



**2025** | **16-20**  
GIJÓN | JUNIO

**9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL**

# 9CFE-1921

Actas del Noveno Congreso Forestal Español  
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**  
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Impacto de la Cobertura y Gestión Forestal en la Erosión del Suelo y la Calidad del Agua Potable en Cuencas del País Vasco

GARTZIA BENGOETXEA, N. (1), SANCHEZ ATRIÁN, S. (1), ZABALETA LOPETEGUI, A. (2)

(1) Departamento de Ciencias Forestales, NEIKER-Nekazal Ikerketa eta Garapenerako Euskal Erakundea, Berreaga 1, 48160 Derio, Bizkaia

(2) Departamento de Didáctica de las Matemáticas, Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, Tolosa Hiribidea 70, 20018 Donostia, Gipuzkoa

### Resumen

La erosión del suelo por lluvia es una de las principales formas de degradación de suelo en Europa, afectando directamente la calidad del agua potable. En Euskadi, donde gran parte del agua de consumo humano proviene de captaciones de agua superficial la gestión forestal podría jugar un papel fundamental en la protección del agua potable. Este estudio evalúa el papel de la precipitación y de los usos del suelo (*Fagus sylvatica*, *Pinus radiata* o *Eucalyptus globulus*) en la respuesta sedimentaria en cinco cuencas durante el periodo 2021-2022. La concentración de sólidos en suspensión mostró correlación con la precipitación acumulada y/o la intensidad diezminutal de los eventos lluviosos. Sin embargo, la respuesta sedimentaria no depende únicamente de las características de los eventos lluviosos, sino que también pone de manifiesto el papel crucial de los usos del suelo en la respuesta sedimentaria. En las cuencas forestales de Arriona (haya) y Mape (eucalipto) se observaron pérdidas importantes de suelo por falta de sotobosque en Arriona y por una corta a hecho cercana al curso de agua en Mape. Las cuencas sin intervenciones forestales y cobertura permanente presentaron una menor pérdida de suelo. Este estudio resalta la importancia de un manejo forestal que priorice la conservación del sotobosque y minimice las perturbaciones del suelo para proteger los recursos hídricos destinados al consumo humano.

Palabras clave

Degradación del suelo , erosividad de la lluvia, cuencas hidrográficas, cambio climático, agua potable

### 1. Introducción

La erosión del suelo es una de las principales amenazas ambientales, reconocida en informes de la FAO o la Comisión Europea como una de las principales causas de degradación del suelo a nivel global. Aproximadamente el 56 % de los suelos del mundo presentan algún nivel de degradación (FAO, 2014), causado por la pérdida de la capa superior del suelo debido a agentes como el agua, el viento y prácticas de gestión de suelo insostenibles. La erosión ocurre naturalmente, pero se ve intensificada por actividades humanas como la silvicultura intensiva, la deforestación o los cambios inadecuados en el uso de la tierra, superando en muchos casos la capacidad del suelo para regenerarse, lo que lleva a pérdidas irreparables a escala humana.

Este fenómeno no solo disminuye la fertilidad del suelo, comprometiendo la seguridad alimentaria, sino que también provoca problemas hidrogeológicos, pérdida de biodiversidad, contaminación del agua y daños a infraestructuras (FAO, 2019). Los sedimentos arrastrados por el agua erosionada pueden transferir nutrientes y contaminantes, afectando significativamente a la calidad del agua, especialmente en regiones como Europa, donde casi el 80% del agua de consumo



humano proviene de ríos (EEA, 2023). Además, la erosión y degradación del suelo impactan negativamente en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), comprometiendo el bienestar de gran parte de la población mundial.

La gestión sostenible del suelo es fundamental para abordar estos desafíos. Herramientas como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) ayudan a cuantificar y entender los factores de la erosión, como la erosividad de la lluvia, la erodabilidad del suelo, las características topográficas y el manejo de la cobertura vegetal. Entre las medidas clave para mitigar la erosión están la protección de la cubierta vegetal, el control del impacto de la lluvia y la promoción de prácticas de gestión de suelo sostenibles.

En este contexto, los bosques ofrecen servicios ecosistémicos de regulación que resultan cruciales, ya que tienen la capacidad de reducir la erosión, mejorar la calidad del agua y actuar como barreras protectoras. La capacidad para proporcionar este servicio depende en gran medida de la estructura y el estado del bosque (IMAIZUMI et al. 2008). La cobertura arbórea incrementa la interceptación de la lluvia y transpira la humedad del suelo, lo que reduce la escorrentía; de este modo, un dosel continuo puede ofrecer una buena protección en áreas con pendientes pronunciadas. Los sistemas radiculares profundos y la abundante materia orgánica asociada tanto a la hojarasca como a los exudados de raíces incrementan la capacidad del suelo para retener agua y formar agregados estables, lo cual contribuye a la resistencia frente a la erosión (STOKES & YILDIZ, 2023). Sin embargo, en regiones como el País Vasco, donde la explotación forestal comercial, principalmente de pino y eucalipto, ha intensificado las intervenciones silvícolas tanto en el tiempo como en la utilización de maquinaria pesada, se han observado problemas de erosión de suelo (ZABALETA et al., 2007, 2018; GARTZIA-BENGOETXEA et al., 2021). Las características locales, como la elevada pluviometría y los suelos arcillosos, agravan el problema, causando altas tasas de concentración de sedimentos en suspensión (CSS) en los cursos de agua y afectando la calidad del agua potable. Los datos de EKUIS (Sistema de Información de Aguas de Consumo de la Comunidad Autónoma del País Vasco, CAPV) revelaron que, en el periodo 2008-2018, el 23 % de las muestras de agua de consumo final en Bizkaia mostraron niveles de turbidez (valor directamente relacionado con la CSS) superiores a los ideales establecidos por la OMS y la UE. Por lo tanto, comprender el papel de la precipitación y de los usos del suelo en la respuesta sedimentaria de las cuencas es fundamental para poder tomar medidas de protección del agua potable.

## 2. Objetivos

El objetivo general de este estudio fue comparar la concentración de sólidos en suspensión (CSS) asociada a eventos lluviosos en cinco cuencas de captación de agua superficial destinada al consumo humano en la CAPV, y relacionarla con las características de los eventos lluviosos y los usos de los suelos.

## 3. Metodología

El estudio se llevó a cabo entre enero de 2021 y diciembre de 2022 en cinco cuencas de captación de agua superficial destinadas al consumo humano ubicadas en la Comunidad Autónoma del País Vasco: Arriona, Artzuola, Artixene, Itzaz y Mape. Estas cuencas fueron elegidas por las diferencias en la cobertura vegetal y su representatividad en términos de gestión forestal y características del suelo.

Para caracterizar las cuencas, se aplicó la metodología desarrollada en el proyecto



LIFE URBASO ([www.lifeurbaso.com](http://www.lifeurbaso.com)). Se analizaron los usos del suelo, evaluando los tipos de vegetación predominante y cuantificando la cobertura arbustiva mediante la cartografía de Geoeuskadi. Las propiedades fundamentales del suelo, como la textura, el contenido de materia orgánica y el potencial de erosión, se determinaron a partir del Mapa de Suelos de la CAPV y calicatas realizadas específicamente en las cuencas. Adicionalmente, se incorporaron datos climáticos actuales y proyectados, incluyendo precipitación anual y erosividad de la lluvia, generados en el proyecto LIFEURBANKLIMA2050 ([www.urbanklima2050.eu](http://www.urbanklima2050.eu)).

El estudio también incluyó un análisis de los eventos de precipitación, definidos como periodos en los que las precipitaciones diarias superaron o igualaron 1 mm. Estos datos se obtuvieron de estaciones meteorológicas locales, permitiendo un monitoreo detallado de las condiciones climáticas. Se calculó el número total de eventos lluviosos por cuenca durante el período de estudio, la duración (en días), la precipitación acumulada (en mm) y la intensidad máxima diezminutal (en mm/10 min) de los diferentes eventos de precipitación. Se realizó así mismo un análisis estacional de los eventos lluviosos considerando invierno (1 de diciembre-28/29 de febrero), primavera (1 de marzo-31 de mayo), verano (1 de junio-31 de agosto) y otoño (1 de septiembre-30 de noviembre). Por otra parte, al no disponer de datos de humedad del suelo, también se tuvo en cuenta la precipitación de los 3, 7 y 15 días previos a cada evento (en mm), con el objetivo de tener una aproximación a las condiciones hídricas antecedentes de la cuenca.

Para determinar la concentración de sólidos en suspensión (CSS) durante los eventos de precipitación, se utilizaron tomamuestras automáticos ISCO 3700, que recolectaron muestras de agua diarias. Estas muestras fueron procesadas en el laboratorio, donde se calculó la concentración de sólidos en suspensión siguiendo el método UNE-EN 872:2006. Al comparar la duración de los eventos de precipitación con los de exportación de sólidos se observó que en la mayoría de los casos la concentración de sólidos en suspensión seguía siendo muy elevada una vez finalizado el evento lluvioso, por lo que se estableció un umbral para determinar el valor por debajo del cual se considera que la crecida de sedimentos en suspensión ha finalizado. Para ello, se realizaron gráficos de frecuencias acumuladas en el que se representaron los valores de CSS en escala logarítmica. Los puntos de inflexión de la curva generada se utilizaron como referencia para establecer dicho umbral, obteniendo de esta forma un valor de 50 mg/L en Arriona, 30 mg/L en Artzuola, 43 mg/L en Artixene, 26 mg/L en Itzaz y 48 mg/L en Mape. Se calcularon la concentración de sedimentos en suspensión media (CSSmed) y máxima (CSSmax) por evento. Además, al igual que con los eventos de precipitación, también se realizó un análisis estacional de la CSS.

Finalmente, se realizó un análisis estadístico que incluyó pruebas ANOVA y t para comparar las variables entre las distintas cuencas y explorar correlaciones entre la CSS y las características de los eventos.

#### 4. Resultados

En las cuencas estudiadas, la cubierta forestal varió en cuanto a la especie principal: en Arriona predominaban los bosques de haya, que cubrían el 97% de la superficie, mientras que en las otras cuencas hubo más plantaciones forestales de especies introducidas, como el pino radiata (80% de la superficie en Artzuola y Artixene) y el eucalipto (50% de la superficie en Itzaz y Mape). Arriona destacó por tener un bajo porcentaje de sotobosque, con un 89% de su superficie con una cubierta arbustiva inferior al 20%, mientras que las cuencas con pinares y eucaliptales superaban el 50% de su superficie con una cubierta arbustiva superior

al 20%.

En cuanto a las propiedades edáficas, no se observaron diferencias significativas entre las propiedades estudiadas. El tipo de suelo mayoritario en todas las cuencas fue el Cambisol, principalmente gleico. Las texturas francas fueron las más habituales, aunque la cuenca de Artzuola presentó una textura franco-arcillo-limosa. La densidad aparente de los suelos en las cuencas varió entre 1.34 y 1.44 g/cm<sup>3</sup> y la susceptibilidad a la erosión considerando la erosividad de la lluvia, la erodabilidad de los suelos y la topografía era muy alta en todas ellas.

En cuanto al clima, las cuencas presentaban unas precipitaciones anuales entre 1300 y 1500 mm, pero se espera una reducción de entre un 10% y un 20% en la precipitación anual debido al cambio climático (IHOBE, 2021), así como un aumento de entre un 50% y un 60% en la erosividad de la lluvia, lo que incrementaría el riesgo de erosión del suelo en el futuro.

Durante el período de estudio, se registraron una media de  $52 \pm 5$  eventos lluviosos. Los eventos se caracterizaron por su corta duración (mediana de 2 días), una precipitación total de  $18 \pm 3$  mm y una intensidad máxima de  $9 \pm 3$  mm/10 min. La mayor cantidad de eventos lluviosos se dio en invierno; aunque fue en otoño cuando las medianas de precipitación fueron más altas y los eventos de mayor intensidad se dieron en verano.

Los valores de concentración de sólidos en suspensión (CSS) registrados en las cuencas no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), sin embargo, como se observa en la figura 1, las cuencas de Arriona y Mape mostraron eventos con una importante cantidad de material erosionado (nótese que los datos en el eje de ordenadas se encuentran en escala logarítmica).

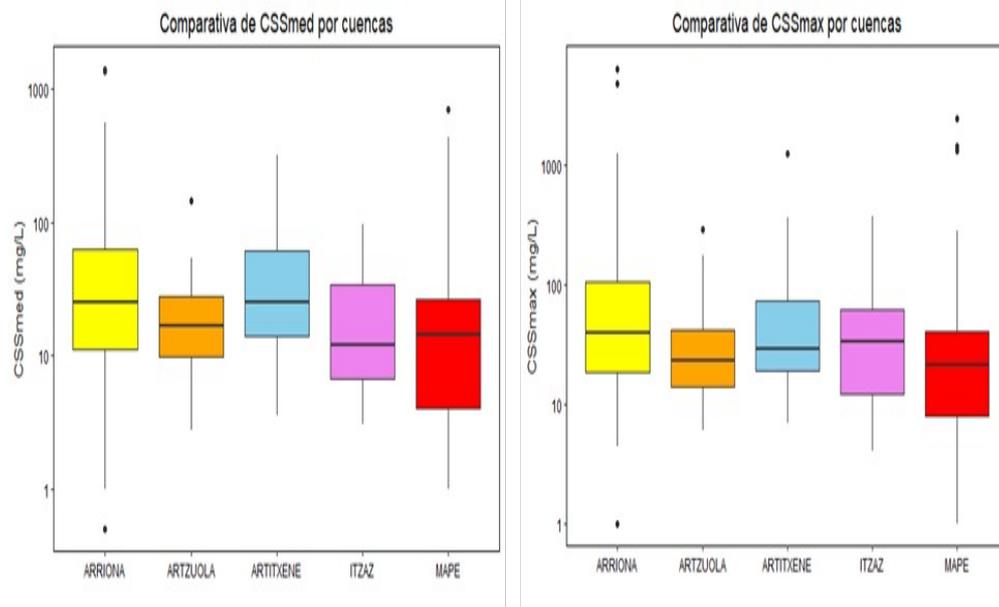


Figura 1: Boxplot de la concentración media (izq) y máxima (dcha) de sólidos en suspensión de los eventos registrados en cada cuenca (n=28 en Arriona, 29 en Artzuola, 17 en Artixene, 21 en Itzaz y 20 en Mape). Nótese que la escala en ordenadas es logarítmica.

En cuanto a las condiciones previas a los eventos de precipitación, se observó que en Arriona la precipitación antecedente fue menor en comparación con las otras cuencas, lo que podría interpretarse como una indicación de suelos relativamente más secos antes de los eventos de precipitación, potencialmente influyendo en la

respuesta sedimentaria. Sin embargo, no se identificó ninguna correlación significativa entre la precipitación antecedente y la respuesta sedimentaria.

Con respecto a las correlaciones entre la CSS y las características de los eventos, se observó que, en Arriona, la CSS no presentaba relación alguna con la precipitación acumulada, pero sí con la intensidad de las precipitaciones (tabla 1). En Artixene, la respuesta sedimentaria mostró una correlación positiva y significativa con la precipitación acumulada. En Mape, se observó correlación tanto con la precipitación acumulada como con la intensidad, mientras que en Artzuola no se encontró correlación con ninguna de estas variables (tabla 1). Estos resultados destacan que la respuesta sedimentaria no depende únicamente de las características de los eventos lluviosos, sino que también pone de manifiesto el papel crucial del uso del suelo, las propiedades del suelo, la cubierta vegetal y la topografía en la respuesta sedimentaria. En particular, se resalta la complejidad de las interacciones entre estos factores, lo que subraya la necesidad de considerar múltiples variables para entender completamente los procesos de erosión y transporte de sedimentos en las cuencas.

Tabla 1: Correlaciones de Pearson entre las variables CSSmed y CSSmax con la precipitación acumulada y la intensidad diezminutal. Los asteriscos indican un nivel de significancia al 0,05.

Variabes	Arriona	Artixene	Artzuola	Mape	Itzaz
Precipitación acumulada vs CSSmed	0,23	0,76*	0,02	0,45*	0,26
Precipitación acumulada vs CSSmax	0,20	0,83*	0,26	0,86*	0,33
Intensidad diezminutal vs CSSmed	0,52*	0,40	-0,18	0,26	0,18
Intensidad diezminutal vs CSSmax	0,49*	0,37	0,12	0,42*	0,33

## 5. Discusión

Los eventos analizados ocurrieron en 2021 y 2022, años meteorológicamente muy distintos. Mientras 2021 fue entre normal y húmedo, destacando eventos significativos en junio (tormentas intensas) y noviembre (evento extraordinario de 21 días), 2022 fue muy seco, con mayor erosión en invierno y primavera. Las diferencias climáticas influyen en la respuesta sedimentaria de las cuencas estudiadas. La relación entre la respuesta sedimentaria y las características de la precipitación varió significativamente entre las diferentes cuencas. En ciertas cuencas, la respuesta sedimentaria se correlacionó principalmente con la precipitación acumulada de eventos, lo que sugiere que la cantidad total de precipitaciones juega un papel crítico en la movilización de sedimentos. Esto puede ser particularmente relevante en zonas donde las precipitaciones prolongadas conducen a la saturación del suelo, aumentando la escorrentía y el potencial de erosión (GONZALEZ-HIDALGO y ECHEVERRIA, 1990). En otras cuencas, la respuesta sedimentaria se vio más fuertemente influenciada por la intensidad máxima de precipitación, lo que indica que los eventos intensos de precipitaciones de corta duración tienen un impacto más inmediato en el transporte de sedimentos, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas (WANG et al., 2023). En algunas cuencas, tanto la precipitación acumulada como la intensidad resultaron ser predictores significativos de la movilización de sedimentos,



destacando las complejas interacciones entre las diferentes características de precipitación, y sin embargo, en otras cuencas, no se observaron correlaciones significativas. Todo ello sugiere que factores como el uso del suelo, las propiedades del suelo, la cubierta vegetal y la topografía pueden sobreponerse a la influencia de la precipitación por sí sola.

En Arriona, la estructura de su cobertura forestal puede explicar las mayores concentraciones de sólidos en suspensión observadas en comparación con las demás cuencas. Su cobertura forestal está compuesta casi exclusivamente por un denso hayedo coetáneo, lo que limita el desarrollo del sotobosque (COSTA et al., 1998), crucial para proteger el suelo contra la erosión. La formación arbustiva juega un papel fundamental en la protección del suelo frente a la erosión, ya que amortigua no solo el impacto de las gotas de lluvia, sino también de aquellas formadas por trascolación en las hojas de los árboles, las cuales pueden incluso llegar a tener una erosividad mucho mayor (BUCKLEY et al., 2018). Además, las hayas son árboles caducifolios, lo que, junto con la falta total de sotobosque, conlleva a que los suelos, en ciertas épocas del año, presenten una elevada exposición a los agentes erosivos y, por tanto, un mayor riesgo de erosión. La combinación de suelos desnudos, pendientes pronunciadas y lluvias intensas acentúa este fenómeno, a pesar de la textura franca de los suelos, menos vulnerable que las arenosas o arcillosas.

En las cuencas con plantaciones forestales de pino o eucalipto el comportamiento varía según se hayan realizado o no labores forestales. En Mape, la concentración de sólidos en suspensión se incrementó en 2021 tras dos cortas a hecho de eucalipto, siendo la más grande de ellas de 4.6 hectáreas y localizada a 60 metros del curso de agua (fig. 2) Estas actividades redujeron la cobertura forestal y afectaron el suelo mediante compactación y disminución de permeabilidad, lo que favoreció la escorrentía superficial y el transporte de sedimentos (GARTZIA-BENGOETXEA et al., 2021). En contraste, las cuencas de Artzuola, Artitxene e Itzaz, sin intervenciones forestales durante el estudio, presentaron menor erosión, atribuible a la continuidad de la masa arbórea y al efecto protector del sotobosque. No obstante, estas cuencas podrían enfrentar problemas similares al de Mape si se realizan intervenciones futuras.



Figura 2: Ortofoto de la cuenca de Mape donde se resaltan en rojo las 2 cortas a hecho realizadas en 2021, el curso de agua se muestra en azul y la ubicación de la captación de agua superficial destinada a consumo humano se muestra con una estrella roja.

En resumen, las características de los eventos lluviosos como la precipitación acumulada o la intensidad diezminutal, combinadas con los usos del suelo y las prácticas forestales, son factores clave que afectan a la pérdida de suelo en estas cuencas.

## 6. Conclusiones

El análisis de eventos de precipitación revela que tanto la intensidad como la cantidad total de lluvia influyen significativamente en el transporte de sedimentos, siendo la erosividad de la lluvia un factor determinante. Esto adquiere especial relevancia en un contexto de cambio climático, donde se proyecta un aumento de entre el 50 % y el 60 % en la erosividad de las lluvias. Sin embargo, la estructura forestal como las prácticas forestales afectan a la pérdida de suelo en estas cuencas.

La ausencia de un sotobosque denso, como en Arriona, y las prácticas silvícolas que dejan el suelo desnudo, como las matarrasas en Mape, incrementan la concentración de sedimentos en los cursos de agua, afectando negativamente su calidad. En contraste, las cuencas con cobertura continua de sotobosque y ausencia de intervenciones, como Artixene, Artzuola e Itzaz, presentan menores niveles de sedimentos, lo que subraya la importancia de estrategias de manejo forestal



sostenible que prioricen la conservación del sotobosque y minimicen las perturbaciones del suelo para proteger los recursos hídricos destinados al consumo humano.

## 7. Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias a la financiación del proyecto URLUR- Gestión del uso del suelo para la protección del agua de consumo humano: gestión integral de los recursos hídricos en un clima cambiante (PID2019-109726RR-I00) en el marco del Programa Estatal de I+D+i Orientado a los Retos de la Sociedad, financiado por la Agencia Estatal de Investigación.

## 8. Bibliografía

BUCKLEY, P., SUCHOMEL, C., MOOS, C., CONEDERA, M., 2018. Prevention of Soil Erosion and Rockfall by Coppice and High Forest – A Review. In A. Unrau, G. Becker, R. Spinelli, D. Lazdina, N. Magagnotti, V.N. Nicolescu, P. Buckley, D. Bartlett, P.D. Kofman (Eds.), *Coppice Forests in Europe* (pp. 139-150). Freiburg i. Br., Germany: Albert Ludwig University of Freiburg.

COSTA TENORIO, M., MORLA JUARISTI, C., SAINZ OLLERO, H., 1998. *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Barcelona: Planeta.

EEA, European Environment Agency, 2023. *Water abstraction by source and economic sector in Europe*.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2019. *Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management*. Rome. 100 pp.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2014. *Sistematización de prácticas de conservación de suelos y aguas con enfoque de adaptación al cambio climático. Metodología basada en WOCAT para América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile, 123 pp.

GARTZIA-BENGOETXEA, N., MARTÍNEZ DE ARANO, I., ARIAS-GONZÁLEZ, A., 2021. Forest productivity and associated soil ecosystem services remain altered 15years after mechanized site preparation for reforestation with *Pinus radiata*. *Soil and Tillage Research* 213, 105150.

GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., ECHEVERRÍA, M. T., 1990. Cuantificación de procesos de erosión en el semiárido aragonés. *Conceptualización e instalación de una estación experimental*. *Azara*, 2, 21-32.

IHOBE, 2021. *Análisis bioclimático de Euskadi en escenarios de cambio climático*. Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente. Gobierno Vasco. 49 pp.

IMAIZUMI F., SIDLE, R.C., KAMEI, R., 2008. Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan. *Earth Surf. Process. Landforms* 33 (6), 827–840. 10.1002/esp.1574.

STOKES, A., YILDIZ, A., 2023. The reinforcement of soil by plant roots. *Encyclopedia of Soils in the Environment (Second Edition)*. Volume 5, 115-122.

WANG, L., LI, Y., WU, J., AN, Z., SUO, L., DING, J., LI, S., WEI, D., & JIN, L., 2023. Effects of the Rainfall Intensity and Slope Gradient on Soil Erosion and Nitrogen Loss on the Sloping Fields of Miyun Reservoir. *Plants*, 12(3), 423.

ZABALETA, A., ANTIGÜEDAD, I., BARRIO, I., PROBST, J.L., 2016. *Suspended sediment delivery from small catchments to the Bay of Biscay. What are the controlling*



factors?. *Earth Surface Processes and Landforms*,41(13), 1894-1910

ZABALETA, A., GARMENDIA, E., MARIEL, P., TAMAYO, I., ANTIGÜEDAD, I., 2018.Land cover effects on hydrologic services under a precipitation gradient.*Hydrol. Earth Syst. Sci*, 22, 5227-5241.