, Pablo Melgarejo .....	151
<b>Determinación del umbral de escorrentía y disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica del río Jubones, Ecuador</b> Paolo Brazales Cervantes, Seyed Babak Haji Seyed Asadollah, Antonio Jódar-Abellán.....	163
<b>Análisis del umbral de escorrentía de la cuenca del río Obispo, en la provincia del Carchi (Ecuador)</b> Pablo David Viera Ríos, Derdour Abdessamed, Antonio Jódar-Abellán.....	175
<b>El acuífero del Peñón (Alicante): un pequeño acuífero kárstico</b> Víctor Sala Sala, José Miguel Andreu Rodes, Miguel Fernández Mejuto, Ernesto García Sánchez.....	185

**¿Se observan cambios en la precipitación que afecten al Acuífero del Ventós (provincia de Alicante)?**

José Miguel Andreu Rodes, Igor Gómez Domenech, Miguel Fernández-Mejuto, Juan Bellot Abad .....197

**Revisión de las políticas de modernización de regadíos en la Comunidad Valenciana. La estrategia valenciana de regadíos 2020-2040**

David Sancho-Vila, Marta García-Mollá .....207

**El impacto del proyecto europeo ARSINOE en la gestión del acuífero de la isla de El Hierro (Canarias)**

Juan C. Santamarta, Noelia Cruz-Pérez, Joselin S. Rodríguez-Alcántara, Alejandro García-Gil, Miguel Á. Marazuela, Carlos Baquedano, Jesica Rodríguez Martín, Luis Fernando Martín Rodríguez ..... 219

**BLOQUE II - INFRAESTRUCTURAS**

**Reutilización de aguas regeneradas en la cuenca del segura. Adaptación al reglamento (UE) 2020/741: retos y oportunidades**

Sonia M. Hernández López, José Carlos González Martínez .....231

**Caracterización hidrológica de los caudales ecológicos mínimos en España**

Luis Garrote de Marcos ..... 249

**Sobrevvertido en presas de hormigón. Evaluación de las acciones hidrodinámicas**

Luis G. Castillo Elsitdié, José M. Carrillo Sánchez, Juan T. García Bermejo ..... 269

**Consideraciones sobre la estimación de hidrogramas de rotura de presas**

Luis Altarejos García ..... 295

**La seguridad de las infraestructuras hidráulicas**

Francisco Javier Flores Montoya .....315

**La ordenación del territorio y la planificación hidrológica al servicio de la seguridad hidráulica y energética**

Francisco Javier Flores Montoya .....325

**La evolución de los servicios urbanos del agua en Madrid: un servicio de alta calidad**

Ignacio Lozano Colmenarejo .....345

**BALTEN: el agua regenerada como garantía de suministro de agua de riego en Tenerife**

Ana Sánchez Espadas, Jesús Rodríguez Martí .....363

**El sector del agua urbana frente a las nuevas exigencias legislativas para mantener la seguridad hídrica**

Carmen Hernández de Vega, Alicia Ayuso Solís .....381

**El abastecimiento de la ciudad de Ávila: retos y soluciones científico-técnicas**

José Luis Molina González, Jorge Mongil Manso ..... 399

**El Consorcio de Aguas de la Marina Baja: un ejemplo de economía circular en la garantía del abastecimiento urbano ante el reto continuo de las sequías**

Jaime Berenguer Ponsoda .....409

**Gestión activa de sistemas de abastecimiento mediante el empleo de sistemas multiagente (MAS) para la sostenibilidad**

Carlos Calatayud Asensi, José Vicente Berná Martínez, Vicente Javier Macián Cervera, Lucia Arnau Muñoz .....439

**La gestión municipal del ciclo urbano del agua digitalizado**

Rosa Rozas Torrente, M<sup>a</sup> José Moya Llamas, Arturo Trapote Jaume .....451

<b>Microsectorización dinámica redes de distribución de agua</b>	
Arturo Albaladejo Ruiz.....	463
<b>Uso de compuertas en redes de drenaje para reducir inundaciones</b>	
Leonardo Bayas-Jiménez .....	477
<b>Detección y monitoreo de aguas superficiales en la región semiárida brasileña a partir de datos orbitales de sensores remotos</b>	
Izaias de Souza Silva.....	487

### **BLOQUE III - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y JURÍDICA**

<b>La inseguridad hídrica del informe del Consejo Nacional del Agua sobre el recorte del travase Tajo-Segura</b>	
Miguel Ángel Blanes Climent.....	499
<b>El necesario impulso a las centrales hidroeléctricas reversibles como contribución a la seguridad energética nacional: algunas cuestiones jurídicas</b>	
Estanislao Arana García .....	511
<b>Políticas públicas para la mitigación del impacto del cambio climático sobre los aprovechamientos energéticos</b>	
Jesús Conde Antequera .....	529
<b>La legislación contra el cambio climático y la transición a una economía descarbonizada desde una doble perspectiva: ambiental y social</b>	
José Esteve Pardo.....	549
<b>Huella hídrica y financiación sostenible</b>	
Domingo Zarzo Martínez, Mercedes Calzada Garzón, Patricia Terrero Rodríguez.....	559
<b>¿Estamos sobreestimando los recursos de agua regenerada? Una ducha fría con la realidad hidro-económica</b>	
Julio Berbel, Esther Díaz-Cano, Alfonso Expósito .....	577
<b>Taxonomía de los instrumentos económicos aplicados para la gestión sostenible del agua</b>	
Nazaret M <sup>a</sup> Montilla López, Esther Díaz-Cano y Julio Berbel.....	597
<b>Seguridad hídrica y objetivos del PNIEC desde una perspectiva jurídica</b>	
José Antonio Blanco Moa .....	613
<b>SIAGES: un innovador sistema integrado de apoyo a la gestión del agua</b>	
Alberto Esteban Barrera García, Álvaro Rodríguez García, Ramón Bella Piñeiro, Jose Pablo Ormaechea, Luis José Ruiz Aznar, Abel Solera Solera et al., Manuel Argamasilla Ruiz, Lupicino García Ortiz.....	631
<b>Crisis energética y equilibrio económico financiero en la contratación pública</b>	
Esteban Arimany Lamoglia .....	643
<b>Garantía del abastecimiento en el Sureste español: la Mancomunidad de los Canales del Taibilla</b>	
Patricia Fernández Aracil, M <sup>a</sup> Inmaculada López Ortiz, Joaquín Melgarejo Moreno.....	655
<b>La evaluación de impacto ambiental de proyectos hidráulicos ¿lo estamos haciendo bien?</b>	
Carlos Martín Cantarino.....	677

<b>La seguridad energética y el autoconsumo fotovoltaico como herramienta para la seguridad hídrica</b>	
Marcos García-López, Joaquín Melgarejo .....	695
<b>Seguridad hídrica y equilibrio ecológico en el parque natural «El Hondo»: visión histórico-jurídica</b>	
Francisco José Abellán Contreras .....	709
<b>Los trasvases en tiempos de seguridad hídrica</b>	
Paul Villegas Vega .....	723
<b>Vulnerabilidad e incidencia de la pobreza hídrica en Alicante</b>	
Ricardo Abad Coloma .....	735
<b>Asequibilidad al agua urbana y pobreza hídrica en ciudades del Norte global: el caso de Alicante</b>	
Luis E. Zapana Churata, Rubén A. Villar Navascués, María Hernández Hernández, Antonio M. Rico Amorós .....	745
<b>Políticas públicas de ayudas para la mejora, modernización e innovación en el regadío de la Región de Murcia</b>	
Ramón Martínez Medina, Encarnación Gil Meseguer, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín .....	759
<b>O reflexo das <i>fake news</i> frente a crise ambiental: uma reflexão necessária nos dias atuais</b>	
Aline Hoffmann, Liton Lanes Pilau Sobrinho .....	773
<b>Apontamentos sobre o pagamento por serviços ambientais</b>	
André Luiz Anrain Trentini .....	783
<b>Constitucionalismo das águas – o “aguar” das constituições</b>	
Luciana Pelisser Gottardi Trentini .....	795
<b>Uso sustentável da água: uma definição a partir dos conceitos de segurança hídrica, de eficiência e de sustentabilidade</b>	
Ana Luisa Schmidt Ramos, Alexandre Morais da Rosa .....	805
<b>O regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil</b>	
Jefferson Zanini, Luiz Antônio Zanini Fornerolli .....	815
<b>Segurança hídrica e seu tratamento jurídico no o regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil e na Espanha</b>	
Leandro Katscharowski Aguiar .....	827
<b>Debatendo os ODS com base na sustentabilidade e no desenvolvimento sustentável.....</b>	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Heloise Siqueira Garcia .....	837
<b>A falta de efetividade no planejamento da segurança hídrica do Brasil</b>	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Alexandre Waltrick Rates .....	851
<b>Do constitucionalismo ao constitucionalismo global: por uma constituição mundial em defesa de bens fundamentais</b>	
Vanessa Ramos Casagrande .....	863
<b>A dessalinização da água como instrumento de segurança hídrica</b>	
Anaxágora Alves Machado Rates .....	875
<b>A canção dos oceanos</b>	
Paola Fava Saikoski .....	885

<b>Análise da lei de recursos hídricos à luz da responsabilidade do Brasil para com a sustentabilidade e a conscientização ambiental</b>	
Adilor Danieli .....	895
<b>Investigación sobre el río Amarillo en las dinastías Ming y Qing. Comentario sobre la Ley de protección del río Amarillo</b>	
Yang Yang.....	907
<b>Propuesta metodológica para la recolección del etnoconocimiento en la gestión del riesgo de desastre</b>	
Isaleimi Quiguapumbo Valencia, Antonio Aledo Tur.....	919

## **BLOQUE IV - TECNOLOGÍAS**

<b>Nuevo sistema de riego con recuperación de agua y nutrientes</b>	
Pablo Melgarejo, Dámaris Núñez-Gómez, Pilar Legua, Vicente Lidón, Agustín Conesa, Antonio Marhuenda, Juan José Martínez-Nicolás.....	933
<b>Dinapsis: transformación digital para la gestión sostenible del agua y la salud ambiental</b>	
María Tuesta San Miguel.....	953
<b>Los contaminantes emergentes en la reforma de la directiva de aguas residuales</b>	
Daniel Prats Rico.....	959
<b>Fertirrigación y nuevas estrategias como garantía de seguridad hídrica en el regadío</b>	
Alejandro Pérez Pastor y Elisa Pagán Rubio.....	985
<b>La desalación y el hidrógeno</b>	
Alejandro Zarzuela López.....	1005
<b>Análisis regional de la reducción de boro en agua marina desalinizada para el riego agrícola en el sureste español</b>	
Alberto Imbernón Mulero, José Francisco Maestre Valero, Saker Ben Abdallah, Victoriano Martínez Álvarez, Belén Gallego Elvira.....	1021
<b>Impacto ambiental de la reducción del boro del agua de mar desalinizada para el riego en parcela</b>	
Saker Ben Abdallah, Belén Gallego-Elvira, Alberto Imbernón-Mulero, Victoriano Martínez-Alvarez, José Francisco Maestre Valero.....	1031
<b>Modelado cinético del consumo de CO<sub>2</sub> para la cepa Spirulina platensis</b>	
Antonio F. Marcilla Gomis, Inmaculada Blasco López.....	1041
<b>Empleo de filtro verde construido con residuos para reducir el contenido en fósforo en aguas de riego</b>	
Teresa Rodríguez Espinosa, María Belén Almendro Candel, Ana Pérez Gimeno, Iliana Papamichael.....	1055
<b>Tecnologías de oxidación avanzada para la degradación del fármaco carbamazepina: la ozonización</b>	
María José Moya-Llamas, Marta Ferre Martínez, Elizabetha Domínguez Chabaliná, Arturo Trapote Jaime, Daniel Prats Rico.....	1067
<b>Aprendizaje basado en proyectos colaborativos globales en formación profesional: banco de ensayos hidráulicos para la digitalización del agua</b>	
Albert Canut Montalvã, Joaquín Martínez López, Maties Roma mayor, Antonio Oliva Sánchez.....	1079

<b>Reutilización de agua para riego en la ciudad de Murcia. Proyecto LIFE CONQUER</b> Eva Mena Gil, Simón Nevado Santos, Elena de Vicente Aguilar, Adriana Romero Lestido Benoît Fabien Claude Lefèvre.....	1091
<b>Eliminación de microcontaminantes emergentes en lodos de depuradora mediante procesos de oxidación avanzada: peróxido de hidrógeno y ozono</b> Clara Calvo Barahona, Adrián Rodríguez Montoya, María José Moya-Llamas, Arturo Trapote Jaume, Daniel Prats Rico.....	1103
<b>Vigilancia y protección de las aguas superficiales mediante el proyecto WQeMS y los servicios del Copernicus</b> Pablo Cascales de Paz, Eva Mena Gil, Isabel Hurtado Melgar, Laurent Pouget.....	1115
<b>Tratamiento ecológico para la eutrofización y la anoxia en las masas de agua</b> Ricardo Mateos-Aparicio Baixauli.....	1125
<b>Modelado de descarga submarina de salmuera antes y después de la instalación de un difusor</b> Silvano Porto Pereira, José Luís Sánchez-Lizaso, Paulo César Colonna Rosman. Ángel Loya, Iran Eduardo Lima Neto.....	1137
<b>Las sequías en España en el siglo XXI: su influencia en la disminución y cierre de transferencias de agua del acueducto Tajo-Segura y de la conexión Negratín-Almanzora</b> Encarnación Gil Meseguer, Ramón Martínez Medina, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín.....	1147

# Proposición de una metodología para estimar la erosión del suelo en viticultura mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method). Un caso en el viñedo leonés

**Antonio Jódar-Abellán**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología,  
Universidad Miguel Hernández de Elche, España

[antonio.jodar@ua.es](mailto:antonio.jodar@ua.es)

<https://orcid.org/0000-0003-3373-8952>

**Marta García-Fernández**

Departamento de Tecnología Minera, Topografía y de Estructuras,  
Universidad de León, España

[mgarclf@unileon.es](mailto:mgarclf@unileon.es)

<https://orcid.org/0000-0002-3935-5197>

**Susana García-Pisabarras**

Departamento de Geografía y Geología, Universidad de León, España

[sgarcp@unileon.es](mailto:sgarcp@unileon.es)

<https://orcid.org/0000-0001-7995-7435>

**Jesús Rodrigo-Comino**

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física,  
Universidad de Granada, España

[jesusrc@ugr.es](mailto:jesusrc@ugr.es)

<https://orcid.org/0000-0002-4823-0871>

## RESUMEN

La erosión del suelo en campos cultivados con viñedos es un tema preocupante y que debe ser atendido por empresas, instituciones y agricultores/as. En lo referente al agua, el control de la erosión es clave para conseguir un manejo sostenible del suelo. En este trabajo se estimó la movilización del suelo en viñedos convencionales cultivados en espaldera (variedad Mencía principalmente) en el municipio de Cacabelos (comarca de El Bierzo, provincia de León, España) utilizando ISUM (*Improved Stock Unearthing Method*). Los principales resultados mostraron tasas de movilización del suelo cercanas a 6 t/ha/año, así como tasas de erosión verticales cercanas a los 13 cm con respecto a la referencia de la plantación (año 1). En concreto, nuestro estudio permite evaluar con precisión qué áreas podrían estar siendo afectadas por eventos extremos de lluvia, la eliminación de la cobertura vegetal o el uso excesivo de maquinaria.

## 1. INTRODUCCIÓN

La degradación de suelos es un proceso que se traduce en la pérdida de la fertilidad del horizonte más superficial, la reducción de la producción de alimentos y una disminución de los ingresos de los agricultores/as, y es muy activo en aquellos ecosistemas donde la agricultura ha estado presente desde hace milenios (Blaikie and Brookfield, 2015; Palacios-Cabrera et al., 2022). El mal uso y abuso de los recursos del suelo en campos cultivados donde la vegetación no se ha conservado o el uso excesivo de químicos puede provocar su completa pérdida de funcionalidad (Romero-Díaz et al., 2017). La erosión del suelo por el agua de las tormentas, especialmente las gotas frías, es considerada una de las principales amenazas para los recursos del suelo en el sector agrícola y es la clave para entender los procesos de deterioro de la agricultura y pérdida de población rural (Camarasa-Belmonte, 2016; Jodar-Abellan et al., 2019; Ricart y Rico, 2019). Por lo tanto, es necesario evaluar qué zonas son más vulnerables y crear una base de datos que nos permita identificar qué cultivos deberían ser una prioridad para rediseñar sus manejos (López-Vicente et al., 2020). Dentro del proyecto de la Fundación BBVA, “Creación de una base nacional de erosión en viñedos para potenciar la protección del suelo fértil”, se presentan los primeros resultados de unas mediciones preliminares en la provincia de León. Este trabajo se ha realizado utilizando el *Improved stock unearthing Method* o ISUM (Rodrigo-Comino y Cerdà, 2018) en el que se considera el tocón de la parra como un bioindicador de la movilización del suelo tras realizar perfiles transversales tomando puntos de control cada 10 cm.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

Este trabajo fue realizado, durante el mes de enero de 2022, en la parcela agrícola indicada en la Figura 1, la cual se localiza en el término municipal de Cacabelos (comarca de El Bierzo, en la provincia de León, España) y muestra una altitud media de 615 m s. n. m. (CNIG, 2021). Actualmente, en dicha parcela se cultivan viñedos en espaldera (principalmente de la variedad Mencía) con una edad media de 18 años desde el momento de la plantación (en el año 2005).

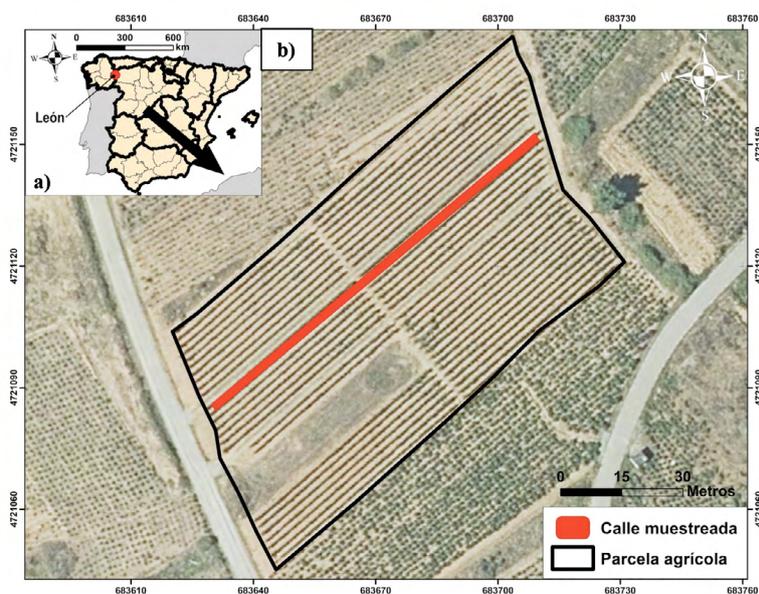


Figura 1. Localización de la zona de estudio: a) en el contexto de la provincia de León; b) parcela y calle muestreada.

El contexto de la zona de estudio muestra precipitaciones anuales medias relativamente abundantes (cerca de los 650 mm), aunque desigualmente distribuidas siendo la primavera y el invierno las estaciones más lluviosas y, por ende, con mayor potencial erosivo del terreno. Así mismo, en invierno la precipitación se produce frecuentemente en forma de nieve. Por su parte, el régimen de temperaturas se sitúa en los 12°C como media anual (AEMET, 2021) siendo los inviernos muy fríos y con frecuentes nieblas; mientras que los veranos son suaves, registrándose puntualmente días con temperaturas muy altas. Así mismo, el terreno de la parcela evaluada se encuentra compuesto principalmente por gravas, arenas, arcillas y limos (IGME, 2021).

En la Figura 2 se muestran determinadas imágenes de la parcela evaluada y su entorno. Cabe destacar que la misma se sitúa en un terreno marcadamente plano, con pendientes muy moderadas y prácticamente nulas en numerosas ubicaciones de la parcela. No obstante, pese a ello, la erosión (pérdida) del suelo identificada fue considerablemente notoria.



Figura 2. Imágenes de la zona de estudio: a y b) vista panorámica del viñedo mostrando el personal del equipo de trabajo; c) detalle del pie de planta con erosión del suelo sobreelevada y del tocón.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Aplicación de ISUM

El presente trabajo fue elaborado utilizando el *Improved Stock Unearthing Method* o ISUM, desarrollado por Rodrigo-Comino y Cerdà (2018) a partir del método tradicional del tocón elaborado por Casalí et al. (2009) y por Brenot et al. (2008). En síntesis, este método se basa en tomar como referencia la altura del injerto/tocón durante la plantación de las viñas con respecto al nivel del terreno (Casalí et al., 2009). Habitualmente dicho injerto, que actúa por lo tanto como un bioindicador del nivel del suelo (en este caso de la movilización a nivel superficial), es plantado a cota 0, es decir a ras del suelo, o bien a 1 ó 2 cm por encima de la cota del terreno. De este modo, con las mediciones que se realicen con posterioridad, tomando como referencia el tocón y la cota del terreno “en la vertical” (Figura 3), se podrán obtener: i) la pérdida (erosión) o ganancia (deposición/ acumulación) de suelo; ii) los cambios en la topografía del terreno; iii) el grado de compactación de los suelos (Bayat et al., 2019; Rodrigo-Comino et al., 2022); iv) su rugosidad (da Silva et al., 2019); v) la cartografía de las zonas con mayor erosión o sedimentación; vi) la pérdida de suelo en toneladas/hectárea y año para lo cual además es necesario tomar mediciones de densidad aparente ( $\text{gr/cm}^3$ ) junto con mediciones en los ejes x,y,z en la propia calle muestreada, etc. Información detallada sobre ISUM y su aplicación puede ser encontrada en Rodrigo-Comino y Cerdà (2018), Rodrigo-Comino et al. (2019), entre otros trabajos.

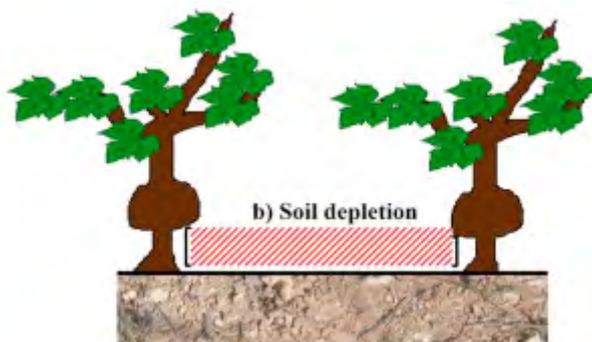


Figura 3. Esquema tipo que muestra la pérdida de suelo fértil considerando el tocón como referencia de la cota 0. Fuente: adaptado de Rodrigo-Comino y Cerdà (2018).

#### 3.2. La Plaga de la filoxera y su relación con ISUM

Como se ha indicado anteriormente, el método ISUM necesita un nivel de referencia o bioindicador ambiental a partir del cual poder tomar mediciones de la cota del terreno separadas en el tiempo, pudiendo determinar así la evolución de dicho terreno (con pérdida o ganancia de suelo). Cabe destacar que, aunque ISUM ha sido aplicado exitosamente en cultivos como naranjos, caquis, etc. su aplicación más extendida ha sido en viñedos, y más concretamente en viñedos en espaldera (Rodrigo-Comino, 2018). Esto es debido a que actualmente, tal y como dicta la normativa, la totalidad de los cultivos de viñedos en la Unión Europea deben estar compuestos por variedades europeas plantadas (injertadas) sobre pie franco americano, creándose en el lugar donde se realiza el injerto (con una púa habitualmente) un bulbo o tocón con un crecimiento en la vertical prácticamente nulo (Figura 2d y Figura 3). El motivo de esta obligatoriedad (variedad europea sobre pie franco americano) es debida a la plaga de la filoxera (*Daktulosphaira*

*vitifoliae*), la cual arrasó gran parte de los viñedos del continente europeo entre 1860, momento en el que fue descrita por primera vez en Europa, y 1880 (Piqueras-Haba, 2005; Agarwal et al., 2020). Actualmente, dicha plaga se encuentra activa en 30 países del mundo, incluido España, aunque las pérdidas económicas que genera son minoritarias. Entre los métodos de tratamiento utilizados contra la citada plaga destacan la inoculación de sulfuro de carbono, sulfocarbonato de potasio, determinadas mezclas de cal viva, naftaleno, aceite de hulla y agua, etc. actualmente no autorizadas en Europa debido a su elevado potencial contaminante del suelo y el agua. Por esta razón, actualmente en Europa, el único método autorizado es el injerto de variedades europeas sobre portainjertos resistentes siendo las variedades (pies o patrones) americanas: *Vitis riparia*, *V. rupestris*, *V. berlandieri*, etc. las que muestran un desarrollo radicular capaz de resistir el ataque de la forma radicícola del mencionado pulgón (Gómez y Tobarra, 2015; Martínez, 2018; Yeh et al. 2021; Jodar-Abellan et al., 2022).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Densidad aparente y erosión del suelo en toneladas/ha/año

Las mediciones de densidad aparente del terreno fueron tomadas en condiciones de campo a lo largo de la calle muestreada (que cuenta con 104 metros de longitud y un ancho de 1,7 metros) en 24 cilindros de volumen conocido ( $100 \text{ cm}^3$ ). Tras el secado de las muestras de suelo, el valor medio de densidad aparente del terreno fue de  $1,35 \text{ gr/cm}^3$ . Cabe destacar que el terreno de la calle evaluada mostró una elevada heterogeneidad en los valores obtenidos de dicha variable, siendo por ejemplo el valor mínimo  $0,72 \text{ gr/cm}^3$  y el máximo  $1,89 \text{ gr/cm}^3$ .

A partir del valor medio de la densidad aparente, y considerando las mediciones realizadas en los ejes x,y,z, es decir, en el ancho y largo de la calle junto con la medida vertical de pérdida o ganancia de suelo, todo ello recopilado en las 111 líneas (pares de cepas) que conforman la calle analizada, se obtuvo una pérdida de suelo fértil de 6 toneladas/hectárea y año. Cabe destacar que en la porción externa de la calle, donde se sitúan los pies de planta de las viñas, dicha pérdida de suelo se redujo considerablemente situándose en 1,6 toneladas/hectárea y año gracias, probablemente, a la sujeción del terreno producida por la vid. Sin embargo, en la parte central de la mencionada calle, desprovista de vegetación alguna (Figura 2b), esta pérdida alcanzó las 7,1 toneladas/hectárea y año de pérdida de suelo fértil. Estos valores de erosión son elevados, en relación a lo obtenido en otras zonas de España y Europa con ISUM (Bayat et al., 2019; Rodrigo-Comino et al., 2018; Rodrigo-Comino et al., 2019) y pueden ser debidos principalmente a la existencia de intensas precipitaciones durante los meses de invierno, el material parental, el tipo de suelo y el manejo.

### 4.2. Métodos de interpolación y nivel del suelo

Como se mencionó anteriormente, en la calle evaluada, las mediciones del nivel del terreno fueron realizadas en cada una de las 111 líneas (pares de cepas) que integran la calle, y con una separación de 10 cm entre cada medida. Por lo tanto, dado que la calle presenta una anchura de 1,7 metros, se realizaron 17 medidas/línea. No obstante, para poder determinar el valor de pérdida o ganancia de suelo en aquellos emplazamientos no medidos, es necesario realizar una interpolación. En este caso, se evaluaron 11 métodos de interpolación (Tabla 1) siendo el *Empirical Bayesian Kriging* el método que presentó mejores resultados.

MÉTODO DE INTERPOLACIÓN	VALIDACIÓN	
	ERROR MEDIO	RMSE*
Inverse Distance Weighting	-0.13	2.75
Global Polynomial Interpolation	0.00015	3.26
Radial Basis Functions	-0.09	2.67
Local Polynomial Interpolation	-0.02	2.89
Ordinary Kriging	-0.16	2.81
Simple Kriging	-0.09	3.07
Universal Kriging	-0.16	2.81
Areal Interpolation	-0.033	2.88
Empirical Bayesian Kriging	-0.015	2.77
Kernel Smoothing	-0.06	2.80
Diffusion kernel	-0.05	2.88

Tabla 2. Métodos de interpolación considerados (\*Root-mean-square error o error cuadrático medio).

De este modo, la columna que muestra la distribución espacial de los valores de erosión en la vertical (eje z) a lo largo de la calle fue realizada con el método *Empirical Bayesian Kriging* (Figura 4). La distribución espacial de los citados valores de erosión indica que los valores máximos de erosión se sitúan en los 13 cm de pérdida de suelo con respecto al tocón, mientras que la acumulación de suelo alcanza los 8 cm, siendo no obstante estos últimos valores de deposición de suelo tan elevados minoritarios a lo largo de la calle evaluada. De hecho, el histograma de esta matriz de datos denota que la mayor parte de las mediciones realizadas se sitúan entre los -10 cm y los -2 cm, es decir, en un rango neto de pérdida de suelo (Figura 4). Este rango de valores de erosión en la vertical, es decir, en el eje z se corresponde por lo tanto con los cálculos realizados en los ejes x,y,z que indicaron también valores de pérdida neta de suelo en la parcela, en concreto de 6 toneladas/ha/año.

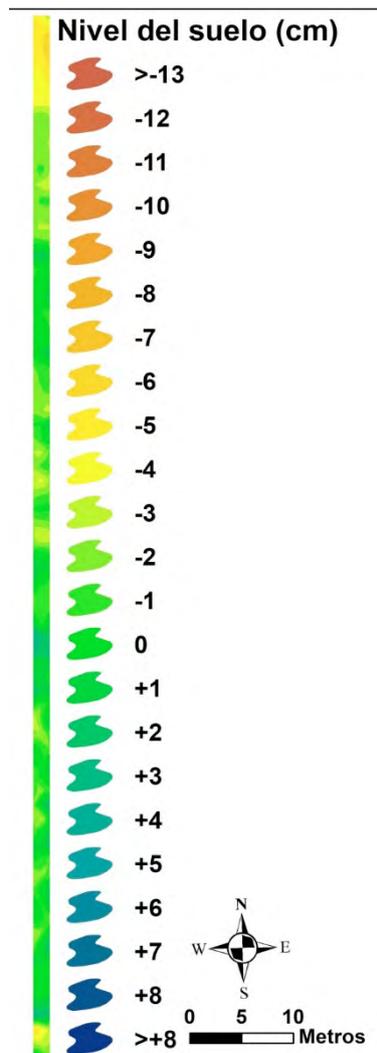


Figura 4. Distribución espacial en la calle muestreada de los valores de erosión (negativos) y de acumulación/deposición del suelo (positivos).

## 5. CONCLUSIONES

El presente trabajo fue realizado en una parcela agrícola ubicada en el municipio de Cacabelos (provincia de León, España) aplicando *Improved Stock Unearthing Method* (ISUM). Los principales resultados indicaron una pérdida anual de suelo fértil cercana a las 6 toneladas/hectárea/año. Asimismo, los rasgos de la movilización del suelo en la parcela indican que las precipitaciones, especialmente intensas en invierno, y el tipo de manejo sin vegetación bajo las parras pueden ser los principales factores de erosión de suelo en la zona, siendo los meses de diciembre y enero los que concentran los eventos (tormentas) de mayor magnitud y, por ende, con mayor potencial erosivo del terreno.

En cuanto a las medidas de mitigación con las que reducir las elevadas tasas de erosión identificadas, actualmente se está evaluando la viabilidad de plantar gramíneas en la franja central de las calles, dado que dichos cultivos no competirían en exceso por el recurso agua con las propias cepas y tampoco actuarían como vector (transmisor) de enfermedades (plagas) a las cepas

## AGRADECIMIENTOS

Los datos mostrados en el presente estudio fueron obtenidos a través de la financiación recibida del proyecto de investigación de la Beca Leonardo a Investigadores y Creadores Culturales 2021 de la Fundación BBVA” (Ref. BBVA2021-Leonardo2; IP: J. Rodrigo-Comino) “Creación de una base nacional de erosión en viñedos para potenciar la protección del suelo fértil”, vinculado a la Universidad de Granada. Asimismo, los autores del trabajo agradecen enormemente a los propietarios de la parcela (bodega Moncloa de San Lázaro, León, España), junto a los colegas que nos ayudaron a realizar esta investigación sobre el terreno, la disponibilidad, asesoramiento e información facilitada sobre los cultivos de la parcela en cuestión.

## REFERENCIAS

- AEMET (2021). *Registros de la Agencia Estatal de Meteorología*. <http://www.aemet.es>
- Agarwal, A., Cunningham, J. P., and Valenzuela, I. (2020). A diagnostic LAMP assay for the destructive grapevine insect pest, phylloxera (*Daktulosphaira vitifoliae*). *Scientific Reports*, 10, 21229. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77928-9>
- Bayat, F., Bayat-Monfared, A., Reza-Jahansooz, M., Terol-Esparza, E., Keshavarzi, A., Giménez-Morera, A., Pulido-Fernández, M., Cerdà, A. (2019). Analyzing long-term soil erosion in a ridge-shaped persimmon plantation in eastern Spain by means of ISUM measurements. *Catena*, 183, 104176. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104176>
- Brenot, J., Quiquerez, A., Petit, C., and 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. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.01.005>
- Camarasa-Belmonte A. M. (2016). Flash floods in Mediterranean ephemeral streams in Valencia Region (Spain). *Journal of Hydrology*, 541, 99-115. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.019>
- CNIG (2021). *Centro Nacional de Información Geográfica*. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- Casalí, J., Giménez, R., Santisteban, L., Álvarez-Mozos, J., Mena, J., and Del Valle de Lersund, J. (2009). Determination of long-term erosion rates in vineyards of Navarre (Spain) using botanical benchmarks. *Catena*, 78, 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.02.015>
- da Silva, A. M., Moradi, E., Rodrigo-Comino, J., and Cerdà, A. (2019). Spatial variability of soil roughness in persimmon plantations: A new combined ISUM (improved stock unearthing method) approach. *Ecological Indicators*, 106, 105528. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105528>
- Gómez, R. M. y Tobarra, M. L. (2015). *Viteus vitifoliae (Fitch)*. Ficha 354. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Servicio de Diagnóstico y Asistencia Fitosanitaria (SEDAF). Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP). [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/plataforma\\_conocimiento/fichas/pdf/fd\\_354.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/plataforma_conocimiento/fichas/pdf/fd_354.pdf)

- IGME (2021). *Mapa de permeabilidad en formato Shapefile. Escala 1/200.000*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Jodar-Abellan, A., Valdes-Abellan, J., Pla, C., and Gomariz-Castillo, F. (2019). Impact of land use changes on flash flood prediction using a sub-daily SWAT model in five Mediterranean ungauged watersheds (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 657, 1578-1591. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.034>
- Jodar-Abellan, A., Melián-Navarro, M. D., and Rodrigo-Comino, J. (2022). Estimación de la movilización del suelo como efecto de la escorrentía en viñedos mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method) en el Sureste de España. En: J. Melgarejo, M. I. López Ortiz y P. Fernández, *Agua, Energía y Medioambiente* (pp. 459-466). Universidad de Alicante.
- Martínez, C. (2018). *La plaga que cambió el mapa del viñedo en España*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. <https://www.mncn.csic.es/es/comunicacion/blog/la-plaga-que-cambio-el-mapa-del-vinedo-en-espana>
- Moradi, E., Rodrigo-Comino, J., Terol, E., Mora-Navarro, G., Marco da Silva, A., Dalia-kopoulos, I., Khosravi, H., Pulido-Fernández, M., and Cerdà, A. (2020). Quantifying Soil Compaction in Persimmon Orchards Using ISUM (Improved Stock Unearthing Method) and Core Sampling Methods. *Agriculture*, 10, 266. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070266>
- Palacios-Cabrera, T. A., Valdés-Abellán, J., Jódar-Abellán, A., and Rodrigo-Comino, J. (2022). Land-use changes and precipitation cycles to understand hydrodynamic responses in semiarid Mediterranean karstic watersheds. *Science of the Total Environment*, 819 (153182), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153182>
- Piqueras-Haba, J. (2005). La Filoxera en España y su Difusión Espacial: 1878-1926. *Cuadernos de Geografía*, 77, 101-136. [https://www.uv.es/cuadernosgeo/CG77\\_101\\_136.pdf](https://www.uv.es/cuadernosgeo/CG77_101_136.pdf)
- Ricart, S., and Rico, A.M. (2019). Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: a review on risks, regulation and the yuck factor. *Agric. Water Manag.*, 217, 426-439. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.017>
- Rodrigo-Comino, J., Salvia, R., Quaranta, G., Cudlín, P., Salvati, L., and Gimenez-Morera, A. (2021). Climate Aridity and the Geographical Shift of Olive Trees in a Mediterranean Northern Region. *Climate*, 9, 64. <https://doi.org/10.3390/cli9040064>
- Rodrigo-Comino, J. (2018). Five decades of soil erosion research in “terroir”. The State-of-the Art. *Earth-Science Reviews*, 179, 436-447. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.02.014>
- Rodrigo-Comino, J., Keshavarzi, A., Zeraatpisheh, M., Gyasi-Agyei, Y., and Cerdà, A. (2019). Determining the best ISUM (Improved stock unearthing Method) sampling point number to model long-term soil transport and micro-topographical changes in vineyards. *Computers and Electronics in Agriculture*, 159, 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.007>
- Rodrigo-Comino, J., and Cerdà, A. (2018). Improving stock unearthing method to measure soil erosion rates in vineyards. *Ecological Indicators*, 85, 509-517. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.042>

- Rodrigo-Comino, J., Caballero-Calvo, A., Jodar-Abellan., J., Terol, E., and Cerdá, A. (2022). Implementation in teaching of the process of creating a national base of erosion in vineyards to enhance the protection of fertile soil and restrain degradation. In: *Lourenço Magnoni Júnior, Ensino de Geografia e a Redução do Risco de Desastres em Espaços Urbanos e Rurais* (pp. 126-139). <https://www.age-geografia.es/site/publicacion-del-libro-ensino-de-geografia-e-a-reducao-do-risco-de-desastres-em-espacos-urbanos-e-rurais/>
- Romero-Díaz, A., Ruiz-Sinoga, J. D., Robledano-Aymerich, F., Brevik, E. C., and Cerdà, A., (2017). Ecosystem responses to land abandonment in Western Mediterranean Mountains. *Catena*, 149 (Part3), 824-835. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.013>
- Yeh, H. T., Cheah, H. Y., and Chiu, M. C. (2021). Assessment of potential invasion for six phytophagous quarantine pests in Taiwan. *Scientific Reports*, 11, 10666. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89914-w>