



**2025** | **16-20**  
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

**9CFE-1693**

---

Organiza





## Suelos como proveedores de servicios ecosistémicos en pastizales, matorrales y bosques. Un estudio en la Montaña Palentina

MORENO-PÉREZ, D. (1), ORTIZ SANZ, M. (1), PÉREZ MARTÍN, E. (1), SISAY, G. (1,3), MARTÍNEZ MORENO, J. (2), PANDO CANO, S. (2), SANTAMARÍA, O. (2), LAFUENTE ÁLVAREZ, F. (1), TURRIÓN, M.B. (1), y HERRERO DE AZA, C. (1)

1. Área de Edafología y Química Agrícola. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias (ETSIIAA). Universidad de Valladolid, Avda. Madrid, 57. 34004. Palencia, ESPAÑA.
2. Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias (ETSIIAA), Universidad de Valladolid, Avda. Madrid, 57. 34004. Palencia, ESPAÑA.
3. Department of Geography and environmental studies, University of Gondar, P. O. Box 196, Gondar, Ethiopia

### Resumen

El presente estudio se centra en la caracterización y comparación de las propiedades edáficas asociadas a tres tipos de uso del suelo: pastizal, matorral y forestal, en el municipio de Brañosera (Palencia). El objetivo es las características físico-químicas de estos suelos mediante la determinación de propiedades clave que actúan como indicadoras de la potencialidad para proporcionar servicios ecosistémicos. Para ello, se analizaron propiedades físicas (textura, densidad aparente, porosidad) y químicas (contenido en materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico) en los distintos horizontes de las tres calicatas en cada uso del suelo muestreadas para tal fin. Los resultados revelan que las propiedades químicas y físicas del suelo varían según el uso del suelo. Los suelos de pastizal presentan una mayor densidad aparente y un pH más cercano a la neutralidad en comparación con los suelos forestales, que se caracterizan por un pH más ácido y una menor densidad aparente. Por su parte, los suelos de la zona de matorral presentan valores intermedios, lo que refleja diferencias atribuibles al manejo del suelo y la cobertura vegetal. Estos resultados contribuirán a generar una línea de referencia para evaluar los efectos de intervenciones futuras en la salud del suelo, permitiendo conocer su estado inicial y su capacidad para sustentar servicios ecosistémicos clave.

### Palabras clave

Suelos forestales, stock de C, capacidad de retención hídrica, indicadores edafológicos, capacidad de intercambio catiónico.

#### 1. Introducción

Los suelos desempeñan un rol importante en el soporte de los ecosistemas, regulando procesos clave como la dinámica del carbono y el ciclo de nutrientes, esenciales para la mitigación del cambio climático y la resiliencia del ecosistema (JOHNSON et al., 2022). Por ello, la calidad del suelo es fundamental en el mantenimiento de la salud y la funcionalidad de los ecosistemas terrestres, actuando como proveedor de múltiples servicios ecosistémicos esenciales, como la producción de biomasa, la filtración y purificación del agua y la conservación de la biodiversidad (BRUSSARD, 2012).



Las intervenciones sobre el ecosistema, ya sea en el estrato herbáceo, arbustivo o arbolado, podrían alterar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que podría comprometer su capacidad para sostener servicios ecosistémicos clave. Así, intervenciones o labores que llevan asociada la ruptura de agregados pueden dar lugar a la liberación de carbono previamente acumulado (SIX et al., 2002). Por otra parte, la degradación del suelo derivada de cambios en el uso de la tierra, especialmente en ecosistemas forestales, afecta severamente la capacidad del suelo para acumular carbono, lo que implica una disminución en su papel como sumidero y un incremento potencial en las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (AWOONOR et al., 2024). Los cambios en el uso del suelo y las prácticas de gestión tienen un impacto profundo en la dinámica del carbono orgánico del suelo, alterando su calidad, agregación del suelo y las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que subraya la necesidad de implementar estrategias específicas para aumentar la captura de carbono en el suelo y mitigar el calentamiento global (RAMESH et al., 2019). La reducción en los niveles de carbono y nitrógeno en el suelo debido a los cambios de uso no solo afecta la capacidad del suelo para almacenar nutrientes, sino que también compromete su estabilidad estructural, lo que puede resultar en mayor vulnerabilidad a procesos de degradación, como la erosión y la pérdida de materia orgánica (CANTÚ SILVA & YÁÑEZ DÍAZ, 2018). Por otro lado, intervenciones donde se modifique el equilibrio dinámico entre los aportes de carbono (hojarasca y actividad radicular) y las pérdidas debidas a la descomposición y la respiración, deben ser evaluadas para no afectar al ciclo del carbono y el ciclo de nutrientes, esenciales para la resiliencia del ecosistema (JOHNSON et al., 2022).

Debido a su naturaleza finita y al hecho de que su regeneración se produce en grandes escalas geológicas, la evaluación de las propiedades edáficas es crucial para garantizar la sostenibilidad y la salud de los ecosistemas. En este sentido, la identificación de indicadores y la selección de un conjunto de propiedades del suelo que indiquen su capacidad funcional y sirvan como marcadores de su calidad (BÜNEMANN et al., 2018) permite utilizarlos para evaluar su estado actual y tener datos objetivos que faciliten la toma de decisiones para el diseño de medidas de gestión (BÜNEMANN et al., 2018; WANG et al., 2023). La propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la Ley de vigilancia del suelo ha considerado la elección de indicadores como el pH, la materia orgánica, la densidad aparente, la capacidad de retención de agua y la biodiversidad edáfica, esenciales para evaluar la salud del suelo y garantizar su sostenibilidad.

El suelo, como recurso esencial, está sometido a diversas amenazas, entre las que se destacan la erosión, la pérdida de fertilidad y la degradación de sus funciones biológicas y químicas (BÜNEMANN et al., 2018). Adicionalmente, el contexto actual de cambio climático ha incrementado la frecuencia de fenómenos como la sequía, alterando la disponibilidad hídrica y afectando la dinámica de los ecosistemas (BELMONTE et al., 2022). Conocer el estado actual de los suelos en profundidad es el primer paso para evaluar su calidad inicial y para evaluar los efectos de intervenciones que pueden existir en un futuro, pudiendo determinar las tendencias de mejora o deterioro de la calidad del suelo en distintos usos del suelo.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es caracterizar el estado inicial de tres suelos bajo tres usos diferentes en términos de fertilidad física y química y su potencial de captura de carbono. Los resultados de este estudio proporcionarán una base científica para la implementación de estrategias de manejo que optimicen los beneficios

ecosistémicos y reduzcan los impactos negativos sobre las propiedades del suelo en el área de estudio.

### 3. Metodología Zona de estudio

La zona de estudio está localizada en el término municipal de Brañosera, al Noreste de la provincia de Palencia, al Norte de España .

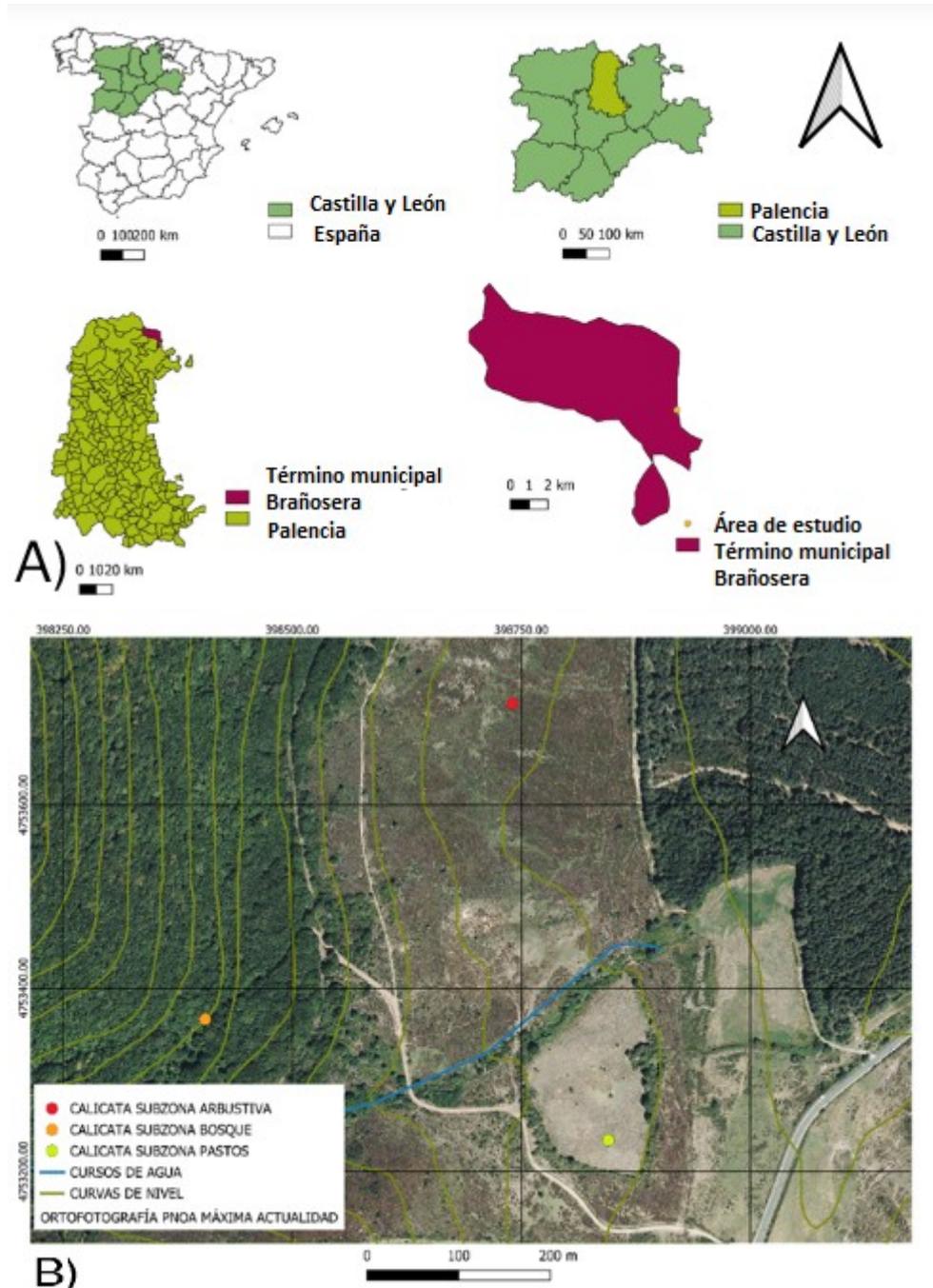


Figura 1. Localización (A) y situación (B) de la zona de estudio.

El municipio de Brañosera se encuentra en una zona montañosa caracterizada por un clima atlántico de montaña, con inviernos fríos y veranos suaves, lo que condiciona en gran medida las características del suelo y la vegetación (MITECO, 2023). La altitud del área de estudio oscila entre los 1.070 y los 1.200 msnm (metros sobre el nivel del mar), lo que propicia la existencia de suelos con una variedad de



texturas y niveles de materia orgánica en función de la topografía y el uso del suelo (MITECO, 2023). La vegetación predominante en la zona incluye bosques mixtos de rebollo (*Quercus pyrenaica*) y pino albar (*Pinus sylvestris*) aunque este último en menor medida, así como pastizales en las zonas más bajas con presencia de especies pratenses de climas de montaña y zona arbustiva con presencia mayoritaria de especies rastreras del género Ericaceae. En la Tabla 1 se muestran algunas características de las tres subzonas estudiadas y en la Tabla 2 el detalle de las principales variables dendro y dasométricas de la zona de uso bosque.

**Tabla 1. Descripción de las tres subzonas de estudio.**

USO	ALTITUD (m)	PENDIENTE (%)	ORIENTACIÓN	VEGETACIÓN PREDOMINANTE		
PASTOS	1.084	2,5	SE	<i>Linum bienne</i> , <i>Cynosurus</i> <i>crispatus</i>	y	<i>Trifolium repens</i>
ARBUSTIVO	1.087	3,6	SO	<i>Erica australis</i> , <i>Cytisus scoparius</i>	y	<i>Genista tinctoria</i>
BOSQUE	1.138	7,8	SE	<i>Quercus petraea</i>	y	<i>Quercus pyrenaica</i>

**Tabla 2. Descripción de las principales variables forestales de la zona de uso bosque**



Codificación NORMAFOR	FCC	(%)	dbh	(cm)	hm	(m)	h c	(m)	N	(pies/ha)	G	(m2/ha)
(QtLA-QpLA)d	80%	17,97	17,41	11,17	1623				44,04			



Nota: la codificación NORMAFOR se utiliza para la normalización de documentos de planificación forestal en Castilla y León. QtF-QpF)d = masa mixta de *Quercus petraea* en estado de latizal alto y *Quercus pyrenaica* en estado de latizal alto con cobertura conjunta densa; FCC = Fracción de cabida cubierta; dbh= diámetro medio a la altura del pecho; hm = altura media; hc = altura media de la copa en la base; N = densidad de la masa en número de pies; G= área basimétrica.

#### **Muestreo realizado**

El muestreo se llevó a cabo en tres áreas representativas dentro del municipio, cubriendo tres usos del suelo (área forestal, zona arbustiva y zona de pastizal). En cada uso del suelo se llevó a cabo una calicata de hasta 85 cm de profundidad donde se identificaron los distintos horizontes. Una vez identificados los horizontes, se determinaron las principales características *in situ* como color, textura, estructura y presencia de raíces o materiales orgánicos. Además, de cada horizonte identificado se tomó una muestra para su análisis en laboratorio.

#### **Análisis de las propiedades físico-químicas**

Se determinaron algunas propiedades físicas y químicas del suelo (textura, pH, capacidad de intercambio catiónico, concentraciones de cationes intercambiables Ca, Mg, K y Na). La textura se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (MAPA, 1994). El pH (relación suelo:agua de 1:5) se midió con un pH-metro. La conductividad eléctrica (CE), indicador de la concentración de sales solubles en el suelo, se evaluó en un extracto de saturación mediante un conductímetro calibrado. Este parámetro se emplea para caracterizar el nivel de salinidad, especialmente en sistemas afectados por actividades agrícolas intensivas (ARSHAD & MARTIN, 2002). Este análisis permitió clasificar los suelos bajo el sistema ISSS, proporcionando información sobre la retención de agua y la dinámica de los nutrientes en el perfil del suelo (WANG et al., 2023). La materia orgánica del suelo se analizó por el método de Walkley y Black. La concentración de C total del suelo se determinó multiplicando la concentración de carbono fácilmente oxidable por un factor de 1,3 (MAPA, 1994). El stock de carbono en el suelo ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ) se calculó utilizando datos sobre la densidad aparente ( $D_{ap}$ ), el porcentaje de tierra fina y la concentración de carbono para cada horizonte (MAPA, 1994).

En paralelo, la concentración de carbonatos, expresada como porcentaje de caliza, se determinó mediante volumetría de reacción con ácido clorhídrico, un método clave para evaluar la capacidad del suelo de amortiguar cambios de pH (BELMONTE et al., 2022). La disponibilidad de fósforo (P) en el suelo se analizó mediante el método de Olsen, empleando bicarbonato sódico como extractante. Este método, ampliamente utilizado en estudios de fertilidad del suelo, permitió identificar fracciones de fósforo fácilmente accesibles para las plantas (JOHNSON et al., 2022). Simultáneamente, los cationes intercambiables se extrajeron con  $\text{BaCl}_2$  0,1 M, el Ca y el Mg se determinó por espectrofotometría de absorción atómica y el K y el Na por espectrofotometría de emisión (MAPA, 1994). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó por el método de Bascomb (Bascomb, 1964).

#### **4. Resultados**

Los resultados de las distintas propiedades analizadas por horizonte en cada tipo de uso de suelo se muestran en las Tablas 3 y 4 y en las Figuras 2, 3 y 4. Los resultados muestran diferencias en las propiedades del suelo en función de las



variables uso y horizonte. El pH varía entre los diferentes usos del suelo, siendo más bajo en los suelos de bosque en comparación con los de pastos y arbustos y mostrando una tendencia general de incremento con la profundidad en todos los casos. La conductividad eléctrica presenta mayores valores en los horizontes superficiales, disminuyendo progresivamente con la profundidad. La densidad aparente también sigue un patrón distintivo entre los horizontes. Estos tienden a ser menos compactos en la superficie, mientras que en los horizontes más profundos se observa una mayor densidad aparente con independencia de los usos del suelo.

El carbono orgánico y el stock de carbono muestran su mayor acumulación en los horizontes superiores independientemente del uso del suelo. Sin embargo, los suelos bajo cobertura de arbustos y pastos presentan una mayor capacidad de almacenar carbono en comparación con los suelos de bosque. En cuanto a la textura y la proporción de partículas, los suelos de pastos presentan características más arenosas en la superficie, mientras que los suelos de bosque tienen un contenido de arcilla ligeramente mayor en los horizontes profundos. La capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes, como el fósforo y el potasio, son mayores en los horizontes superficiales en todos los usos del suelo. Sin embargo, el tipo de vegetación influye en la distribución y disponibilidad de estos nutrientes, siendo los suelos bajo bosque los que presentan mayores concentraciones en ciertos elementos como el potasio, mientras que los suelos bajo pastos y arbustos mantienen una mayor uniformidad en este sentido.

***Tabla 3. Propiedades físicas de los usos de suelo estudiados***





\* CE = Conductividad Eléctrica; Dap = Densidad aparente; EG = Elementos gruesos;  
TF= Tierra Fina.

***Tabla 4. Propiedades químicas de los usos de suelo estudiados***



	Espesor de horizonte (cm)	pH	COT	(%)	Stock de C	(Mg C/ ha)	MO (%)	P asim (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca	(cmolc/kg)	Mg (cmolc/kg)	Na (cmolc/kg)	CIC (cmolc/kg)
USO PASTOS	0-5	5,3	3,81	23,2	6,55	6,8	92	3,1	0,66	0,06			19,1	
	5-20	5,2	44,9	4,61	5,6	62	2,1	0,47	0,04			16,6		
	20 - 40	5,5	34,0	2,41	<4	57	1,5	0,35	0,04			11,3		
	40 - 60	5,8	18,9	1,02	N.D.	46	1,4	0,39	0,05			6,4		
	60 - 80	6,0	5,2	0,30	<4	47	1,6	0,56	0,10			6,6		
USO ARBUSTIVO	0 - 20	5,2	3,54	56,2	6,08	4,0	92	3,3	0,82	0,02			20,3	
	20 - 30	5,7	19,2	3,25	3,1	61	2,2	0,50	0,02			15,0		
	30 - 65	5,6	41,2	1,75	2,7	39	1,9	0,38	0,01			12,8		
	65 - 80	5,9	6,3	0,55	1,9	40	3,0	0,71	0,06			0,1		
	80 - 85	6,0	1,6	0,42	2,2	46	4,5	1,10	0,10			14,4		
USO BOSQUE	0-10	4,8	3,98	21,9	6,85	5,4	309	1,3	0,55	<0,01			17,5	
	10-30	5,1	18,5	1,76	2,8	155	0,1	0,03	<0,01			10,6		
	30 - 50	4,4	13,2	1,01	2,4	109	0,1	<0,01	0,01			7,5		



\*COT = Carbono Orgánico Total; MO = Materia Orgánica; P asim = fósforo asimilable; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico

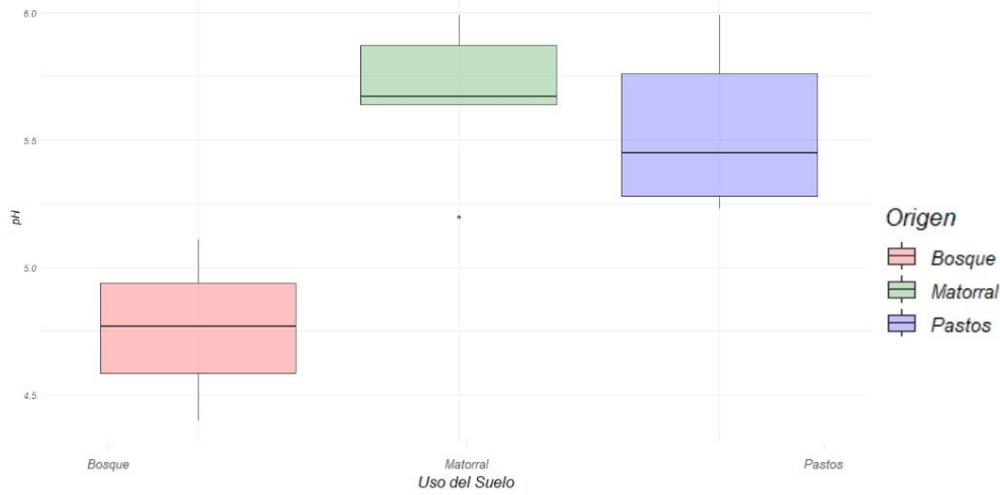


Figura 2. Comparativa del pH por uso del suelo.

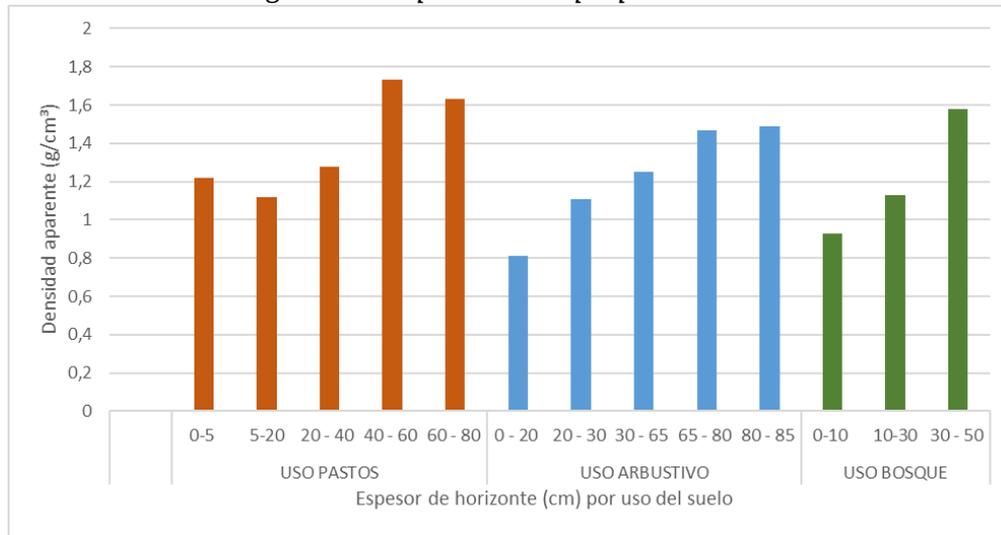


Figura 3. Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) por uso y profundidad (cm)

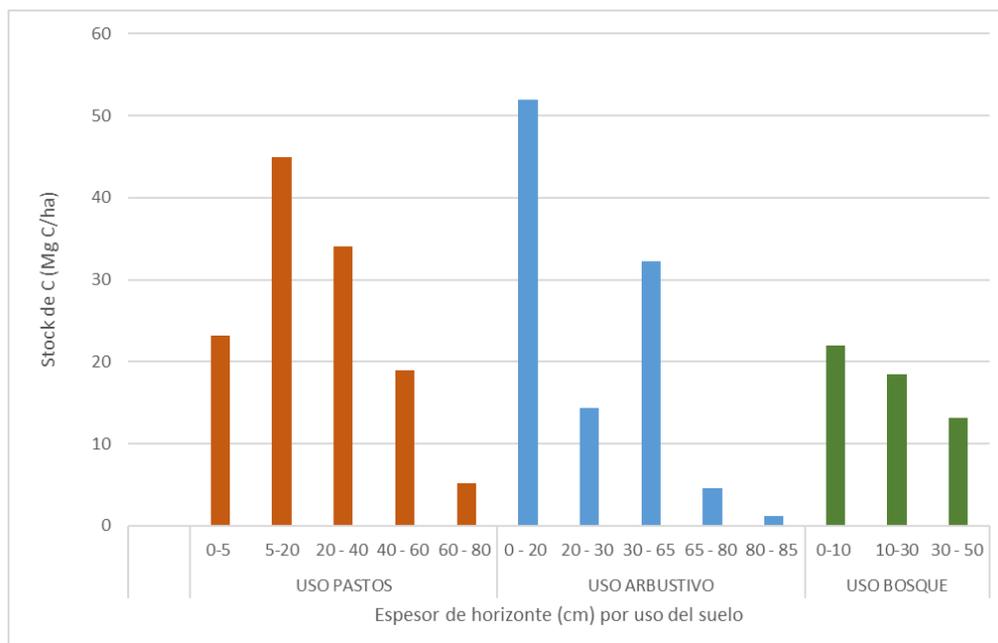


Figura 4. Stock de C (Mg C/ha) por uso y profundidad (cm)

## 5. Discusión

El contenido de materia orgánica y carbono total mostró variaciones entre los diferentes usos del suelo. En el uso de pastos se observaron los niveles más elevados de carbono en los primeros 20 cm ( $68,09 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) frente a los  $51,94 \text{ Mg C ha}^{-1}$  para la misma profundidad en el uso arbustivo, lo que coincide con los hallazgos de CHÁVEZ-SUÁREZ et al. (2023), quienes destacaron la influencia del ganado extensivo y la acumulación de residuos orgánicos en estos sistemas. Por otro lado, los suelos bajo cobertura forestal presentaron valores más bajos de carbono orgánico en los dos primeros horizontes analizados ( $40,41 \text{ Mg C ha}^{-1}$  en los primeros 30 cm) posiblemente debido a la lenta descomposición de la hojarasca y la acidificación natural asociada a los bosques, como se ha observado en estudios similares (MATAIX-SOLERA Y GUERRERO, 2007; DE AZA et al., 2011). En términos absolutos, el uso que presentó un mayor stock de C fue el de pastos ( $126,28 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), seguido de los horizontes del uso arbustivo ( $124,59 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) y del uso bosque ( $53,62 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue ligeramente mayor en todos los horizontes de los suelos de pastizales y de uso arbustivo en comparación con los horizontes del suelo de bosque. Este resultado es consistente con lo reportado por ARSHAD & MARTIN (2002), quienes atribuyen esta tendencia al mayor contenido de materia orgánica. En contraste, los horizontes del uso bosque mostraron menores valores de CIC en comparación con los otros dos usos, reflejando una posible pérdida de nutrientes debido a la lixiviación, fenómeno común en suelos ácidos y franco arenosos (BÜNEMANN et al., 2018).

Los horizontes del uso pastos presentaron un mayor porcentaje de arcilla en los horizontes superficiales en comparación con los usos arbustivo y bosque. Los suelos de la zona de pastos y la zona de bosque presentaron unas texturas relativamente uniformes, mientras que los horizontes de la zona arbustiva mostraron texturas más heterogéneas entre sí, con porcentajes más altos de arcilla en los horizontes profundos, pero una capacidad limitada para retener nutrientes y carbono. Este comportamiento podría explicarse por procesos de erosión y degradación edáfica, posiblemente exacerbados por una cobertura vegetal menos densa, como sugieren MARTÍNEZ-MURILLO Y MENJÍBAR-ROMERO (2024). Sin



embargo, estas observaciones difieren parcialmente de los resultados de BELMONTE et al. (2022), quienes encontraron una mayor capacidad de almacenamiento de carbono en suelos similares bajo cobertura arbustiva. Estas discrepancias podrían deberse a variaciones locales en la composición de los suelos de la zona arbustiva y las condiciones climáticas específicas del área de estudio.

Los análisis mostraron una mayor acidificación en el uso bosque en comparación con las zonas de pasto y arbustiva así como en los horizontes más profundos (independientemente del uso del suelo). Este comportamiento sugiere una relación entre el tipo de cobertura vegetal y la dinámica de acidez del suelo. En relación con la CE, los valores obtenidos fueron muy similares entre sí tanto en la comparativa entre usos como de profundidades, disminuyendo progresivamente con la profundidad. Esto indica una mayor acumulación de sales en la parte superior del perfil, posiblemente asociada a la actividad biológica y el aporte de materia orgánica. Los valores de densidad aparente indican cierta compactación en los suelos de los usos pasto y arbustivo, no así en la zona de bosque, lo que podría reducir su capacidad de retención hídrica. Este fenómeno, aunque consistente con las observaciones de MATAIX-SOLERA Y GUERRERO (2007) en áreas forestales, destaca la necesidad de implementar estrategias de gestión que mejoren la porosidad y minimicen el impacto de las actividades humanas en estos suelos. Aunque los factores climáticos como la precipitación y la temperatura son los principales controladores del Carbono Orgánico del Suelo en capas superficiales, el contenido de arcilla domina como factor estabilizador en capas más profundas (JOBÁGY & JACKSON, 2000). Esto resalta la importancia de integrar diferentes niveles de profundidad en los estudios de carbono del suelo. En términos de fertilidad, la disponibilidad de fósforo fue limitada en los tres tipos de uso del suelo, con valores particularmente bajos en los horizontes profundos en comparación con estudios como el de FAN et al. (2023), que marca valores de 17,26 mg/kg en las zonas control. Este patrón, también identificado por BÜNEMANN et al. (2018), subraya la necesidad de intervenciones específicas que mejoren la disponibilidad de este nutriente esencial, especialmente en sistemas de manejo intensivo.

El uso forestal, que en el pasado correspondió a áreas adheradas, podría haber influido en los niveles actuales de carbono y en la dinámica edáfica, dado que la transición hacia una cobertura arbórea más densa puede haber favorecido procesos como la acidificación del suelo y la reducción de la materia orgánica al limitar el aporte constante de residuos orgánicos característico de los sistemas adherados. Por otro lado, la evolución de la cobertura arbustiva tras el abandono de los pastizales sugiere una pérdida progresiva de carbono en el suelo, asociada a la reducción de la densidad vegetal y a una menor capacidad de incorporación y estabilización de la materia orgánica, un patrón consistente con los resultados de esta investigación y con los cambios funcionales que suelen acompañar el cese de actividades asociadas a la ganadería extensiva.

Los resultados obtenidos resaltan la importancia de adoptar estrategias de gestión diferenciadas para cada tipo de uso del suelo. En los pastizales, se recomienda mantener prácticas que favorezcan la acumulación de materia orgánica, como el pastoreo rotacional y el manejo adecuado de los residuos vegetales. Los pastizales de montaña son ecosistemas vulnerables en el contexto actual de cambio global. La vulnerabilidad ligada al escenario de cambio climático se debe a la disminución de las precipitaciones y al aumento de la temperatura media, así como a la frecuencia



e intensidad de fenómenos extremos como sequías y olas de calor en el área mediterránea (SHUKLA et al., 2022). Así, estos hábitats podrían experimentar un descenso en la diversidad de especies (GRUNWALD et al., 2017) que podría afectar a la demografía de las especies herbáceas y tener importantes efectos sobre la estructura, dinámica y rango geográfico de los sistemas de pastizales. En las áreas arbustivas, las acciones deberían centrarse en mitigar la erosión mediante la revegetación y el uso de barreras naturales. En el tipo de uso bosque, sería beneficioso implementar medidas para reducir la acidificación y promover una mejor estructura del suelo, como la incorporación de enmiendas orgánicas y la gestión sostenible del dosel forestal.

Es evidente la necesidad de realizar investigaciones a largo plazo para monitorear los efectos de las intervenciones de gestión sobre las propiedades edáficas y los servicios ecosistémicos asociados. El cambio climático podría afectar de manera especial a las zonas montañosas, con la imposibilidad para muchas especies de migrar a altitudes superiores (GOTTFRIED et al., 2012; PAULI et al., 2012), especialmente en los pastizales, donde el descenso continuado de la actividad de la ganadería extensiva ha sido una tendencia a lo largo del siglo XX (RODRÍGUEZ-ROJO, 2020) que afecta a la productividad de estos. El pastoreo por ganado extensivo puede significar la solución para reducir el riesgo de incendios en muchos ecosistemas al permanecer la vegetación bajo control. Además, se requiere un análisis más detallado de las interacciones biológicas en el suelo, particularmente en relación con la actividad microbiana, la dinámica del nitrógeno y el fósforo y su respuesta a cambios en el uso del suelo, como sugieren estudios recientes (WANG et al., 2023).

## 6. Conclusiones

Los resultados resaltan la influencia del uso del suelo en las propiedades físicas y químicas del mismo. Los pastizales muestran un mayor contenido de materia orgánica y carbono en los horizontes superficiales, lo que respalda su capacidad de secuestro de carbono y fertilidad. Sin embargo, el abandono de estas áreas y su consiguiente disminución de carga ganadera facilita la transición hacia coberturas arbustivas y puede derivar en una pérdida de carbono almacenado, disminuyendo su capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos clave. Los suelos de bosque, aunque más ácidos, presentan una textura favorable para la infiltración, pero requieren manejo para mitigar la lixiviación de nutrientes. Es importante destacar que los datos analizados son preliminares y es necesario seguir profundizando en el análisis de suelos de la zona, si bien es cierto que los resultados subrayan la importancia de implementar prácticas de manejo diferenciadas por usos del suelo para optimizar los servicios ecosistémicos y garantizar la sostenibilidad del recurso edáfico. Europa necesita alcanzar la neutralidad climática y los suelos son esenciales en este proceso. Para lograrlo, el primer paso es conocer sus principales características físicas y químicas y saber cómo gestionarlos para hacer de la gestión sostenible del suelo la norma y trabajar juntos por los objetivos de la misión suelo.

## 7. Agradecimientos

Las y los autores agradecen la financiación del proyecto Reactiva Brañosera y del Programa Investigo por el Servicio Público de Empleo Estatal financiado por la Unión Europea-NextGeneration. Reactiva Brañosera cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto



Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU.

## 8. Bibliografía

- ARSHAD, M. A.; COEN, G. M.; 2002. Soil quality indicators. *Methods for assessing soil quality* 123 – 141.
- AWOONOR, J. K.; AMOAKWAH, E.; BURI, M. M.; DOGBEY, B. F.; GYAMFI, J. K.; 2024. Impact of Land use on soil quality: Insights from the forest-savannah transition zone of Ghana. *Heliyon* e41183.
- BASCOMB, C. L.; 1964. Rapid method for the determination of cation-exchange capacity of calcareous and non-calcareous soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 15 821 – 823.
- BELMONTE, F.; NAVARRO, J.; LOAIZA, M.; 2022. Impact of vegetation type on soil organic carbon dynamics in Mediterranean mountain ecosystems. *Geoderma* 410 115637.
- BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L.; 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120 105 – 125.
- BÜNEMANN, E. K.; SCHWENKE, G. D.; VAN ZWIETEN, L.; 2018. Impact of agricultural inputs on soil organisms—a review. *Soil Research* 56 1 – 26.
- BRUSSARD, L.; 2012. Ecosystem services provided by the soil biota. *Soil ecology and ecosystem services* 45 – 58.
- CANTÚ SILVA, I.; YÁÑEZ DÍAZ, M. I.; 2018. Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9 122 – 151.
- CHÁVEZ-SUÁREZ, L.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, I.; TORRES-CÁRDENAS, V.; BENÍTEZ-JIMÉNEZ, D.; ALVAREZ-FONSECA, A.; 2023. Relación de la biota edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo en cinco pastizales de la provincia Granma. *Pastos y Forrajes* 46.
- DE AZA, C. H.; TURRIÓN, M. B.; PANDO, V.; BRAVO, F.; 2011. Carbon in heartwood, sapwood and bark along the stem profile in three Mediterranean Pinus species. *Annals of Forest Science* 68 1067 – 1076.
- FAN, Y.; LV, G.; CHEN, Y.; CHANG, Y.; LI, Z.; 2023. Differential effects of cow dung and its biochar on Populus euphratica soil phosphorus effectiveness, bacterial community diversity and functional genes for phosphorus conversion. *Frontiers in Plant Science* 1242469.
- GOTTFRIED, M.; PAULI, H.; FUTSCHIK, A.; AKHALKATSI, M.; BARANČOK, P.; BENITO ALONSO, J. L.; COLDEA, G.; DICK, J.; ERSCHBAMER, B.; FERNÁNDEZ CALZADO, M. R.; KAZAKIS, G.; KRAJČI, J.; LARSSON, P.; MALLAUN, M.; MICHELSEN, O.; MOISEEV, D.; MOISEEV, P.; MOLAU, U.; MERZOUKI, A.; ... GRABHERR, G.; 2012. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change* 2 111 – 115.
- GRUNWALD, S.; MIZUTA, K.; CEDDIA, M. B.; PINHEIRO, É. F.; WILCOX, R. K. K.; GAVILAN, C. P.; ... CLINGENSMITH, C. M.; 2017. The meta soil model: An integrative multi-model framework for soil security. *Global soil security* 305 – 317.



HOOGMOED, M.; CUNNINGHAM, S. C.; THOMSON, J. R.; BAKER, P. J.; BERINGER, J.; CAVAGNARO, T. R.; 2012. Does afforestation of pastures increase sequestration of soil carbon in Mediterranean climates? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 159 176 – 183.

JOBBÁGY, E. G.; JOBBÁGY, J.; JACKSON, R. B.; 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 10 423 – 436.

JOHNSON, N. C.; WILSON, G. W.; BOWKER, M. A.; WILSON, J. A.; MILLER, R. M.; 2022. Resource limitation is a driver of local adaptation in mycorrhizal symbioses. *Nature Ecology & Evolution* 6 453 – 460.

MAPA; 1994. Métodos oficiales de análisis. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 662 pp. Madrid.

MATAIX-SOLERA, J.; GUERRERO, C.; 2007. Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica* 5 – 40.

MARTÍNEZ-MURILLO, J. F.; MENJÍBAR-ROMERO, M.; 2024. El pastizal de alta montaña de Sierra de las Nieves: cambios espaciales y propiedades edáficas. Cuadernos de Investigación Geográfica.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO; 2023. Estudio sobre el clima y ecosistemas en zonas montañosas de la Cordillera Cantábrica. Informe técnico, MITECO.

NUEVA ESTRATEGIA DE LA UE EN FAVOR DE LOS BOSQUES PARA 2030; n.d. Comisión Europea. Disponible en: [https://commission.europa.eu/document/cf3294e1-8358-4c93-8de4-3e1503b95201\\_es](https://commission.europa.eu/document/cf3294e1-8358-4c93-8de4-3e1503b95201_es). Consultado el 3 de enero de 2025.

PAULI, N.; BARRIOS, E.; CONACHER, A. J.; OBERTHÜR, T.; 2012. Farmer knowledge of the relationships among soil macrofauna, soil quality and tree species in a smallholder agroforestry system of western Honduras. *Geoderma* 189 – 190 186 – 198.

PROPUESTA DE DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO RELATIVA A LA VIGILANCIA Y LA RESILIENCIA DEL SUELO (LEY DE VIGILANCIA DEL SUELO); n.d. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/participacion-publica/ue-direct-suelos.html>. Consultado el 10 de enero de 2025.

RAMESH, T.; BOLAN, N. S.; KIRKHAM, M. B.; WIJESKARA, H.; KANCHIKERIMATH, M.; SRINIVASA RAO, C.; SANDEEP, S.; RINKLEBE, J.; OK, Y. S.; CHOUDHURY, B. U.; WANG, H.; TANG, C.; WANG, X.; SONG, Z.; FREEMAN, O. W.; 2019. Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review. *Advances in Agronomy* 156 1 – 107.

RODRÍGUEZ-ROJO, M. P.; FONT, X.; GARCÍA-MIJANGOS, I.; CRESPO, G.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F.; 2020. An expert system as an applied tool for the conservation of semi-natural grasslands on the Iberian Peninsula. *Biodiversity and Conservation* 29 1977 – 1992.

SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; SLADE, R.; AL KHOURDAJIE, A.; VAN DIEMEN, R.; MCCOLLUM, D.; ... MALLEY, J.; 2022. Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 10.



SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241 155 – 176.

WANG, H.; CHEN, D.; WU, C.; GUO, L.; SUN, X.; ZHANG, S.; 2023. Forest thinning alleviates the negative effects of precipitation reduction on soil microbial diversity and multifunctionality. *Biology and Fertility of Soils* 59 423 – 440.