

Litología y propiedades hidrológicas de los suelos de la Comunidad de Madrid

Lithology and hydrological properties of Madrid Autonomous Community soils

Gómez-Sanz, V. ^{1*}; Escorial García, I. ¹; Roldán Soriano, M. ¹

¹*Grupo de Investigación ECOFESFOR de la Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. C/José Antonio Nováis, 10. 28040. Madrid.*

Autor para correspondencia: valentin.gomez@upm.es

Resumen

La litología es uno de los condicionantes principales de la composición y organización espacial de los componentes de la fracción sólida del suelo, aspecto especialmente determinante de la respuesta hidrológica superficial. A pesar de esta evidencia, los aspectos litológicos son habitualmente obviados en los trabajos de caracterización del comportamiento hidrológico superficial, lo cual supone desaprovechar información de base trascendente y de relativamente fácil obtención. Con la finalidad de corregir esta disfunción metodológica, en este trabajo se identifican y caracterizan los litotipos asociados a cada una de las parcelas establecidas en la Comunidad de Madrid, dentro del Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES), y se analizan las posibles relaciones que existen entre éstos y diferentes propiedades edáficas, relacionadas con la porosidad, y en consecuencia, que condicionan el comportamiento superficial y subsuperficial del agua en los sistemas naturales. Los resultados obtenidos identifican relaciones significativas y coherentes, que posibilitan hacer aproximaciones apropiadas a propiedades edáficas a partir de la información litológica. Estas relaciones pueden suplir de forma práctica la habitual carencia de información edáfica específica, facilitando su integración en trabajos que necesiten de la aplicación de metodologías de caracterización hidrológica del territorio.

Palabras clave: formaciones superficiales, INES, porosidad edáfica, textura edáfica, erosionabilidad.

Abstract

Lithology is one of the main determining factors of the composition and spatial organization of soil solid fraction components, an aspect that is particularly determinant of surface hydrological response. In spite of this evidence, lithological aspects are usually ignored in superficial hydrological behavior characterization works, which supposes to waste base information of relatively easy to obtain. In order to correct this methodological dysfunction, this paper identifies and characterizes lithotypes associated with each of the plots established in the Madrid Autonomous Community (Spain), within the National Inventory of Soil Erosion, and analyzes possible relationships between these and different soil properties related to porosity, and consequently, that condition surface and subsurface water behavior in the natural systems. The results obtained identify significant and coherent relationships, which allow making appropriate approximations to soil properties from lithological information. These relationships can make up for the usual lack of specific soil information in a practical way, facilitating their integration in works that need application of methodologies of territory hydrological characterization.

Keywords: superficial deposits, INES, soil porosity, soil texture, erodibility.

1. Introducción

El desarrollo de una porosidad extensa por meteorización es el proceso clave en la conversión de los *macizos rocosos* en *formaciones superficiales* (Graham *et al.*, 2010). Además de participar activamente en la configuración del relieve, las *formaciones superficiales* juegan un determinante papel ecológico al constituir los sustratos base para el desarrollo edáfico (edafogénesis), medio en el cual la biota puede encontrar un hábitat subterráneo para explorar y obtener los nutrientes y el agua allí almacenados (Graham *et al.*, 2010; Hahm *et al.*, 2014). Estos materiales, que sustentan por tanto la vida terrestre, muestran diferencias esenciales respecto de las rocas, no tanto en cuando a su composición mineralógica, como en lo relativo a las propiedades físicas y mecánicas de ellas derivadas, aspectos especialmente determinantes de la respuesta hidrológica superficial.

A pesar de su indudable trascendencia edafológica e hidrológica, la información litológica (concretamente, la relativa a la caracterización de *formaciones superficiales*) ha sido de forma habitual obviada o minusvalorada, tanto en los procesos de evaluación territorial, como en la toma de decisiones derivada de ella. Paralelamente, la escasez de estudios sobre relaciones litología – suelo es patente (Graham *et al.*, 2010; Hahm *et al.*, 2014; Gray *et al.*, 2016), habiéndose sugerido que esta deficiencia se debe, entre otras, a la dificultad para inventariar y evaluar los materiales litológicos de afloramiento superficial de una manera adecuada y efectiva (Schaetzl & Anderson, 2005).

El Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES) es una iniciativa que puso en marcha en 2001 la entonces Dirección General del Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Medio Ambiente. En su desarrollo ha ido registrando, de forma sistemática (tamaño de malla de 5 x 5 km) y estructurada sobre una base provincial, información relativa a los principales aspectos que dirigen los procesos erosivos, incluyendo resultados de laboratorio de muestras de suelo tomadas en los trabajos de campo. La base de datos obtenida supone una estupenda oportunidad para apoyar en ella estudios centrados en la evaluación de los factores y procesos implicados en el comportamiento superficial del agua.

El trabajo que se presenta va en esa línea, marcando como objetivo identificar y evaluar las relaciones que existen entre los distintos materiales litológicos y diferentes propiedades edáficas relacionadas con la porosidad y, en consecuencia, que condicionan el comportamiento superficial y subsuperficial del agua en los sistemas naturales. Para ello, se hace especial hincapié en la clasificación de los diferentes *litotipos*, de acuerdo con caracteres que puedan aproximar de manera eficiente el desarrollo de propiedades edáficas trascendentes en la respuesta hidrológica esperada de los suelos.

2. Material y métodos

La información de las 345 parcelas del INES en la Comunidad de Madrid (INES, 2002) ha sido complementada con información específica sobre la litolo-

gía que ha dado lugar a los suelos en ellas desarrollados. A partir de sus respectivas coordenadas UTM (sistema de referencia ED50), la base litológica correspondiente se ha asociado mediante su traslación a la cartografía litológica, escala 1:50.000 (serie MAGNA), que ofrece el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). El total de *litotipos* identificados ha sido a continuación clasificado utilizando como criterios de diferenciación el origen de los materiales litológicos (criterio genético) y su tamaño de grano (criterio granulométrico). Este proceso ha permitido definir 10 *tipos litológicos* diferenciados.

De la base de datos del INES, las variables edáficas que se han seleccionado para su estudio son la presencia de elementos gruesos (en % sobre suelo natural), el contenido en *arena*, *limo* y *arcilla* según la escala granulométrica de la USDA (en % sobre *tierra fina*) y el contenido en *materia orgánica* (% en *tierra fina*). A partir de los datos de textura, se ha determinado la clase textural USDA (FAO, 2006) que corresponde a cada una de las parcelas y se ha establecido la tabla de contingencia respecto del *tipo litológico*.

A su vez, sobre estas variables se han aplicado diferentes procesos estadísticos de cara a valorar la presencia de elementos atípicos y, extraídos éstos, evaluar las medidas de dispersión y de tendencia central, utilizando como factor de respuesta (explicativo) el *tipo litológico*. Así mismo, se ha procedido a comprobar si se cumplen las condiciones de normalidad y de homocedasticidad en los grupos de datos definidos por los distintos *tipos litológicos*, para después realizar el análisis de variancia más coherente desde un punto de vista estadístico. De su análisis y valoración se ha podido aproximar el comportamiento hidrológico general de los suelos correspondiente (propiedades hidrológicas), tanto en lo referente a su erosionabilidad (factor K del modelo RUSLE para la estimación de las pérdidas en suelos como consecuencia de la erosión por impacto, laminar o en regueros (USDA, 1996)) como en su capacidad para generar escorrentía (asignando el *grupo hidrológico de suelo* (NRCS, 2007) más probable a cada uno de los tipos litológicos identificados).

3. Resultados

La litología asociada al total de parcelas incluidas en el INES aparece resumida en la *Tabla 1*. En ella se presenta la composición dominante (*litotipos*) de cada uno de los *tipos litológicos* identificados en función del origen del material y del tamaño de grano del mismo.

El análisis de dispersión para cada una de las variables de estudio en los diferentes grupos litológicos establecidos ha permitido localizar un total de 34 parcelas que se han considerado como atípicas (sus valores se apartan más de 1,5 veces la desviación típica respecto del valor medio) y que han sido excluidas del análisis (lo que ha supuesto manejar datos de 311 parcelas).

Los estadísticos descriptivos de las variables edáficas analizadas aparecen recogidos en la *Tabla 2*. De acuerdo con ellos, la variable que ha tenido un compor-

Tabla 1. Composición dominante de los tipos litológicos establecidos para las parcelas del INES (2002) en la Comunidad de Madrid.

Litotipos	Tipo Litológico			
	Etiqueta	Origen	Tamaño de grano	Nº parcelas
Ademellitas (biotíticas de grano medio, con megacristales, equigranulares o porfídicas, con anfíbol o cordierita) / Granitos (leucogranitos o monzogranitos, biotíticos o porfídicos, de grano variado) / Granodiorita-monzogranítico biotítico / Pórfidos graníticos o granodioríticos	A	Materiales ígneos no volcánicos (plutónicos o filonianos)	Grueso	66
Esquistos (con paraneises, o metasamitas y cuarcitas) / Ortoneises (glandulares o bandeados biotíticos) / Leuconaises (a veces con glándulas) / Paraneises (con esquistos y micaesquistos, o con metapelitas y metasamitas)	B	Materiales metamórficos	Grueso	55
Cuarcitas (ocasionalmente con intercalaciones de esquistos) / Metasedimentos (predominantemente pelíticos) / Pizarras (en ocasiones con esquistos y cuarcitas)	C	Materiales metamórficos	Fino	12
Calizas (en algún caso tobáceas) con materiales detríticos -arcillas, margas, areniscas, conglomerados...-), en ocasiones con costras laminares / Calizas dolomíticas	D	Materiales sedimentarios químicos	Variado	15
Yesos masivos, sacaroideos, especulares o tableados (en ocasiones con carbonatos o lutitas) / Calizas margosas / Dolomías margosas / Caliche (con arcillas)	E	Materiales sedimentarios químicos	Fino	22
Arcillas (en ocasiones yesíferas) / Arcillas con calizas margosas y calizas dolomíticas / Limos	F	Materiales sedimentarios detríticos	Fino o muy fino	18
Lutitas, loes, gravas, arenas, arcillas (en ocasiones yesíferas) / Lutitas con niveles de arenas o arcosas / Limos, loes, arcillas, arenas y gravas / Arcillas rojas, arenas y yesos	G	Materiales sedimentarios detríticos	Variado, pero con elementos finos o muy finos dominantes	17
Arenas arcósicas, alternando con cantos, limos y arcillas / Arenas y lutitas (en ocasiones con cantos) / Arenas, limos y arcillas (en ocasiones con cantos)	H	Materiales sedimentarios detríticos	Variado, pero con elementos de tamaño arena dominantes	28
Gravas y cantos poligénicos, arenas y arenas limo-arcillosas / Gravas, cantos y bloques, principalmente calizos, arenas y arenas limo-arcillosas/ Gravas, arenas y limos (en ocasiones con lutitas) / Conglomerados (de cantos y bloques polimíctico o cuacíticos; en ocasiones con areniscas -o arcosas-, arcillas, calizas o margas) / Cantos, gravas, arenas y arcillas	I	Materiales sedimentarios detríticos	Variado, pero con elementos gruesos dominantes	41
Arcosas / Arenas arcósicas / Arenas y gravas / Areniscas / Bloques y cantos / Cantos y arenas / Gravas y arenas / Eluvial	J	Materiales sedimentarios detríticos	Grueso	71

tamiento más concentrado ha sido la relativa al contenido en *arcilla USDA*, mientras que la más dispersa ha sido la variable *tierra fina*. Por otro lado, el grupo litológico G es el que tiene los mayores valores de desviación típica en las variables texturales, y el más bajo en la variable *tierra fina*, mientras que es el B el que tiene un comportamiento de las variables texturales más reducido en su variabilidad, con el segundo valor más alto en la variable *tierra fina*.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las variables edáficas según *tipo litológico* (media \pm desviación típica, con los valores mínimo y máximo entre paréntesis)

Tipo Litológico	N	Tierra Fina (%)	Arena USDA (% en TF)	Limo USDA (% en TF)	Arcilla USDA (% en TF)	Materia Orgánica (% en TF)	Factor K RUSLE (t·m ² ·h/ha·hJ·cm)
A	62	72,4 \pm 15,8 (28,8 - 96,6)	70,7 \pm 9,1 (40,0 - 87,0)	18,0 \pm 8,4 (0,0 - 45,0)	11,3 \pm 3,6 (2,0 - 22,0)	3,3 \pm 1,8 (0,4 - 7,8)	0,15 \pm 0,06 (0,039 - 0,338)
B	52	66,4 \pm 18,2 (26,9 - 95,9)	66,0 \pm 8,2 (43,0 - 78,0)	21,8 \pm 6,9 (10,0 - 45,0)	12,2 \pm 3,9 (5,0 - 22,0)	4,2 \pm 2,5 (1,1 - 9,8)	0,18 \pm 0,07 (0,018 - 0,33)
C	9	64,4 \pm 18,4 (35,7 - 93,8)	56,2 \pm 15,2 (35,0 - 75,0)	32,4 \pm 12,8 (15,0 - 47,0)	11,3 \pm 5,3 (5,0 - 20,0)	3,4 \pm 1,6 (1,2 - 5,5)	0,27 \pm 0,15 (0,088 - 0,481)
D	14	77,2 \pm 16,9 (47,5 - 97,2)	31,7 \pm 6,7 (20,0 - 43,0)	34,9 \pm 8,6 (24,0 - 50,0)	33,4 \pm 7,6 (20,0 - 45,0)	1,8 \pm 0,8 (0,8 - 3,5)	0,35 \pm 0,12 (0,175 - 0,58)
E	22	81,4 \pm 12,1 (53,9 - 95,0)	35,7 \pm 12,2 (20,0 - 60,0)	37,4 \pm 10,8 (20,0 - 65,0)	26,9 \pm 12,6 (8,0 - 50,0)	1,9 \pm 0,6 (0,7 - 2,9)	0,34 \pm 0,11 (0,217 - 0,666)
F	11	84,8 \pm 11,9 (64,4 - 98,4)	31,2 \pm 6,8 (20,0 - 38,0)	44,4 \pm 13,8 (30,0 - 65,0)	24,5 \pm 10,2 (8,0 - 35,0)	2,2 \pm 1,1 (0,6 - 4,6)	0,41 \pm 0,16 (0,267 - 0,724)
G	12	88,3 \pm 8,6 (73,9 - 98,9)	47,0 \pm 15,6 (22,0 - 75,0)	28,3 \pm 15,1 (12,0 - 65,0)	24,8 \pm 13,7 (2,0 - 58,0)	1,9 \pm 1,3 (1,0 - 5,4)	0,28 \pm 0,16 (0,159 - 0,738)
H	23	84,8 \pm 9,9 (61,2 - 97,1)	69,7 \pm 8,9 (50,0 - 80,0)	15,2 \pm 6,8 (2,0 - 28,0)	15,2 \pm 7,2 (5,0 - 32,0)	1,8 \pm 1,0 (0,4 - 4,7)	0,16 \pm 0,06 (0,054 - 0,286)
I	39	79,0 \pm 15,5 (38,5 - 99,9)	40,5 \pm 15,2 (17,0 - 68,0)	30,5 \pm 11,3 (12,0 - 58,0)	29,0 \pm 11,0 (10,0 - 52,0)	1,7 \pm 0,8 (0,4 - 3,7)	0,31 \pm 0,09 (0,132 - 0,55)
J	67	78,7 \pm 15,1 (34,1 - 98,9)	59,4 \pm 15,3 (20,0 - 85,0)	17,8 \pm 9,3 (0,0 - 45,0)	22,9 \pm 10,3 (5,0 - 42,0)	1,9 \pm 1,6 (0,4 - 8,2)	0,21 \pm 0,09 (0,027 - 0,511)

Ninguna de las variables de estudio cumple los requisitos de normalidad ni de homocedasticidad para los grupos definidos por el factor *tipo litológico*, con lo que se ha optado por métodos no paramétricos para el análisis de sus variancias. En todos los casos, la prueba de Kruskal-Wallis de significación de 0,00 (valores de $\chi^2 > 75,0$ con 9 grados de libertad), con lo que se puede rechazar la hipótesis de igualdad de medianas según el factor *tipo litológico*.

La relación que se establece entre los tipos litológicos y las clases texturales USDA predominantemente a ellos asociadas se puede observar en la *Figura 1*, organizadas en texturas: desequilibradas gruesas (*franco arenosa*, *arenosa franca* y *areno-*

sa), equilibradas (*franca arcillo-arenosa* y *franca*), algo desequilibradas finas (*arcillo-arenosa*, *franco arcillosa*, *franca arcillo-limosa* y *franco limosa*), y desequilibradas finas (*arcillo-limosa*, *limosa* y *arcillosa*).

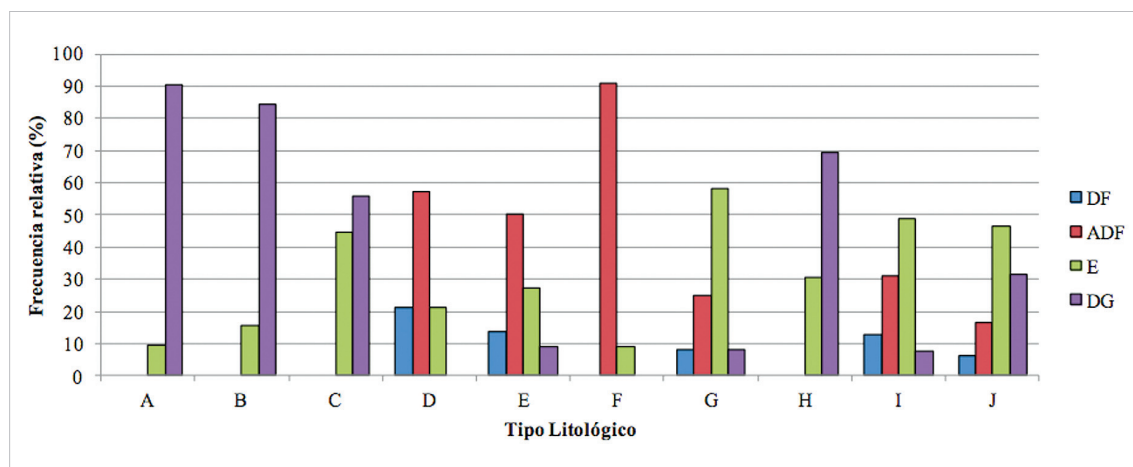


Figura 1. Frecuencia relativa de las parcelas por *clase textural* (DF, Desequilibrada Fina; ADF, Algo Desequilibrada Fina; E, Equilibrada; DG, Desequilibrada Gruesa) según *tipo litológico*.

4. Discusión

La porosidad, tanto la efectiva para el drenaje del suelo (macroporosidad o porosidad estructural), como la responsable de la capacidad de almacén de agua (microporosidad o porosidad textural) es definida por la combinación de dos atributos edáficos, la textura (tamaño de los materiales de la fase sólida) y la estructura (forma de agregación, resultado de la acción de diferentes agentes, entre los que juega un papel destacado la materia orgánica incorporada al suelo). Ambos aspectos son propiedades intrínsecas que convergen en la organización espacial de la fase sólida, en la que el componente litológico es especialmente determinante (Gray et al., 2016).

Los materiales coherentes de origen ígneo y metamórfico (tipos litológicos A, B y C) conforman un grupo relativamente homogéneo en la respuesta edáfica a partir de ellos observada. En ella la presencia de elementos gruesos es patente (contenido en *tierra fina* medio < 75%), y los elementos finos son bastante escasos (contenido en *arcilla* de la *tierra fina* < 15% en su valor medio, mientras que las *arenas* superan el 55% de media). Son, por tanto, suelos que presentan texturas desequilibradas gruesas de forma predominante (en más del 50%, *franco arenosa*). Además, los contenidos en *materia orgánica* para los suelos derivados de este grupo de materiales son los más elevados de todos los analizados (valores medios entre 3,25 y 4,25%), con lo que son esperables unas aceptables condiciones de estructura. En consecuencia, los suelos desarrollados presentan buena permeabilidad (notable macroporosidad) y limitada capacidad de retención de agua (escasa

microporosidad). Su erosionabilidad es reducida (el factor K de RUSLE presenta valores medios del orden de 0,15 a 0,27) a la vez que su potencial para generar escorrentía (la capacidad de infiltración es moderada-alta, con buena porosidad estructural, resultante de un elevado contenido en *materia orgánica*, lo que implica un grupo hidrológico de suelo B, siempre que no se consideren limitaciones de profundidad efectiva). No obstante, los suelos habitualmente desarrollados sobre estos materiales son de escaso espesor, lo que hace que su capacidad de almacén quede muy limitada si se presentan sobre masas rocosas con escasa fisuración (Gómez-Sanz y Roldán Soriano, 2013), lo que obligaría a asignar un grupo hidrológico D.

Muy próximos a este grupo de materiales se encuentran los materiales detríticos predominantemente arenosos (tipo litológico H), aspecto que determina un comportamiento hidrológico diferenciado. Si bien, la presencia de elementos gruesos no es notable (presentan > 75% de media en *tierra fina*), texturalmente, más del 70% de las parcelas de este tipo son *franco arenosa* (la *tierra fina* tiene de media más de 40% de *arena* y menos de un 20% de *arcilla*). Así mismo, el valor medio de *materia orgánica* se sitúa entre los valores más bajos (favoreciendo la aparición de estructuras particulares de grano suelto). Su erosionabilidad es reducida (valor medio del factor K (RUSLE) de los más bajos), y su capacidad para generar escorrentía es muy limitada (alta velocidad de transmisión por elevada macroporosidad de marcado carácter litológico lo que conlleva un grupo hidrológico de suelo A; en este caso no son esperables limitaciones por escasa profundidad efectiva).

Con valores de *tierra fina* y *arena* muy similares al tipo H, pero con una notable mayor presencia de *arcilla*, se presentan los materiales detríticos que incluyen litotipos con un tamaño de grano variado, excluidos los predominantemente arenosos (tipos litológicos G, I y J). Los valores de *arcilla* en *tierra fina* son bastante variados, superiores en valor medio al 20%, haciendo que texturalmente sean bastante heterogéneos, pero con predominio de las texturas equilibradas (*franca* o *franca arcillo-arenosa*). Este hecho, unido a los valores medios de *materia orgánica* más bajos (inferiores a 2% de media), resulta especialmente determinante en la respuesta hidrológica, llevando asociados una erosionabilidad moderada-alta (los valores medios del factor K (RUSLE) se mueven entre 0,21 y 0,31) y un potencial para la generación de escorrentía notable (tasas de infiltración bajas por reducido contenido en *materia orgánica* y presencia de elementos finos; grupo hidrológico de suelo C).

Por último, los materiales restantes, materiales sedimentarios de origen químico y detríticos de tamaño de grano fino (tipos litológicos D, E y F), constituyen un grupo bastante homogéneo. Los suelos derivados de estos materiales se caracterizan por elevados valores medios de *tierra fina* (superiores al 75%) y con reducida presencia de *arenas* (menos del 40% de media en *tierra fina*), lo que hace que su composición granulométrica esté dominada por *arcillas* y *limos*. Esta circunstancia implica que sean suelos con texturas algo desequilibradas finas (mayoritariamente *franco arcillosa*), llegando en algunos casos a desequilibradas finas (*arcillo-*

sa). Como la presencia de *materia orgánica* es modesta (en torno a un 2% en valor medio), es esperable una estructura particular masiva o maciza, lo que lleva a una elevada capacidad de formación de escorrentía (la infiltración está muy dificultada por la reducida macroporosidad, con lo que el grupo hidrológico del suelo es D) y a una alta erosionabilidad (los valores de K (RUSLE) son los más elevados, con valores medios entre 0,34 y 0,45, en consecuencia a la notable presencia de limos.

5. Conclusiones

El desarrollo del trabajo expuesto ha permitido extraer como conclusiones más relevantes las valoraciones que a continuación se relacionan:

- 1.— Los 10 tipos litológicos identificados definen rangos de variación en las variables analizadas de amplitudes aceptables, y muestran diferencias significativas y coherentes. El efecto discriminante del factor *tipo litológico* respecto de las variables edáficas consideradas (evaluadoras primarias de la porosidad edáfica) se ha puesto de manifiesto, validando el procedimiento de clasificación de materiales litológicos aplicado.
- 2.— Las relaciones significativas encontradas han permitido hacer aproximaciones apropiadas a rangos de variación de propiedades edáficas relacionadas con la porosidad edáfica a partir de información litológica. Estas relaciones permiten apoyar de forma coherente la evaluación de propiedades edáficas trascendentes en la respuesta hidrológica esperada (erosionabilidad y capacidad de generación de escorrentía) a partir de datos litológicos.

Estos resultados posibilitan suplir de forma práctica la habitual carencia de información edáfica específica, ofreciendo información de base para la aplicación de metodologías de caracterización hidrológica del territorio.

6. Bibliografía

- FAO; 2006. *Guidelines for Soil Description*. fourth ed. The Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Gómez-Sanz, V.; Roldán Soriano, M.; 2013. Asignación de grupo hidrológico del suelo a partir de clasificaciones edáficas de base morfométrica. En: *Actas del 6º Congreso Forestal Español, 6CFE01-278*. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Vitoria-Gasteiz.
- Graham, R.C.; Rossi, A.M. & Hubbert, K.R.; 2010. Rock to regolith conversion: Producing hospitable substrates for terrestrial ecosystems. *GSA Today*, 20 (2): 4-9. <https://doi.org/10.1130/GSAT57A.1>

- Gray, J.M.; Bishop, T.F.A.; Wilford, J.R.; 2016. Lithology and soil relationships for soil modelling and mapping. *Catena*, 147: 429–440. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.045>
- Hahm, W.J.; Riebe, C.S.; Lkens, C.E.; Araki, S.; 2014. Bedrock composition regulates mountain ecosystems and landscape evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (9): 3338-3343. <https://doi.org/10.1073/pnas.1315667111>
- IGME: (s.f.). Hojas 458, 459, 483, 484, 485, 507, 508, 509, 510, 532, 533, 534, 535, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 605, 606, 607, 629, 630 en formato pdf del *Mapa Geológico de España*. Escala 1/50.000. Serie MAGNA. http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/pdfs/d4_G50/Magna50_460.pdf [15 de mayo de 2018]
- INES; 2002. *Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012*. Madrid. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- NRCS; 2007. *Part 630. Hydrology. National Engineering Handbook*. NRCS. Washington, DC.
- Schaetzl, R.J.; Anderson, S.; 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, New York. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815560>
- USDA; 1996. Predicting soil erosion for water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook* n.º 703. United States Department of Agriculture.