



**2025** | **16-20**  
**GIJÓN** | **JUNIO**

**9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL**

**9CFE-1763**

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

Organiza





## Resumen

La degradación de suelos es un proceso con múltiples causas y graves consecuencias ambientales (erosión, emisión de carbono, pérdida de biodiversidad, contaminación de aguas, desertificación) y económicas (pérdida de productividad y de viabilidad de las fincas). La restauración ecológica permite revertir estos procesos y generar un círculo virtuoso para múltiples servicios ecosistémicos.

Este trabajo presenta el proceso de generación del Mapa de Suelos Vulnerables a la Degradación en Catalunya (DegSolCat), una herramienta de apoyo a la planificación territorial basada en cartografía temática, bibliografía científica, consulta a expertos y técnicas SIG.

En primer lugar, identificamos las principales fuentes de degradación edáfica en este contexto, elaborando la cartografía de trabajo de cada una: erosión hídrica y eólica, cobertura vegetal defectiva, contaminación por nitratos, actividades extractivas, sellado de suelos, decapado y otros impactos antrópicos. La combinación jerarquizada y ponderada de estas capas ha permitido generar el mapa DegSolCat, que clasifica el territorio catalán en cinco categorías de degradación de suelos: Poco relevante (13.677 Km<sup>2</sup> del territorio), Moderada (14.107 Km<sup>2</sup>), Grave (2.345 Km<sup>2</sup>), Extrema (64 Km<sup>2</sup>) y Suelo sellado (1.445 Km<sup>2</sup>). Este mapa será la base para producir próximamente el Mapa de Prioridad de Restauración de Suelos (PriResCat), una herramienta de apoyo al despliegue de un plan de restauración de suelos a nivel autonómico.

## 1. Introducción

La degradación de suelos es una preocupación global creciente, debido a la relación directa con la productividad primaria y, por tanto, con la viabilidad de la producción de alimentos y del resto de recursos ligados a la bioeconomía, así como con el ciclo hidrológico y del carbono y la conservación de la biodiversidad, entre otros (PRÄVÄLIE et al., 2024; SOLLEN-NORRLIN et al., 2020).

Se entiende por degradación del suelo la reducción de su capacidad para producir bienes y/o servicios (FAO, 2016). A efectos de este trabajo, la degradación se expresa en función de la funcionalidad del suelo, es decir, los procesos mediante los cuales el suelo ejerce sus capacidades esenciales en el ecosistema (OLDEMAN et al., 1991; OLDEMAN & VAN LYNDEN, 1996). Este enfoque incluye las interacciones de procesos físicos, químicos y biológicos que permiten al suelo mantener funciones fundamentales como la protección de la biodiversidad, la regulación del ciclo del agua y los nutrientes o el almacenamiento de carbono, entre otros.

La degradación puede deberse a múltiples causas, que pueden clasificarse en dos grandes categorías: naturales (riadas, fuegos causados por fenómenos naturales, etc.) y antrópicas (técnicas agrícolas inadecuadas, deforestación, cambio de uso del suelo, sobrepastoreo, etc.) (RAMOLA et al., 2023).



Las consecuencias o indicadores de esta degradación pueden ser tanto ambientales (degradación física, química o biológica) como económicos (pérdida de productividad y viabilidad de las fincas) (FERREIRA et al., 2022). La degradación física incluye fenómenos como el sellado, el decapado del suelo, la compactación y la erosión; la degradación química incluye la disminución de la materia orgánica y el carbono edáfico, la contaminación y la salinización, mientras que la degradación biológica consiste en la pérdida de biodiversidad del suelo (JONES et al., 2004; SOLLEN-NORRLIN et al., 2020; FERREIRA et al., 2022).

Aunque a nivel global, Europa y Eurasia son las regiones menos afectadas por la degradación de suelos (FAO, 2016), se considera que el 63% de los suelos europeos están afectados por procesos de degradación (ARIAS-NAVARRO et al., 2024). Según el Mapa de Condición de la Tierra (SANJUÁN et al., 2014), en España, el 20% del territorio se considera degradado, y el 74% de la superficie es susceptible a desertificación por razones climáticas. El 30% del suelo agrario está en un estado de degradación moderada a muy alta (PRĀVĀLIE et al., 2024).

En este contexto, la Unión Europea es pionera en el desarrollo de estrategias y normativas enfocadas en revertir la degradación del suelo y fomentar su restauración. Entre estas estrategias destaca la mención explícita al Pacto Verde Europeo (COM(2019) 640) de la necesidad de proteger y restaurar los suelos. Todas las estrategias y normativas que articulan el desarrollo del Pacto Verde Europeo en materia ambiental y climática hacen referencia a esta necesidad. Entre las figuras más destacadas en este sentido se encuentran las Estrategias Europeas de Suelos (COM(2021) 699), de la Granja a la Mesa (COM(2020) 381), de Bioeconomía (COM(2018) 673/2), de Biodiversidad (COM(2020) 380), y de Adaptación al Cambio Climático (COM(2021) 82), y especialmente el Reglamento (2024/1991) de Restauración de la Naturaleza.

La restauración ecológica (RE) es el proceso de apoyar la recuperación de un ecosistema que ha sido deteriorado, degradado o destruido (NELSON et al., 2024). Se trata de una prioridad global para conservar la biodiversidad mientras se reducen la desertificación, la degradación y los impactos antropogénicos del cambio climático (ALEXANDER et al., 2016). La RE juega, por tanto, un papel esencial para revertir la degradación del suelo (FAO, 2016). A pesar de su relevancia estratégica de primer orden, el desarrollo de la RE está limitado principalmente por la complejidad que supone el planteamiento de soluciones integrales (incluyendo un doble enfoque técnico y socioeconómico) que garanticen su viabilidad a largo plazo. Esta complejidad se suma a menudo a un alto costo y, en casos extremos en los que se ha alcanzado un punto de no retorno en la degradación, a un planteamiento a muy largo plazo.

Por estos motivos, cualquier planificación de RE debe realizarse en base a: i) un diagnóstico de las causas de la degradación y de su severidad, para poder ii) definir y priorizar las medidas más viables en términos de costo-eficacia. El presente trabajo se centra en la primera de estas fases, aplicadas al contexto de Cataluña: se presenta la metodología y los resultados de un proceso de caracterización de suelos degradados sobre la base de diferentes indicadores y niveles de degradación



a escala regional. El Mapa de Suelos Vulnerables a la Degradación en Cataluña (DegSolCat) resultante servirá para definir un mapa de priorización de la restauración.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es describir la metodología y los resultados principales del Mapa de Suelos Vulnerables a la Degradación en Cataluña (DegSolCat). Para ello, se ha empleado cartografía temática, bibliografía científica, consulta a expertos y técnicas SIG. Este mapa servirá, en una segunda fase, para crear el Mapa de Prioridad de Restauración del Suelo en Cataluña (PriReSCat), una herramienta de apoyo a la planificación territorial en relación con la restauración de suelos.

## 3. Metodología

Para la creación del DegSolCat, se ha seguido el siguiente proceso:

En primer lugar, se ha definido el concepto de degradación del suelo en el contexto catalán (como se ha descrito en la Introducción), y se han identificado las fuentes de degradación del suelo (FD) más relevantes en el contexto catalán, agrupadas por tipo de uso del suelo.

Para cada una de estas FD se ha realizado una búsqueda y una evaluación (en términos de resolución, actualización y metodología) de la cartografía disponible o se ha planteado cómo generar una cartografía propia. Esta fase ha concluido con la selección definitiva de las FD, la generación de la cartografía propia cuando ha sido necesario, y con el establecimiento de los niveles de degradación para cada FD (Tabla 1). En cuanto a los niveles de degradación, algunos estaban definidos en la cartografía base, mientras que otros se han generado explícitamente para este trabajo (Tabla 1).

*Tabla 1. Fuentes de Degradación seleccionadas (FD), características de cada capa y niveles de degradación.*



FD	Fuente	Resolución	Año de la cartografía disponible	Niveles de degradación
Muy baja (0-2 t/ha/año); Baja (2-5 t/ha/año); Moderada (5-10 t/ha/año); Alta (10-20 t/ha/año); Severa (>20 t/ha/año).				
Nula; Muy baja; Baja; Moderada; Alta.				
Riesgo bajo (<25 mg/l); Riesgo intermedio (25-37,5 mg/l); Vulnerable, concentración alta (37,5-50 mg/l); Vulnerable, concentración muy alta (50-80 mg/l); Vulnerable, concentración extrema (>80 mg/l).				
10x10 m	+	Vectorial	Mayo y junio 2022, 2023, 2024	Cubierta vegetal defectiva: cuando el valor medio de NDVI de 3 imágenes de mayo y junio de 2022, 2023 y 2024 está por debajo de 0,4 (bosques a menos de 2.000 m de altitud) o 0,2 (formaciones de matorral a menos de 2.000 m de altitud) o en la categoría "Suelo con vegetación escasa o nula" en zonas no antropizadas de la capa MUCSC (DARPA, 2024a).
Actividades extractivas y vertederos	Polígonos del EXTCATA (DARPA, 2024b) que coinciden con la categoría "Suelo desnudo o con poca vegetación" (DARPA, 2024a) junto con la categoría "Minería extractiva y vertederos" del MCSC 2019-2022 (ICGC, 2022).			
Actividades extractiva	abandonadas	Vectorial	Degradación baja (índice de autorrecuperación 5-10); Moderada (3-5); Alta (2-3); Muy alta (1-2); Severa (0).	
Suelo sellado	Vectorial	Suelos artificiales, edificaciones e infraestructuras de transporte y equipamientos deportivos, zonas en transformación alrededor de zonas urbanas e infraestructuras (excepto zonas ajardinadas) y zonas en transformación a menos de 50 m de zonas urbanas.		
Vectorial	2019-2022	Suelo desnudo urbano.		
Vectorial	2019-2022	Buffer de 50 m alrededor de infraestructuras de transporte, con la categoría "Suelo desnudo urbano". El nivel de degradación depende de la pendiente: Degradación intermedia (pendiente <5°); Degradación alta (5-11°); Degradación muy alta (11-35°); Degradación severa (35-45°).		

\*Esta FD solo se considera en superficies agrarias: categorías del MUCSC 2022 (DARPA, 2024a): 11 - Praderas de tierra baja; 12 - Praderas de tierra media; 13 - Praderas supraforestales; 19 - Cultivos herbáceos de secano; 20 - Cultivos herbáceos de regadío; 21 - Arrozales; 22 - Viñas; 23 - Frutales de secano; 24 - Frutales de regadío; 25 - Cítricos.

\*\* Esta FD solo se considera en superficies forestales por debajo de los 2.000 m: categorías del MUCSC 2022 (DARPA, 2024a): 9 - Zonas con vegetación escasa o nula – excepto en entornos urbanos o antropizados; 14 - Matorrales; 15 - Bosques de coníferas; 16 - Bosques de esclerófilas; 17 - Bosques caducifolios.

Se descartaron de esta metodología diversas FD que, siendo relevantes, no cumplieran los criterios de disponibilidad, calidad, resolución espacial y temporal y cobertura territorial, como por ejemplo la superficie afectada por procesos de erosión concentrada, el riesgo de desertificación, la contaminación por metales pesados, el exceso de fósforo o el déficit de carbono edáfico.

En paralelo a la selección y definición de las FD, se ha establecido un sistema para combinar las diferentes FD en un único índice unificado de vulnerabilidad a la degradación del suelo (IUDS). Este índice toma como referencia la metodología usada por el Global Assessment of Soil Degradation (OLDEMAN et al., 1991; OLDEMAN & VAN LYNDEN, 1996), el cual define la degradación del suelo basándose en sus efectos sobre la funcionalidad, la productividad y el potencial de restauración y autorrecuperación de suelos, especialmente en ecosistemas agrícolas. No obstante, para el desarrollo del DegSolCat se han reformulado los niveles de degradación de forma genérica para todo tipo de ecosistemas. La Tabla 2 muestra las categorías IUDS y su definición.

*Tabla 2. Definición de cada categoría de IUDS.*

Índice Unificado de Degradación del Suelo (IUDS)	Definición
Poco relevante	Las funciones del suelo se mantienen mayormente intactas, y el suelo presenta una alta capacidad de autorrecuperación, por tanto, las funciones del suelo se pueden recuperar si la FD cesa. Es posible una restauración pasiva o se necesitan actuaciones de gestión mínimas.
Moderada	Las funciones del suelo están parcialmente afectadas. En este caso, son necesarias actuaciones para revertir la degradación a corto plazo, pero las funciones del suelo tienen un buen potencial de recuperación a medio plazo si la FD cesa.
Grave	Las funciones del suelo están muy dañadas y sólo son restaurables bajo actuaciones intensivas. Además, la productividad puede verse reducida.
Extrema	Destrucción total del suelo y sus funciones, causada por su decaído. En estos casos, la capacidad de autorrecuperación del suelo es nula o muy baja, y su restauración sólo sería posible mediante actuaciones muy intensivas, como la construcción de tecnosoles u otras técnicas para favorecer la creación del suelo. La productividad se ve severamente reducida y ya no es posible la explotación del suelo en términos productivos.

Teniendo en cuenta la definición de cada nivel del IUDS, se ha asignado un valor IUDS a cada categoría de degradación de cada FD, adaptado a cada uso del suelo (Tabla 3), de acuerdo con el Mapa de Usos y Coberturas del Suelo de Cataluña de 2022 (10 x 10 m) (DARPA, 2024a).

*Tabla 3. Fuentes de Degradación, niveles de degradación para cada fuente y categoría de vulnerabilidad a la degradación IUDS.*

Fuente de degradación	Categoría	Categorías IUDS
Erosión hídrica	Muy baja	Poco relevante
	Baja	
Moderada		Moderada
Alta	Grave (suelo agrario y zonas quemadas) / Moderada (resto de casos)	
Severa		Grave



Erosión eólica	Ninguna	Poco relevante
	Muy baja	
	Baja	
Moderada	Moderada (suelo agrario o zonas quemadas) / Poco relevante (resto de casos)	
Alta	Moderada	
Contaminación por nitratos agrarios	Riesgo bajo	Poco relevante
	Riesgo intermedio	
	Vulnerable, concentración alta	
Vulnerable, concentración muy alta	Moderada	
	Vulnerable, concentración extrema	
Cubierta vegetal defectiva	Cubierta vegetal defectiva	Moderada
Actividades extractivas y vertederos activos	Presente	Extrema
Sellado del suelo	Presente	Sellado del suelo
Decapado del suelo	Presente	Grave
Actividades extractivas Abandonadas	Moderada	Poco relevante
Alta	Moderada	
Muy alta	Grave	
Severa	Extrema	
Construcción de infraestructuras de transporte	Degradación intermedia (<5°)	Poco relevante
Alta (5-11°)	Moderada	
Muy alta (11-35°)	Grave	
	Severa (35-45°)	

Por último, se han añadido las capas de IUDS de cada FD. El procedimiento ha sido el siguiente:

i) Identificación de los polígonos del MUCSC, 2022 (DARPA, 2024a) correspondientes a usos del suelo excluidos de la metodología: 1 - Aguas marinas; 2 - Aguas continentales; 3 - Canchales; 8 - Arenales y playas; 10 - Vegetación de zonas húmedas. Estos polígonos no se evalúan en las fases siguientes.

ii) Identificación de los polígonos de suelo sellado (se consideran degradados pero no restaurables a corto plazo), por lo que se trata de una categoría específica que



no se evalúa en la fase siguiente. Estos polígonos corresponden principalmente con las categorías 4 - Infraestructuras viales; 5 - Urbanizaciones; 6 - Zonas urbanas; 7 - Zonas industriales y comerciales del MUCSC, 2022 (DARPA, 2024a).

iii) En la superficie restante se calcula la categoría IUDS de cada píxel, que es aquella que alcanza un valor de mayor degradación entre las FD que afectan ese píxel.

El mapa resultante de este proceso es el DegSolCat, generado en un doble formato: mapa global y mapa por uso principal del suelo (DegSolCat-Forestal; DegSolCat-Agrario; DegSolCat-Superficies antropizadas).

Todo este proceso ha sido definido en colaboración con un Comité Asesor multidisciplinario (composición mostrada en los Agradecimientos) que, a través de 4 reuniones y procesos de revisión, han ayudado a consolidar las diferentes fases de la metodología.

#### 4. Resultados

La metodología seguida ha permitido cuantificar la superficie de cada categoría IUDS para cada tipo principal de uso del suelo (forestal, agrario, antropizado), como se detalla a continuación.

#### Suelos vulnerables a la degradación en superficie forestal

Según se puede observar en la Tabla 4, la mayor parte de la superficie forestal presenta una vulnerabilidad a la degradación del suelo poco relevante debido a la erosión hídrica, y solo un 3% de los bosques presentan una vulnerabilidad grave debido a la erosión hídrica. En cuanto a la erosión eólica, también la mayor parte de la superficie se encuentra bajo la categoría de “poco relevante”, llegando a afectar solo la categoría moderada al 16% de los bosques.

En total, un 68% de la superficie forestal no presenta problemas de vulnerabilidad a la degradación del suelo, mientras que un 30% presenta un nivel de vulnerabilidad moderado. Solo el 3% (549 km<sup>2</sup>) presenta un nivel de vulnerabilidad grave. En total, la superficie forestal en Cataluña representa el 59% del territorio. La Figura 1 muestra la distribución de estas categorías de vulnerabilidad a la degradación en Cataluña.

*Tabla 4. Fuentes de vulnerabilidad a la degradación y categorías IUDS en suelos forestales.*

Fuente de degradación	Categorías IUDS	Superficie total (Km2)	% FD respecto la superficie forestal	% FD respecto al total de Cataluña
Erosión hídrica	Poco relevante	14.515	79	45
Moderada	3.282	18	10	

Grave	549	3	1,7
Erosión eólica	Poco relevante	15.709	84
Moderada	3.091	16	10
Cubierta vegetal defectiva y suelo desnudo	Moderada	393	-
			1,2
Categoría IUDS	Superficie total (Km2)	% IUDS respecto la superficie forestal	% IUDS respecto al total de Cataluña
TOTAL SUPERFICIE FORESTAL	Poco relevante	12.890	68
			40
Moderada	5.635	30	18
Grave	549	3	1,7

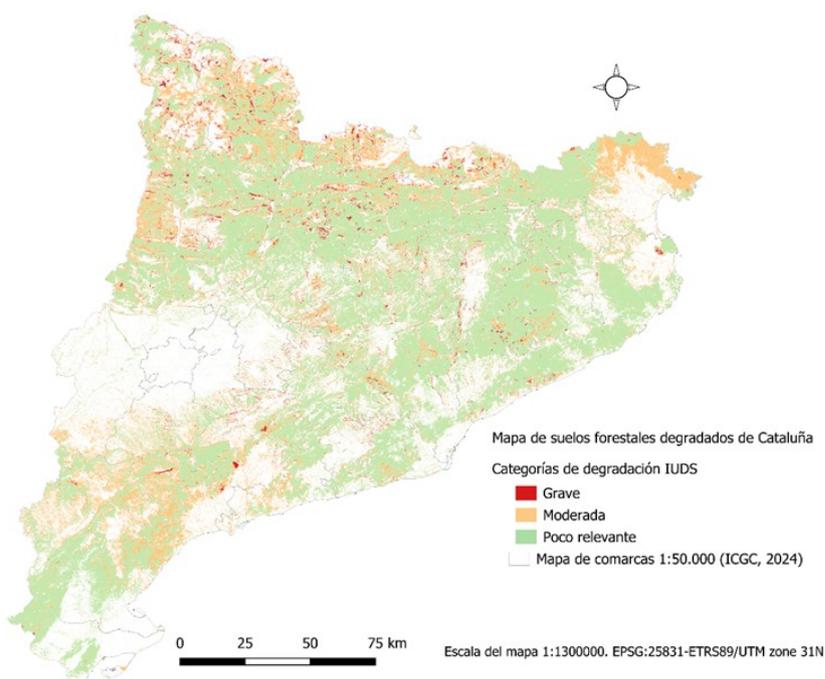


Figura 1. Mapa de vulnerabilidad a la degradación de suelos forestales en Cataluña (DegSolCat-Forestal).

Las zonas forestales más expuestas a la degradación del suelo son las situadas en áreas con mayor pendiente (zonas pirenaicas), sometidas a vientos más intensos (costa norte de Girona), así como algunas masas forestales de las zonas más secas (cuadrante central de Tarragona).

### Suelos vulnerables a la degradación en superficie agraria

La Tabla 5 muestra la superficie de suelo agrario vulnerable a la degradación según cada FD. Los vectores principales de vulnerabilidad a la degradación son la

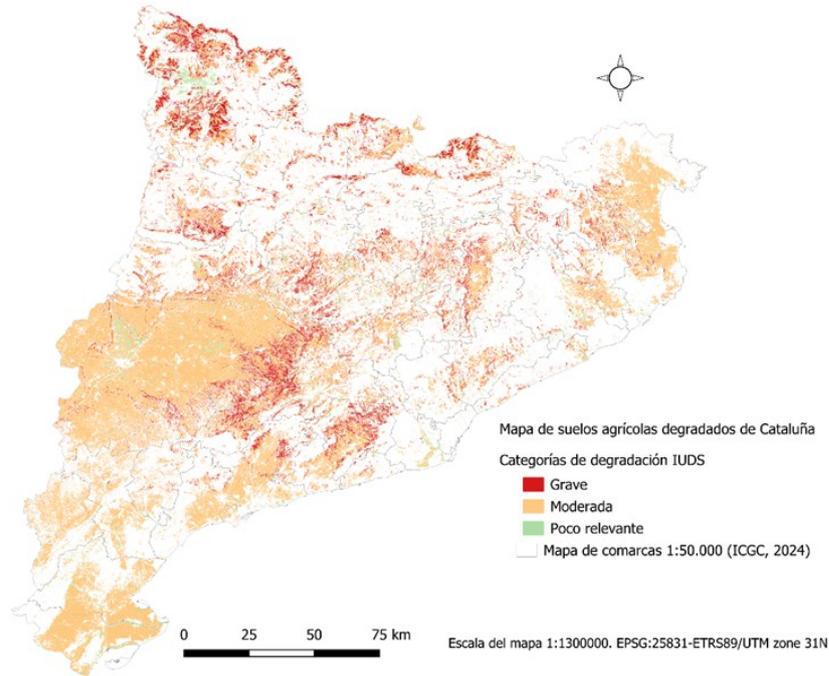


erosión hídrica y eólica, con un nivel de vulnerabilidad moderado alrededor del 50% y el 60% de la superficie, respectivamente, y un 17% de vulnerabilidad grave en el caso de la erosión hídrica. En cuanto a la contaminación por nitratos, casi el 40% de la superficie agraria presenta una vulnerabilidad moderada, es decir, con concentración de nitratos en agua superior a 50 mg/l.

En total, casi el 80% de los suelos agrarios de Cataluña están sujetos a un nivel de vulnerabilidad a la degradación moderado y el 5,6% alcanza un nivel grave. La superficie agraria en Cataluña representa el 34% del territorio. La Figura 2 muestra la distribución de estas categorías de vulnerabilidad a la degradación en Cataluña.

*Tabla 5. Fuentes de vulnerabilidad a la degradación y categorías IUDS en suelos agrarios.*

Fuente de degradación	Categorías IUDS	Superficie total (Km2)	% FD respeto la superficie agraria	% FD respeto al total de Cataluña
Erosión hídrica	Poco relevante	3.779	35	12
	Moderada	5.089	48	16
	Grave	1.783	17	5,6
Erosión eólica	Poco relevante	4.142	38	13
	Moderada	6.759	62	21
Contaminación por nitratos	Poco relevante	6.892	63	21
	Moderada	3.971	37	12
Categoría IUDS	Superficie total (Km2)	% IUDS respeto la superficie agraria	% IUDS respeto al total de Cataluña	
TOTAL SUPERFICIE AGRARIA	Poco relevante	764	7	2,4
	Moderada	8.383	77	26
	Grave	1.783	16	5,6



*Figura 2. Mapa de vulnerabilidad a la degradación de suelos agrarios en Cataluña (DegSolCat-Agrario).*

Las pocas zonas agrarias que muestran un proceso de vulnerabilidad a la degradación del suelo con un riesgo grave son principalmente las áreas pirenaicas y el cuadrante sudoriental de Lleida.

### Suelos vulnerables a la degradación en superficie altamente antropizada

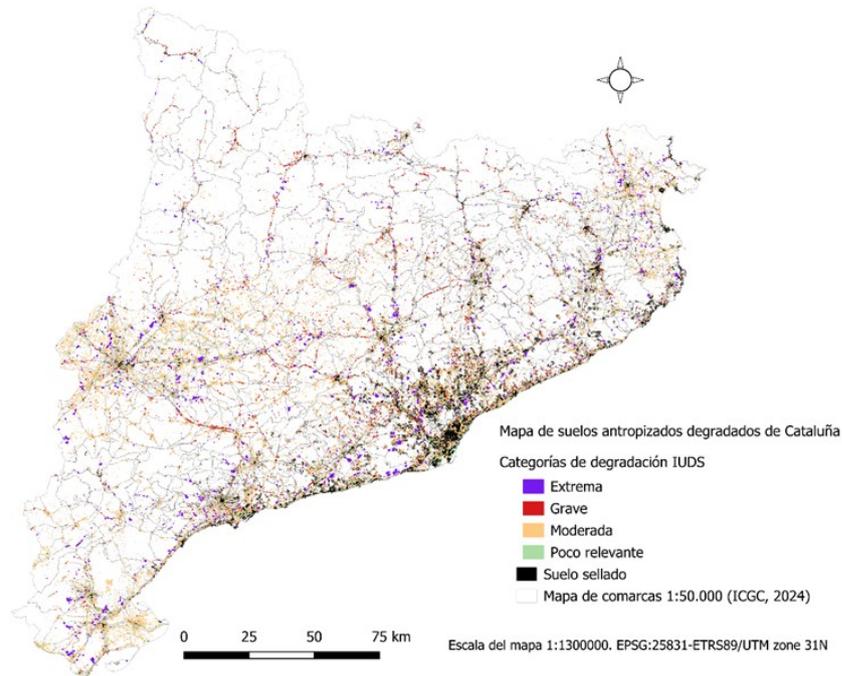
El mayor impacto sobre el suelo, y el más extendido en las superficies altamente antropizadas, es el sellado, que afecta a una superficie de casi 1.500 km<sup>2</sup> (Tabla 6). En cuanto a las FD clasificadas por IUDS, las actividades extractivas dan lugar a niveles de degradación extrema en un total de 65 km<sup>2</sup>, especialmente en forma de explotaciones activas. En este tipo de suelos, la erosión hídrica o eólica no suponen un riesgo de vulnerabilidad a la degradación del suelo en la mayor parte de la superficie, y solo un 3% está expuesta a una vulnerabilidad grave.

En total, la mitad de esta superficie presenta un valor de vulnerabilidad a la degradación moderado, mientras que un tercio alcanza un valor extremo. Solo el 12% de esta superficie presenta un estado de vulnerabilidad poco relevante. La superficie altamente antropizada y los suelos sellados representan un 5% del territorio catalán. La Figura 3 muestra la distribución de estas categorías de vulnerabilidad a la degradación en Cataluña.

*Tabla 6. Fuentes de vulnerabilidad a la degradación y categorías IUDS en suelos altamente antropizados.*

Fuente de degradación	Categorías IUDS	Superficie total (Km2)	% FD respecto la superficie antropizada	% FD respecto al total de Cataluña
-----------------------	-----------------	------------------------	---	------------------------------------

Erosión hídrica	Poco relevante	90	70	0,3
Moderada	35	27	0,1	
Grave	4	3	0,01	
Erosión eólica	Poco relevante	149	80	0,5
Moderada	37	20	0,1	
Actividades extractivas y vertederos activos	Extrema	61	100	0,2
Decapado del suelo	Grave	70	100	0,2
Actividades extractivas abandonadas	Poco relevante	2	14	0,01
Moderada	4	23	0,01	
Grave	6	36	0,02	
Extrema	4	27	0,01	
Construcción de infraestructuras de transporte	Poco relevante	32	75	0,1
Moderada	6	14	0,02	
Grave	5	11	0,01	
<b>Categorías IUDS</b>	<b>Superficie total (Km2)</b>	<b>% IUDS respeto la superficie antropizada</b>	<b>% IUDS respeto al total de Cataluña</b>	
TOTAL SUPERFICIE ALTAMENTE ANTROPIZADA	Poco relevante	23	12	0,1
Moderada	88	47	0,3	
Grave	12	7	0,04	
Extrema	64	34	0,2	
Sellado del suelo	1.445	-	4,5	



*Figura 3. Mapa de vulnerabilidad a la degradación de suelos altamente antropizados en Cataluña (DegSolCat-Superficies antropizadas).*

Las zonas más antropizadas de Cataluña se encuentran principalmente en el entorno metropolitano, el ámbito litoral y a lo largo de las principales infraestructuras interiores, así como algunas de las valles y ríos. La distribución de los diversos niveles de vulnerabilidad a la degradación no sigue un patrón fijo y se encuentran distribuidos por todo el territorio. Las actividades extractivas y los vertederos son la fuente de degradación más severa en este tipo de suelos, aunque se trata de actividades reguladas con sus planes de restauración asociados.

### **Superficie total de suelos vulnerables a la degradación de Cataluña**

La Tabla 7 muestra la agregación de las categorías de degradación a nivel de Cataluña. A nivel de superficie, el estado de vulnerabilidad a la degradación "Poco relevante" y "Moderada" ocupan más del 40% de la superficie cada uno. Las superficies en un estado de vulnerabilidad grave (7,3% de Cataluña) y extrema (0,2%), que son donde se debe centrar la restauración en el futuro, suponen cerca de 2.409 km<sup>2</sup> en total. También se debe destacar la superficie de suelo sellado, que representa un 4,5% de la superficie.

*Tabla 7. Superficies totales de cada FD y categoría de vulnerabilidad a la degradación en Cataluña. La superficie total varía ligeramente respecto al total regional (32.114 km<sup>2</sup>), ya que no se han tenido en cuenta algunos usos del suelo minoritarios, como se menciona en la metodología.*

Categoría IUDS	Superficie que ocupa (km2)	% respecto al total de Cataluña
Poco relevante	13.677	42,6
Moderada	14.107	43,9
Grave	2.345	7,3
Extrema	64	0,2
Sellado del suelo	1.445	4,5
<b>TOTAL SUPERFICIE EVALUADA</b>	<b>31.637</b>	<b>98,5</b>

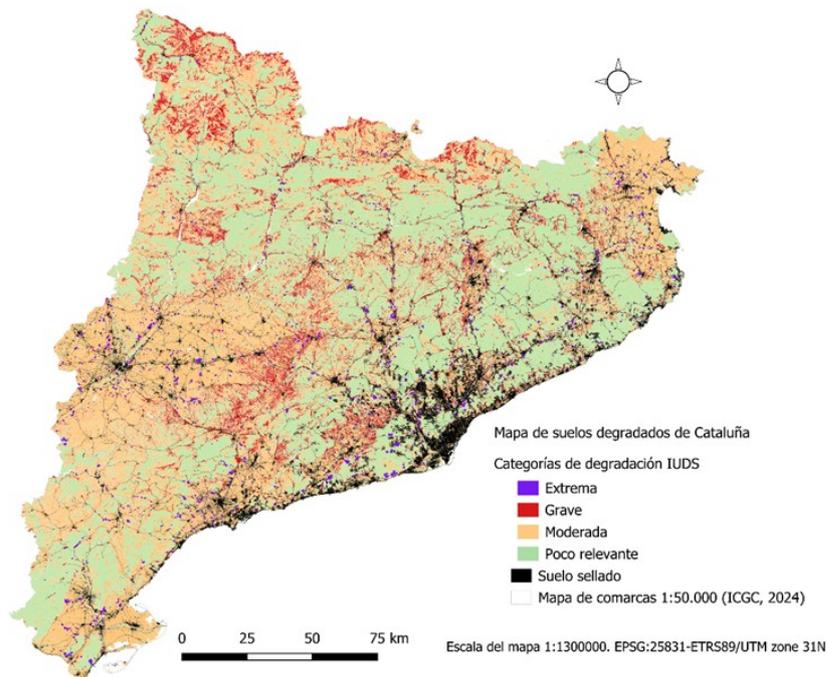


Figura 4. Mapa de vulnerabilidad a la degradación de suelos de Cataluña (DegSolCat).

En la zona litoral, especialmente en las comarcas del Barcelonés y el Vallès, hay una mayor degradación por suelos sellados, mientras que en zonas del Pirineo afectadas por fuertes pendientes, zonas sometidas a vientos más intensos (costa norte de Girona), así como masas de las zonas más secas (zona limítrofe sur de la meseta central, entre Lleida, Tarragona y Barcelona), encontramos una mayor vulnerabilidad a la erosión.

Por otro lado, debido a la gran superficie de terreno agrario y la fuerte incidencia de los nitratos en el medio, las Planas de Lleida, Manresa y Vic se encuentran principalmente con una vulnerabilidad a la degradación moderada.

Las actividades extractivas están repartidas principalmente a lo largo de las vías de comunicación, con una afectación menor en los Pirineos, y una mayor



concentración alrededor del área metropolitana de Barcelona, Lleida y Tarragona.

## 5. Discusión

El mapa de suelos vulnerables a la degradación en Cataluña ofrece una visión integral y detallada de la magnitud y la distribución de este problema. La metodología empleada, combinando datos de teledetección, fotointerpretación, análisis espacial, bibliografía temática y consulta a expertos, ha demostrado ser eficaz para detectar los patrones de degradación y caracterizar su intensidad para las tipologías analizadas en este estudio.

Cabe destacar el reto que supone integrar diferentes fuentes de degradación, fruto de diversos procesos, en un único índice de vulnerabilidad a la degradación del suelo. A este efecto, el criterio experto ha sido fundamental para convertir las categorías de cada fuente de degradación (FD) en un índice unificado (IUDS), teniendo en cuenta las implicaciones de cada FD en la funcionalidad del suelo y su potencial de autorrecuperación. Este IUDS ha demostrado ser eficiente para sintetizar la información de naturaleza diferente en una única variable y tener una visión global del riesgo de degradación de los suelos en Cataluña y, de manera particular, sobre sus ecosistemas (agrario, forestal y sistemas altamente antropizados).

No obstante, no se deben perder de vista las diferentes FD que alimentan el IUDS, tanto para hacer una interpretación correcta de los procesos y amenazas que padece el suelo, como para poder formular estrategias de restauración del suelo adaptadas a cada amenaza. En este sentido, a pesar de la precisión y el amplio potencial del mapa, existen algunas consideraciones metodológicas a tener en cuenta.

Por un lado, la resolución espacial de las diferentes variables difiere entre las distintas capas utilizadas, siendo las cartografías de suelos altamente antropizados las que cuentan con una resolución más alta (10 m/px), y la erosión eólica la que tiene menor detalle (500 m/px). Esto supone una pérdida de información de los detalles que implica una menor precisión. Por otro lado, la distinta naturaleza de la cartografía de cada una de las FD implica combinar variables que estiman el potencial de degradación obtenido a partir de estimaciones indirectas (ej: riesgo de erosión hídrica y eólica) con otras que representan una degradación de facto del suelo (ej: actividades extractivas). Por este motivo, el nivel de degradación extremo ha sido reservado para actividades extractivas, donde se produce un decapado del suelo previamente al inicio de la extracción (ALCAÑIZ et al., 2009; CARABASSA et al., 2015). Cabe mencionar que esto no resta relevancia a los niveles grave o moderado del IUDS, ya que bajo estas condiciones el suelo es altamente vulnerable a degradarse, si es que no está ya degradado.

Finalmente, es importante tener en cuenta que algunas FD están planteadas como aproximaciones indirectas, como es el caso de la vulnerabilidad a la erosión eólica o la contaminación por nitratos. Esta segunda FD se ha incorporado por diversos motivos: i) aunque afecta a los cursos de agua, esta FD está considerada en la



cartografía europea de suelos degradados (GRIZZETTI et al., 2023; EUSO, 2025), con resultados concordantes con los encontrados en este trabajo; ii) se trata de un problema ambiental de primer orden en Cataluña, que afecta a casi la mitad de los municipios; iii) la superficie decretada como "Vulnerable a nitratos" no ha dejado de crecer en Cataluña desde el primer decreto de 1998, por lo que las medidas de mitigación aplicadas hasta el momento no están siendo suficientemente eficaces; iv) en este sentido, hay enfoques de restauración agroforestal (ej: restauración de márgenes leñosos en el perímetro inferior de los terrenos agrarios (MONTGOMERY et al., 2020), como hileras intercaladas (MORENO et al., 2007) o la restauración de la vegetación de ribera (SHTULL-TRAURING et al., 2025) que han demostrado su interés para mitigar este problema, además de generar co-beneficios sobre la productividad, la protección del suelo y la biodiversidad, por lo que esta información puede ser útil para la elaboración del Mapa de Prioridades de Restauración; v) la superficie decretada oficialmente como "Vulnerable a Nitratos" se plasma en una cartografía a escala de término municipal y con un umbral de 37,5 mg/l, por lo que se ha aprovechado para generar una cartografía con una resolución mucho más detallada y con categorías que llegan hasta valores superiores a 80 mg/l, para resaltar las áreas más intensamente afectadas por este problema.

Para evitar que esta capa tenga un peso excesivo sobre la identificación de suelos degradados, se ha considerado que la máxima categoría de degradación que puede generar es "Moderada", y esta situación se da por encima de 50 mg/l, es decir, un valor un 33% más alto que el utilizado en la normativa actual de la ACA (37,5 mg/l).

Además, aunque se ha logrado identificar y plasmar en el mapa las principales fuentes de degradación, el mapeo no ha abordado algunos posibles procesos de deterioro. Por ejemplo, no ha sido posible la incorporación de cartografía de cárcavas, al no disponerse de una capa actualizada. El contenido relativo de carbono en el suelo es otro aspecto clave en la identificación de suelos pobres y degradados (CARABASSA et al., 2015), que por lo tanto puedan requerir actuaciones de restauración. No obstante, no se ha considerado adecuado tomar como referencia el mapa de stocks de carbono en suelos agrícolas (IRTA et al., 2018), al no considerarse un indicador fiable de degradación del suelo.

A pesar de tener en cuenta estas consideraciones, el mapa nos revela información de gran valor sobre la vulnerabilidad a la degradación de los suelos. El análisis ha revelado la heterogeneidad de los procesos de degradación según los diferentes factores ambientales, socioeconómicos y geográficos. Mientras que las áreas altamente antropizadas, urbanas y periurbanas pueden presentar pérdida total del suelo, degradación por sellado del suelo y un alto riesgo de transformación, las áreas más rurales pueden presentar riesgo debido al uso excesivo de fertilizantes, deyecciones ganaderas y malas prácticas agrarias que contaminan las aguas subterráneas (BLANC et al., 2019).

Los datos nos muestran cómo un 0,2% de Cataluña está afectado por el nivel de degradación extremo, el cual está dado por la presencia de actividades extractivas. Aunque este porcentaje pueda parecer bajo a nivel de Cataluña, el nivel de degradación es tan profundo que requiere actuaciones intensivas para restaurar el



suelo. La legislación autonómica vigente (Decreto 343/1983, de 15 de julio, sobre las normas de protección del medio ambiente aplicables a las actividades extractivas) establece la obligatoriedad de restauración. A pesar de esto, algunas restauraciones son deficientes y también hay casos de actividades extractivas que han sido abandonadas sin haberse restaurado, y con un grado de autorrecuperación muy bajo.

Por otro lado, un 77% de los ecosistemas agrarios presentan un nivel moderado de vulnerabilidad a la degradación y un 16% un nivel grave. Esto es especialmente preocupante en el contexto actual y debe ser tratado con especial atención para definir estrategias de restauración que permitan mantener la viabilidad técnica y económica de la agricultura, reduciendo su impacto en el medio ambiente. Finalmente, aunque los suelos de ecosistemas forestales son los que presentan menor grado de vulnerabilidad a la degradación (con un nivel grave en el 3% de la superficie forestal), no es desdeñable la superficie ocupada por esta categoría (549 km<sup>2</sup>).

Teniendo en cuenta toda la información referente a la degradación de suelos que proporciona DegSolCat y las particularidades de cada ecosistema (sistemas altamente antropizados, forestales y agrarios), se procederá en una fase siguiente a la identificación de áreas prioritarias de intervención e implementación de políticas de restauración, teniendo en cuenta el nivel de degradación y también aspectos ecológicos y socioeconómicos. Estas directrices de restauración aún están en curso, al igual que DegSolCat debe considerarse como una herramienta dinámica, sujeta a actualizaciones que incorporen nuevos datos del territorio para mejorar su precisión y capacidad explicativa. Tanto los objetivos que plantea DegSolCat como su metodología pretenden servir de referencia para desarrollar herramientas similares en otros contextos geográficos.

## 6. Conclusiones

La metodología empleada ha permitido generar un mapa de suelos vulnerables a la degradación (DegSolCat) a escala de Cataluña. Este mapa se organiza en cuatro módulos: uno general a nivel autonómico y tres módulos en función de los principales usos del suelo: agrario, forestal y zonas altamente antropizadas. Esta estructura facilitará, en una próxima fase, la priorización de zonas a restaurar y los criterios técnicos para guiar la restauración.

Según DegSolCat, el 0,2% del suelo en Cataluña presenta un nivel de vulnerabilidad a la degradación extremo debido a la afectación por actividades extractivas en activo o que aún no han sido rehabilitadas. El 7,3% de la superficie presenta un nivel grave, y se sitúa principalmente en el Pirineo de Lleida y en las zonas más secas del norte de Tarragona. Los suelos sometidos a una vulnerabilidad moderada a la degradación representan el 43,9% y se encuentran sobre todo en zonas de fuerte pendiente del Pirineo, planicies del norte de Girona y zonas agrarias de la llanura de Lleida y del Delta del Ebro. El 42,6% de la región presenta una vulnerabilidad a la degradación poco relevante. Por otro lado, el sellado del suelo es uno de los procesos de degradación de gran intensidad que afecta al 4,5% de todo el territorio.



La metodología empleada se basa principalmente en bases cartográficas disponibles públicamente, lo que puede facilitar su replicación o adaptación en otras áreas y contextos geográficos.

## 7. Agradecimientos

Proyecto “Carboni al sòl. Millora de la qualitat dels sòls i de la seva capacitat d’embornal”, financiado por el Fons Climàtic de la Generalitat de Catalunya.

El comité asesor está formado por las siguientes personas (en orden alfabético de apellido): Salvador Blanch (DARPA), Giada Centenaro (UdL), Xavier Clopés (DARPA), Teresa Cervera (CPF), Jordi Cortina-Segarra (Universitat d’Alacant), Francesc Domingo (IRTA), Immaculada Funes (IRTA), Josu G. Alday (UdL), Robert González (ARC), Maite Martínez (IRTA), Eduard Piera (FC), Irene Raya (CREAF), Pere Rovira, Miquel Segarra (FC), Marc Vicens (ICGC).

## 8. Bibliografía

ALCAÑIZ, J.M.; ORTIZ, O.; CARABASSA, V.; 2009. Utilización de lodos de depuradora en restauración. Manual de aplicación en actividades extractivas y terrenos marginales. Generalitat de Catalunya.Barcelona.

ALEXANDER, S.; ARONSON, J.; WHALEY, O.; LAMB, D.; 2016. The relationship between ecological restoration and the ecosystem services concept.*Ecology and Society*,21(1). <https://doi.org/10.5751/ES-08288-210134>

ARIAS-NAVARRO, C.; BARITZ, R.; JONES, A.; 2024. The state of soils in Europe: Fully evidenced, spatially organised assessment of the pressures driving soil degradation. <https://doi.org/10.2760/7007291>

BLANC, S.; GASOL, C. M.; MARTÍNEZ-BLANCO, J.; MUÑOZ, P.; COELLO, J.; CASALS, P.; MOSSO, A.; BRUN, F.; 2019. Economic profitability of agroforestry in nitrate vulnerable zones in Catalonia (NE Spain).*Spanish Journal of Agricultural Research*,17(1), e0101. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-12118>

BORRELLI, P.; PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; LUGATO, E.; WEYNANTS, M.; MONTANARELLA, L.; 2016.Towards a Pan-European Assessment of Land Susceptibility to Wind Erosion.*Land Degradation and Development*,27(4), 1093–1105. <https://doi.org/10.1002/ldr.2318>

CARABASSA, V.; ORTIZ, O.; ALCAÑIZ, JM.; 2015.Evaluación y seguimiento de la restauración de zonas afectadas por minería. CREAM y Departamento de Territorio y Sostenibilidad, Generalitat de Catalunya, Barcelona.

DEPARTAMENT D’AGRICULTURA, RAMADERIA, P. i A.; 2024a. Bases cartogràfiques d’usos i cobertes del sòl. In*Generalitat de Catalunya*. <https://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/cartografia-sig/bases-cartogràfiques/usos-sol-subsol/usos-sol/index.html>

DEPARTAMENT D’AGRICULTURA, RAMADERIA, P. i A.; 2024b. Bases cartogràfiques de focus emissors. <https://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/cartografia-sig/bases-cartogràfiques/focus-emissors/index.html#activitats-extractives>

EEA.; 2021. High Resolution Vegetation Phenology and Productivity: Vegetation



Indices Quality Flag (raster 10m) - version 1 revision 1. In *EEA geospatial data catalogue*. <https://land.copernicus.eu/en/products/vegetation/high-resolution-vegetation-indices-quality-flag>

EUSO; 2025. EUSO Soil Degradation Dashboard. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard/>

FAO.; 2016. Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*, 1–95. <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>

FERREIRA, C. S. S.; SEIFOLLAHI-AGHMIUNI, S.; DESTOUNI, G.; GHAJARNIA, N.; KALANTARI, Z.; 2022. Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of the Total Environment*, 805, 150106. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>

GENERALITAT DE CATALUNYA.; n.d. Consulta de dades de control de la qualitat i la quantitat de l'aigua al medi. Agència Catalana de l'Aigua. Retrieved August 8, 2024, from <https://aplicacions.aca.gencat.cat/sdim21/>

GRIZZETTI, B.; VIGIAK, O.; AGUILERA, E.; ALOE, A.; BIGANZOLI, F.; BILLEN, G.;

CALDEIRA, C.; DE MEIJ, A.; EGGLE, L.; EINARSSON, R.; GARNIER, J.; GINGRICH, S.; HRISTOV, J.; HUYGENS, D.; KOEBLE, R.; LASSALETTA, L.; LE NOË, J.; LIAKOS, L.; LUGATO, E.; PANAGOS, P.; PISONI, E.; PISTOCCHI, A.; SANZ COBEÑA, A.; UDIAS, A.; WEISS, F.; WILSON, J.; ZANNI, M.; 2023. Knowledge for Integrated Nutrient Management Action Plan (INMAP). *Publications Office of the European Union, Luxembourg*, ISBN 978-92-68-02654-0, doi:10.2760/692320, JRC129059.

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA.; 2013. Model d'Elevacions del Terreny (BT-5M v2.0). <https://www.icgc.cat/es/Datos-y-productos/Bessons-digitals-Elevacions/Modelo-de-elevaciones-del-terreno-de-15x15-m>

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA.; 2022. Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya v1.0 - 2019-2022. <https://www.icgc.cat/ca/Territori-sostenible/Cobertes-del-sol>

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA.; 2024. Servei de Mapa Base. Divisions administratives, Comarques 1:50.000. <https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Servei-de-Mapa-Base>

IRTA; CREAM; CTFC; DARP; ICGC.; 2018. Mapa de l'estoc de carboni orgànic en sòls agrícoles. <https://www.icgc.cat/ca/Ambits-tematics/Territori-sostenible/Sols/Cartografia-digital-de-sols>

JONES, R. J. A.; HIEDERER, R.; RUSCO, E.; LOVELAND, P.J.; MONTANARELLA, L.; 2004. The map of organic carbon in topsoils in Europe. In *The Journal of Applied Corporate Finance* Vol. 15. (Vol. 72, Issue 1). [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/eusoils\\_docs/other/OCTopMapBkLet76.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/OCTopMapBkLet76.pdf)

MONTGOMERY, I.; CARUSO, T.; REID, N.; 2020. Hedgerows as ecosystems: service delivery, management, and restoration. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 51(1), 81-102.

MORENO, G.; LÓPEZ, L.; OLIVEIRA, F.; CHUNA, M.; 2007. Eficacia de los sistemas agroforestales en el control de la lixiviación de nitrato. *Cuadernos de la sociedad española de ciencias forestales*, (22), 113-118.

NELSON, C. R.; HALLETT, J. G.; ROMERO MONTOYA, A. E.; ANDRADE, A.; BESACIER,



C.; BOERGER, V.; BOUAZZA, K.; CHAZDON, R.; COHEN-SHACHAM, E.; DANANO, D.; 2024. Standards of practice to guide ecosystem restoration: A contribution to the United Nations Decade on Ecosystem Restoration 2021–2030 (FAO; SER; IUCN (ed.)). Food & Agriculture Org.

OLDEMAN, L. R.; HAKKELING, R. T. A.; SOMBROEK, W. G.; BATJES, N.; 1991. Global assessment of human-induced soil degradation (GLASOD). World map of the status of human-induced soil degradation. *Wageningen, Netherlands: Winand Staring Centre–ISSSFAO–ITC*.

OLDEMAN, L. R.; VAN LYNDEN, G. W. J.; 1996. Revisiting the Glasod Methodology. <https://doi.org/10.1201/9781003068716-22>

PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; POESEN, J.; LUGATO, E.; SCARPA, S.; MONTANARELLA, L.; BORRELLI, P.; 2020. A soil erosion indicator for supporting agricultural, environmental and climate policies in the European union. *Remote Sensing*, 12(9), 1365. <https://doi.org/10.3390/RS12091365>

PRĂVĂLIE, R.; BORRELLI, P.; PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; LUGATO, E.; CHAPPELL, A.; MIGUEZ-MACHO, G.; MAGGI, F.; PENG, J.; NICULIȚĂ, M.; ROȘCA, B.; PATRICHE, C.; DUMITRAȘCU, M.; BANDOC, G.; NITA, I. A.; BIRSAN, M. V.; 2024. A unifying modelling of multiple land degradation pathways in Europe. *Nature Communications*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48252-x>

RAMOLA, G. C.; SAHU, L.; RATHOD, D.; KUKRETI, A.; 2023. Soil degradation and deterioration: causes, effects and case studies. In *Soil restoration: assessment and reclamation*.

SANJUÁN, M. E.; del BARRIO, G.; RUIZ MORENO, A.; ROJO, L.; PUIGDEFÁBREGAS, J.; MARTÍNEZ, A.; 2014. Evaluación y seguimiento de la desertificación en España: Mapa de la Condición de la Tierra 2000-2010.

SHTULL-TRAURING, E.; EGOZI, R.; BEN-YONA, M.; BERNSTEIN, N.; 2025. Insights From Intensive Stream Monitoring in an Eastern Mediterranean Agricultural Catchment Illuminate Anthropogenic Impact on Water Quality. *River Research and Applications*, 41(1), 138-151.

SOLLEN-NORRLIN, M.; GHALEY, B. B.; RINTOUL, N. L. J.; 2020. Agroforestry benefits and challenges for adoption in Europe and beyond. *Sustainability (Switzerland)*, 12(17), 7001. <https://doi.org/10.3390/su12177001>