

INFLUENCIA DE LOS FRAGMENTOS GRUESOS EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA

M. J. FERNÁNDEZ-SANJURJO

Departamento de Edafología e Química Agrícola. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela. 15706 Santiago de Compostela, Galicia (España)

Resumen: En este trabajo se realiza una revisión de los efectos de la fracción mayor de 2 mm en algunas propiedades físicas y químicas de los suelos. Respecto a las propiedades físicas, se revisan numerosos trabajos relacionados con la influencia en la respuesta hidrológica, erosión, propiedades térmicas y en la productividad. Por otro lado se ha prestado especial interés a las propiedades químicas de la fracción gruesa, analizando las últimas investigaciones realizadas en este tema. Estos estudios han señalado la importancia de esta fracción en el almacenamiento de nutrientes, retención de metales y transformaciones mineralógicas. Sin embargo también han puesto de manifiesto el escaso conocimiento acerca de otros aspectos químicos, principalmente en lo que concierne a procesos bioquímicos, microbiológicos y a la interacción fragmentos gruesos-planta.

Palabras clave: Fragmentos gruesos, suelos, efectos, propiedades físicas, propiedades químicas, productividad.

Abstract: In this study a review of the effects of the soil fraction (>2 mm) on the physical and chemical properties of soils, was made. With regards to physical properties, several papers related to the influence on the hydrological response, thermic properties and productivity were reviewed. In addition, special attention was paid to the chemical properties of the coarse fraction and the latest research into this subject was analysed. These studies have highlighted the importance of this fraction in the storage of nutrients, metal retention, mineralogical transformations, etc. However, they have also made clear how little is known about other chemical properties, mainly in relation to biochemical and microbiological processes and the interaction between the coarse fraction and plants.

Key words: Coarse fraction, soils, effects, chemical properties, physical properties

INTRODUCCIÓN

El término fracción gruesa del suelo engloba a las partículas mayores de 2 mm de diámetro. Este material se conoce también como gravas, clastos o esqueleto del suelo. Cuando esta fracción representa más del 40% del volumen de un suelo, éste se definiría como predregoso o esquelético (ISRIC, 1994). Teniendo en cuenta que estos suelos

abarcen cerca del 60% de la superficie en la Europa mediterránea (Poesen, 1990), la importancia de esta fracción en los estudios edáficos es evidente. Sin embargo hasta ahora la mayor parte de los trabajos se centraron en la fracción tierra fina (< 2 mm) al considerarla determinante de las propiedades del suelo. Las investigaciones sobre los fragmentos gruesos se refieren a los efectos físicos en el medio edáfico (propiedades hidrau-

licas, erosión, densidad aparente...). Debido a que esta fracción se consideraba sólo como parte diluyente de la fracción fina, inerte químicamente, se descartaba de forma rutinaria en la mayor parte de los estudios, así sus efectos sobre la producción vegetal y otros aspectos químicos son menos conocidos. Las revisiones realizadas hasta la actualidad sobre la importancia de la fragmentos gruesos en el suelo reflejan este desequilibrio en su conocimiento físico y químico (Nichols et al., 1984; Poesen y Lavee, 1994). No obstante, trabajos recientes han demostrado que esta fracción no es inerte sino que ciertas propiedades físico-químicas tales como porosidad, retención de agua, contenido de carbono orgánico y de nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico, presentan valores que, en algunos casos, igualan o sobrepasan a los de la tierra fina. Por ello en los últimos años el interés por la fracción gruesa y especialmente por su influencia en las propiedades químicas del suelo ha ido en aumento.

En este trabajo se realiza una revisión de los efectos de los fragmentos gruesos en las propiedades del suelo, tratando de actualizar las anteriores recopilaciones, principalmente en el aspecto químico. Con ello se intenta destacar la importancia de esta fracción en la mayor parte de los procesos edáficos.

EFEECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO

La mayor parte de los trabajos relacionados con la influencia de los fragmentos gruesos en las propiedades físicas de los suelos se han centrado en el estudio del efecto en sus propiedades hidráulicas (infiltración y retención de agua), en la estructura, compactación y en la erosión de los suelos. El efecto sobre estas propiedades en el medio edáfico depende en gran medida de la distribución espacial de los fragmentos gruesos y de su movimiento en el suelo.

Muchos estudios han encontrado altas concentraciones de gravas en la parte superficial del suelo, en comparación con los horizontes inferiores (p.ej. Shaw, 1929; Rohdenburg 1977; McCormack et al., 1984; Simanton et al., 1984; Nettleton et al., 1989). Estos acúmulos de fragmentos gruesos han sido descritos como pavimentos de piedras y son debidos a la pérdida de tierra fina (por el viento o por escorrentía superficial) y/o a la migración de las gravas a la superficie (por ciclos de humectación-secado o de hielo-deshielo).

Por otro lado, el movimiento y la acumulación de fragmentos gruesos en profundidad se ha estudiado por diversas razones tales como estudios ingenieriles o interpretación de procesos edafo-geomorfológicos. Estos procesos dinámicos se han agrupado de acuerdo al principal agente desencadenante y son los siguientes (en Poesen y Lavee, 1994):

Cryoturbación (procesos de hielo-deshielo)

Argiloturbación (contracción y expansión de arcillas)

Graviedafoturbación (flujo y presión de materiales detríticos)

Aeroedafoturbación (erosión y acumulación eólica)

Acuaedafoturbación (flujo por inyección de agua o por escorrentía)

Cristaledafoturbación (crecimiento y reducción de cristales)

Antropoedafoturbación (maquinaria, pisadas...)

Seismoedafoturbación

Edafoturbación por la fauna (túneles, acúmulos, cuevas causadas por la fauna edáfica y pisadas de ganado)

Edafoturbación por la flora (crecimiento radical arbóreo y arbustivo)

En definitiva, todos estos procesos controlarán el movimiento y la distribución de los fragmentos gruesos tanto en superficie como en profundidad e influirán en la respue-

ta hidrológica y erosiva del suelo (Poesen et al., 1990, 1994; Valentin, 1994).

Efectos sobre los procesos hidrológicos

La conductividad hidráulica es una medida de la resistencia al flujo ofrecida por los poros del suelo. Las investigaciones que han tratado este tema han diferenciado entre los efectos de los fragmentos de roca situados en la superficie o en el interior del suelo. Los primeros afectan a la intercepción de la lluvia, a la evapotranspiración, escorrentía superficial e infiltración. Los fragmentos gruesos situados bajo la superficie del suelo influyen en la proporción de infiltración y en la producción de escorrentía (Poesen and Lavee, 1994).

Diversos autores (Stuart y Dixon, 1973; Dunn y Mehuys, 1984; Constanz et al., 1988; Brakensiek y Rawls, 1994) indican que la infiltración disminuye según aumenta la proporción de fragmentos gruesos en el interior de los suelos, debido probablemente a la encapsulación del aire en los macroporos, al aumento de la tortuosidad en la circulación del agua y a la reducción de la sección transversal del área. Ingelmo et al. (1994), estudiando 96 perfiles de suelos del centro y este de España, encuentran que la presencia de fragmentos de roca en general disminuye el agua gravitacional y aumenta el agua disponible en los suelos, aunque también influye la composición petrográfica de estos fragmentos. Según estos autores los efectos de esta fracción en la escorrentía superficial dependen de la cantidad y composición de los fragmentos gruesos, de la textura de la tierra fina y de las condiciones hídricas, especialmente de la dinámica y continuidad de los macroporos. A pesar de la importancia de la macroporosidad (porosidad estructural) en las propiedades hidrológicas del suelo, pocos estudios se han hecho relacionándola con el contenido en fragmentos gruesos; algunos ejemplos pueden ser los de Fies (1971), Beven y Germann (1982), Flint y Childs (1984), Ingelmo et al. (1994), van Wesemael et al.

(1995). Estos autores señalan que la dinámica de los macroporos depende del tamaño y de la morfología (angulosidad) de los fragmentos gruesos y de los cambios de volumen experimentados por varios procesos físico-químicos y ecológicos (humectación-secado, hielo-deshielo, actividad de la fauna) en la zona de contacto tierra fina-fragmento grueso; por su parte, la continuidad de estos macroporos estaría relacionada con el porcentaje y distribución de los fragmentos gruesos y con la textura de la tierra fina.

Incluso teniendo en cuenta las dificultades experimentales que impiden llegar a resultados concluyentes, la mayor parte de los autores resaltan la disminución de la percolación del agua a mayor contenido de fragmentos gruesos en el interior del suelo. Sin embargo la controversia aparece cuando se trata de la influencia en las propiedades hidráulicas de los fragmentos de roca situados en la superficie del suelo. Numerosos estudios encuentran un incremento de la infiltración a mayor contenido en fragmentos gruesos (Grant y Struchtemeyer, 1959; Jung 1960; Seginer et al., 1962; Colliner y Valentin, 1979; Collinet, 1988; Simanton et al., 1984). Algunos investigadores proponen aplicar fragmentos gruesos en la superficie de los suelos como un manto protector al impacto de las gotas de lluvia y de esta forma impedir la compactación superficial y consecuentemente la impermeabilización. Según Ravina y Magier (1984) los fragmentos gruesos situados en los primeros 20 cm del suelo contribuyen a mejorar las propiedades físicas aumentando la porosidad y la conductividad hidráulica; en este sentido actúan como un "esqueleto" que dificulta la compactación del suelo. Sin embargo otros autores encuentran una relación negativa entre el contenido de fracción gruesa en superficie y la infiltración (Tromble et al., 1974; Blackburn, 1975; Wilcox et al., 1988; Casenave y Valentin, 1992). Varios estudios han intentado aclarar estos resultados contradictorios (Wilcox et

al., 1988; Valentin, 1994; Brakensiek y Rawls, 1994). Se ha sugerido que en áreas secas, sin protección de la vegetación, el impacto de las gotas de lluvia provoca una compactación e impermeabilización en la capa superficial del suelo, disminuyendo la infiltración, mientras que en zonas húmedas, con cubierta vegetal, esto no sucedería. De nuevo Abrahams y Parsons (1991) relacionan el efecto de la capa superficial de gravas en la infiltración con la presencia de una cubierta vegetal arbustiva; donde existía esta cubierta se obtenía un mayor contenido en arena, en materia orgánica y una mayor macroporosidad debido a la acción de la fauna edáfica y, por lo tanto, existía un mayor infiltración; en los espacios libres de arbustos se obtenía una mayor erosión y en general una disminución de la infiltración por cementación e impermeabilización.

Además Wilcox et al. (1988) encuentran diferencias en el grado de infiltración según el tamaño de los fragmentos gruesos, a mayor tamaño habría una mayor infiltración.

Estos resultados ilustran la importancia de las características superficiales del suelo en la dinámica del agua. Por otro lado enfatizan la necesidad de estudiar cuidadosamente los rasgos morfológicos antes de realizar predicciones de infiltración a partir de las características del suelo.

Efecto sobre la erosión del suelo

Desde los primeros estudios se ha señalado el efecto protector de los fragmentos gruesos sobre la erosión hídrica del suelo (Louderswilck y Sundling, 1950; Meyer et al., 1972; Box, 1981; Chow et al., 1992; Chow y Ress, 1995). En este sentido se han indicado tanto efectos directos como indirectos, muchos de los cuales están relacionados con los procesos hidrológicos y ya han sido señalados en el capítulo anterior. Como influencia directa se encuentra la protección de las superficies de los suelos contra los impactos del agua de lluvia y la disminución de la escorrentía superficial. Los efectos indirectos

más importantes serían de diversa naturaleza: 1) efecto sobre las propiedades físicas de la tierra fina (e.j. porosidad, contenido en materia orgánica); 2) efectos sobre la degradación física del suelo (compactación, impermeabilización superficial); 3) efecto sobre los procesos de infiltración y percolación. Sin embargo, otros trabajos señalan que la relación entre la presencia de una cubierta de fragmentos gruesos y la erosión hídrica no es única y que las variaciones dependen de ciertas características edáficas (Farres y Smith, 1988; Rostagno, 1989; Merzouk y Blake, 1991). Los principales factores que condicionarán esta respuesta son: la estructura de la superficie del suelo (Poesen e Ingelmo-Sanchez, 1992), la posición vertical de los fragmentos gruesos en el suelo (Poesen et al., 1990), el tamaño de los fragmentos gruesos (Grant y Struchtemeyer, 1959; Poesen y Lavee, 1991), y la pendiente superficial (De Ploey, 1981).

Más recientemente, Poesen et al. (1994), han realizado una revisión de los efectos de los fragmentos gruesos sobre la erosión hídrica del suelo. Este estudio se llevó a cabo en tres escalas espaciales: microparcela (4×10^{-6} - 10^0 m²), mesoparcela (10^{-2} - 10^2 m²) y macroparcela (10 - 10^4 m²). Estos autores señalan efectos ambivalentes de los fragmentos gruesos en la escala de mesoparcela que dependerían de los factores señalados anteriormente (posición y tamaño de los fragmentos gruesos, pendiente etc.). En las escalas de micro y macroparcela, los fragmentos gruesos reducirían la erosión y se considerarían como estabilizantes naturales de la superficie del suelo. La formación de pilares de tierra a nivel de microparcela indicaría la eficacia de esta protección. A nivel de macroparcela, la reducción de la erosión sería atribuida a procesos tales como: protección contra el impacto de las gotas de lluvia y contra el flujo de materiales; reducción de la degradación física (rotura de agregados, impermeabilización superficial y compactación) y disminución de

la velocidad de flujo de escorrentía. Estos procesos se sobrepondrían a las variaciones obtenidas a nivel de mesoparcela y podrían explicar los resultados contradictorios encontrados en la literatura.

En cuanto a la erosión eólica, se ha señalado que una cubierta superficial de fragmentos gruesos reduce la erosión del suelo al proteger las superficies situadas inmediatamente bajo los fragmentos contra la deflación. Sin embargo elementos que causan irregularidades en la superficie del suelo como es el caso de los fragmentos gruesos pueden incrementar la turbulencia del flujo del aire y, así, afectar a la velocidad del viento crítica a partir de la cual se mueven las partículas (Lyles et al., 1971). En este sentido, según Poesen y Lavee (1994), también existe un efecto ambivalente de los fragmentos gruesos sobre la erosión del suelo por el viento. Cuando la cubierta de gravas es poco densa se obtendría una reducción del nivel crítico de velocidad del viento a partir del cual empieza la erosión (límite de deflación) al compararlo con el suelo desnudo. Contrariamente, una alta densidad de fragmentos gruesos aumentaría el límite de deflación y serviría como protectora de la superficie del suelo. Para un determinado tamaño y morfología de los fragmentos gruesos existe un valor mínimo de densidad de la cubierta superficial a partir del cual estos fragmentos gruesos protegerían de la erosión eólica. Este valor aumenta linealmente con el tamaño del clasto (Logie, 1982).

Efecto sobre las propiedades térmicas del suelo.

Varios autores han encontrado que la presencia de fragmentos gruesos en un suelo seco aumenta la difusión térmica (relación entre la conductividad térmica y la capacidad calorífica); en suelos saturados se observaba un efecto contrario (Childs y Flint, 1990; Grass, 1994; Nachtergaele et al., 1998). Así, en primavera, los suelos esqueléticos se enfriarían más rápidamente que los suelos libres de fragmentos de roca, mientras que en

verano los primeros pueden alcanzar temperaturas muy elevadas y mantenerlas durante largo tiempo con el consiguiente daño sobre la vegetación.

Juri y Bellantuoni (1976) han destacado pequeñas variaciones de temperatura en el suelo causadas por la presencia de fragmentos gruesos. Durante el periodo cálido, la temperatura bajo un fragmento de roca aislado es menor que la del suelo seco adyacente; el grado de variación entre ambas fracciones depende del color del clasto y de su tamaño. Este hecho provoca la aparición de un flujo de humedad desde el suelo adyacente hacia la parte inferior de los fragmentos gruesos, donde se acumularían la flora y fauna durante los periodos secos.

Efecto sobre la productividad de los suelos

La mayor parte de los efectos de los fragmentos gruesos en la productividad han sido atribuidos a su influencia sobre las propiedades físicas del suelo. Como se ha visto en los apartados anteriores esta influencia varía según las características del suelo; respecto a la producción, la respuesta variará además dependiendo del tipo de cultivo. Se han señalado efectos positivos sobre la producción debido al aumento de la infiltración, de la temperatura, de la irradiación nocturna y del agua disponible, así como a la disminución de la compactación y de la erosión (Adams, 1967; Saini y Grant, 1980; Saini, 1970; Kosmas et al., 1994; Burnham y Mutter, 1993; Unger, 1971; Fairbourn 1973; van Wesemael et al., 1995; Nachtergaele, 1998). Los efectos negativos más frecuentemente citados se relacionan con la reducción del espacio radical, la disminución de la capacidad de almacenamiento total de agua y del contenido de nutrientes e incremento excesivo de la temperatura del suelo (Pedersen et al., 1980; Munn et al., 1987). Poesen y Lavee (1994), basándose en las investigaciones acerca del tema, señalan que aunque la relación entre fragmentos gruesos y producción

es compleja, se pueden extraer algunas conclusiones:

1- Los fragmentos gruesos parecen ejercer un efecto más beneficioso en suelos arcillosos que en suelos arenosos.

2- La proporción óptima de fragmentos de roca oscilaría entre un 10-30% en volumen; a mayores contenidos comenzarían a afectar adversamente al crecimiento vegetal (restricción de espacio para las raíces, aumento excesivo de la temperatura del suelo y disminución del contenido en nutrientes del suelo).

3- Los fragmentos de roca parecen crear un ambiente más favorable para el crecimiento de la planta en condiciones climáticas secas.

En este sentido, Munn et al. (1987) presentan las variaciones de los índices de productividad dependiendo del clima y de la vegetación en suelos pedregosos y no pedregosos. En general, en climas húmedos se observa una mayor productividad en suelos de textura fina, sin embargo en regiones áridas los suelos pedregosos parecen ser más productivos debido a la mayor penetración de la escasa precipitación y, si los fragmentos gruesos se encuentran en superficie, a su efecto sobre disponibilidad de agua. Unger (1971) presenta datos de producción de forraje en un ambiente árido en función de la profundidad de la capa de gravas en el perfil. En general se observa un incremento de la producción en las parcelas con fragmentos gruesos respecto al control, especialmente si éstos se encuentran en superficie.

EFFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO

Aunque los estudios sobre los efectos de las propiedades químicas de los fragmentos gruesos en el suelo han sido escasos, su importancia siempre ha sido intuída. Ya en el siglo pasado comenzó el interés por el uso de las rocas como fertilizantes (Magnus, 1850;

Missoux, 1853; Aitken, 1887). Keller (1948) ha sido uno de los primeros científicos modernos en investigar este aspecto. Chesworth et al. (1983) llaman la atención de nuevo sobre este tema, indicando que el uso de materiales rocosos como fertilizantes, en regiones donde la alteración es elevada, podría ser interesante desde el punto de vista económico, permitiendo el ahorro de fertilizantes químicos. Estos autores señalan su uso desde hace 200 años en las Islas Canarias; en esta zona las rocas volcánicas se usan tanto para fertilizar como para retener la humedad. En la actualidad se sigue profundizando en este tema y varios autores han estudiado la liberación potencial de nutrientes por los fragmentos gruesos de naturaleza variada (Hinsinger y Jaillard, 1993; Bakken et al., 1997).

El paso de los elementos nutritivos desde los fragmentos gruesos a las plantas se realizaría a través de la disolución de los minerales después de la rotura y alteración de la fracción gruesa. Sin embargo varios trabajos ponen en discusión la necesidad de la rotura física de los fragmentos gruesos al encontrar una relación íntima entre la raíz y la roca (Oppenheimer et al., 1957; Jones y Graham, 1993; Zwiemiecki y Newton, 1994; Wang et al., 1995); de esta forma la raíz sería capaz de aprovechar las disoluciones que se encuentran en las fisuras de las rocas. Más aún, Jongmans et al. (1997) ponen en entredicho la importancia de la disolución del suelo en la toma de nutrientes. Estos autores encuentran, en el interior de feldespatos y hornblendas, numerosos poros tubulares formados por ácidos orgánicos exudados por hongos. El hecho de que las micorrizas tomen los nutrientes directamente de los minerales cambiaría la idea tradicional del papel de la disolución del suelo; ésto podría explicar porque no ha disminuído la productividad de los bosques en Europa en los últimos años a pesar de la excesiva acidificación de los suelos y reforzar la importancia de los fragmentos gruesos en la nutrición vegetal.

Otros autores han estudiado algunas propiedades químicas de la arena y de la fracción mayor de 2 mm y las han comparado con las de fracciones más finas (Ugolini, 1964; Tedrow, 1966; Rivard y Kimpe, 1980; Monaci y Ugolini 1991, 1992; Weaver et al., 1992). Los datos muestran contenidos elevados de carbono y alta capacidad de retención de fósforo en los fragmentos de roca; la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de esta fracción en algunos casos representa más del 60% de la CIC total del suelo. Estas propiedades son atribuidas principalmente a la adsorción de ácidos orgánicos en los poros de los clastos.

Posteriormente Ugolini et al. (1996, 1998) han estudiado química y mineralógicamente la fracción mayor de 2 mm en suelos sobre areniscas de Italia. Los resultados

muestran una transformación de vermiculita y esmectita, presentes en los fragmentos gruesos, en vermiculitas y esmectitas hidroxialumínicas (HIV y HIS). La disolución y transformación de minerales crea huecos y aumenta la porosidad de esta fracción. Estos huecos se llenan con disoluciones que se enriquecen en C y N y representan un almacén de nutrientes. Así, la porosidad, CIC y el contenido de C y N dependen del grado de alteración de estos fragmentos gruesos y, en muchos casos, igualan o superan a los obtenidos en la tierra fina (Cuniglio, 1998). Excluyendo el contenido de estos elementos que se encuentran en la fracción mayor de 2 mm, obtendríamos unos valores no reales con los consiguientes errores en el cálculo del balance de C, N y de nutrientes (Tabla 1). Deutshmann et al. (1997) han llegado a simi-

TABLA 1. Contenido en C orgánico, N total y capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE) expresados en base volumétrica en dos suelos sobre areniscas del centro de Italia (Vallombrosa, Toscana). (Fuente: Ugolini et al., 1998).

Perfil	C orgánico			N total			CICE		
	TF	EI	ER	TF	EI	ER	TF	EI	ER
	gr dm ⁻³			cmol(+) dm ⁻³					
<i>Cavalla</i>									
A1	39,0	35,4	37,0	2,8	2,6	2,7	7,3	6,7	7,7
A2	22,2	20,2	21,9	1,5	1,4	1,5	4,5	4,1	4,8
Bw1	11,1	9,7	10,2	1,1	0,9	1,1	4,3	3,7	4,7
Bw2	4,7	3,8	4,2	0,7	0,5	0,6	4,5	3,6	4,8
BCb1	3,8	1,7	3,2	0,8	0,3	0,9	6,9	3,0	8,0
BCb2	3,9	2,2	2,7	0,7	0,4	0,6	9,3	5,3	9,2
CBb	5,5	1,7	1,8	0,7	0,2	0,4	5,2	1,6	4,2
Cb	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,8
<i>Buca</i>									
A1	48,7	44,8	50,0	3,1	2,9	3,2	9,5	8,8	10,1
A2	19,5	16,7	18,2	1,1	1,0	1,1	2,1	1,8	2,5
BA	18,9	16,4	16,7	1,1	1,0	1,0	1,4	1,2	1,8
Bw	15,2	12,9	13,3	0,9	0,8	0,8	2,0	1,7	2,3
BC1	6,9	3,8	4,3	0,7	0,4	0,6	2,5	1,3	3,7
BC2	4,2	3,1	3,5	0,8	0,6	0,7	2,8	2,1	3,0

TF: suelo considerado únicamente como tierra fina

EI: suelo considerado como tierra fina y esqueleto inerte

ER: suelo considerado como tierra fina y esqueleto reactivo ("condición real")

lares conclusiones poniendo en relación la alta CIC de varios tipos de roca con la porosidad.

Dada la dificultad del estudio de los fragmentos gruesos y de su comparación con la tierra fina, Corti et al., (1997, 1998a) han propuesto y aplicado un método para obtener clases homogéneas de fragmentos gruesos para su posterior análisis. Según estos autores la fracción gruesa del suelo presenta propiedades que difieren de la roca fresca y de la tierra fina; estas propiedades dependen del grado de alteración de los fragmentos gruesos y han sido adquiridas por alteración y por procesos edafológicos. Por ello usan diferentes características de los fragmentos gruesos (color, asperezas e irregularidades superficiales....) para separarlos en clases de alteración. El método propuesto permite la división en 3 clases que se diferencian química y físicamente de manera significativa. Corti et al. (1998b) inciden en las propiedades químicas de los fragmentos gruesos y en su utilización para revelar la historia pedogenética de los suelos. Dado que esta fracción mantiene por más tiempo la impronta de los eventos que han contribuido a la formación del suelo, se trataría del componente edáfico más adecuado para la reconstrucción histórica de los suelos.

Aunque todavía se mantiene la idea tradicional de la escasa importancia química de los fragmentos gruesos, estos trabajos han conseguido que se abriesen nuevas líneas de investigación en este tema. Actualmente se está estudiando su capacidad de almacenaje y de liberación de cationes básicos (Kohler et al., en prensa) y de $N-NH_4$ (Corti et al., en prensa). Berna et al. (1999) han puesto de manifiesto la propiedad de retención de metales pesados por parte de los fragmentos gruesos y la posibilidad de utilizarlos como filtros de aguas residuales. Otro tema que se está abordando es la caracterización y cuantificación de las sustancias húmicas en los fragmentos gruesos (Agnelli et al., en prensa); los resultados señalan diferencias estructurales

entre las sustancias húmicas de esta fracción y las de la tierra fina, obteniéndose un mayor número de cadenas alifáticas y mayor sustitución de los compuestos aromáticos presentes en los ácidos húmicos de la fracción gruesa. Por otro lado, se están investigando las modificaciones provocadas por la actividad radical en esta fracción. Los primeros resultados (Fernández-Sanjurjo et al., 1999) muestran una mayor proporción de fragmentos gruesos en la zona rizosférica; se observa una mayor acidez y un mayor acúmulo de C tanto en la tierra fina como en la fracción gruesa debido a la actividad de las raíces. Esto pondría de nuevo en evidencia la importancia de los fragmentos gruesos en la nutrición vegetal.

CONCLUSIONES

A partir de los estudios realizados sobre los efectos físicos de la fracción gruesa en el suelo, se puede señalar que su presencia afecta a procesos tales como infiltración, erosión, difusión térmica, almacenamiento de agua, volumen de las raíces etc., por ello influye en la intensidad de alteración, respuesta hidrológica y productividad del suelo. El tipo y la intensidad de las modificaciones dependen de numerosos factores internos y externos (posición y tamaño de los fragmentos gruesos, pendiente, macroporosidad, clima y vegetación...) por lo que se hace necesario un estudio particular de cada situación.

En los últimos años el interés por las propiedades químicas de los fragmentos gruesos ha ido en aumento. Se ha visto que esta fracción presenta una porosidad, contenido en C, N y cationes de cambio sorprendentemente altos, que dependen fundamentalmente del grado de alteración del clasto. Esto significa que no en todos los casos se trata de una fracción químicamente inerte, como se consideraba tradicionalmente, y que su influencia en los procesos de intercambio iónico, balance de elementos y en la productividad del suelo puede ser importante. Según estos resultados,

la eliminación sistemática y sin estudio previo de los fragmentos gruesos de los campos de cultivo podría ser perjudicial en algunas situaciones, al contrario de lo que se consideraba en las técnicas agrícolas convencionales.

Aunque estos estudios han profundizado en las propiedades químicas de los fragmentos gruesos, y han abierto nuevas líneas de investigación, la falta de conocimientos en este campo es evidente. Algunos de los aspectos que sería interesante tratar en un futuro estarían relacionados con los procesos bioquímicos y microbiológicos en la fracción gruesa y, sobre todo, con las interacciones fragmentos gruesos-planta.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Prof. Fiorenzo Ugolini y a su grupo de trabajo por iniciarme en este tema y poner a mi disposición gran parte de la información incluida en este artículo. Al Dr. Giuseppe Corti y al Dr. Prof. Eduardo García-Rodeja por la revisión del artículo.

Este trabajo se ha realizado durante el periodo de disfrute de una beca *Marie Curie* de la Comunidad Europea.

REFERENCIAS

- Abrahams, A.D.; Parsons, A.J. (1994). Hydraulics of interrill overland flow on stone-covered desert surfaces. *Catena*, **23**, 111-140.
- Adams, J.E. (1967). Effect of mulches on soil temperature and grain soybean development. *Agron. J.*, **57**, 471-474.
- Agnelli, A.; Celi, L.; Degl'Innocenti, A.; Corti, G.; Ugolini, F.C. (1999) Chemical and spectroscopic characterization of the humic substances from sandstone rock fragments. *Soil Sci.* (aceptado)
- Aitken, A.P. (1887). Ground feldspar as a potash manure. *Transactions Highland Society. Scotland*, **19**, 253-261.
- Bakke, A.K.; Gautneb, H.; Myhr, K. (1997). The potential of crushed rocks and mine tailings as slow-releasing K fertilizers assessed by intensive cropping with Italian ryegrass in different soil types. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **47**, 41-48.
- Berna, F.; Corti, G.; Ugolini, F.C.; Agnelli, A. (1999). Valutazione del ruolo dello scheletro nella ritenzione di metalli pesanti in suoli desertici coltivati della Giordania. Conferenza Organizativa, Inquinamento del suolo da metalli pesanti. Sassari-Cerdeña, Italia. 6-7 Mayo 1999.
- Beven, K.; Germann, P. (1982). Macropores and water flow in soils. *Water Resour. Res.*, **18**(5), 1311-1325.
- Blackburn, W.H. (1975). Factors influencing infiltration and sediment production of semiarid rangelands in Nevada. *Water Resour. Res.*, **11**, 929-937.
- Box, J. (1981). The effects of surface slaty fragments on soil erosion by water. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **45**, 111-116.
- Brakensiek, D.L.; Rawls, W.J. (1994). Soil containing rock fragments: effects on infiltration. *Catena*, **23**(1-2), 99-110.
- Burnham, C.P.; Mutter, G.M. (1993). The depth and productivity of chalky soils. *Soil Use Manage.*, **9**, 1-8.
- Casenave, A.; Valentín, C. (1992). A runoff capability classification system based on surface features criteria in the arid and semi-arid areas of West Africa. *J. Hydrol.*, **130**, 231-249.
- Collinet, J. (1988). Etude expérimentale de l'érosion hydrique des sols représentatifs de l'Afrique de l'Ouest. 1. Présentation des sites expérimentaux. Méthode et identification des processus élémentaires. Analyse et comparaison des régimes de ruissellement. *Cah. ORSTOM, Sér. Péd.*, **24**, 235-254.
- Collinet, J.; Valentín, C. (1979). Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles

- perspectives. Applications agronomiques. *Cah. ORSTOM, Ser. Pedol.*, **17**, 283-328.
- Constanz, J.; Herkelrath, W.; Murphy, F. (1988). Air encapsulation during infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **52**, 10-16.
- Corti, G.; Agnelli, A.; Ugolini, F.C. (1997). Release of Al by hydroxy-interlayered vermiculite and hydroxy-interlayered smectite during determination of cation exchange capacity in fine earth and rock fragments fractions. *Eur. J. Soil Sci.*, **48**, 249-262.
- Corti, G.; Ugolini, F.C.; Agnelli, A. (1998a). Classing the soil skeleton (greater than two millimeters): Proposed approach and procedure. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **62**(6), 1620-1629.
- Corti, G.; Agnelli, A.; Certini, G.; Ugolini, F.C. (1998b). Pedogenetic history revealed by study of the soil skeleton in soils of the Vallombrosa Forest, Italy. Proceedings of the XVI World Congress of Soil Science, 20-26 August 1998. Montpellier, France, CD-ROM.
- Corti, G.; Agnelli, A.; Ugolini, F.C. (1999). A modified kjeldahl procedure for determining strongly fixed $\text{NH}_4\text{-N}$. *Eur. J. Soil Sci.*, **50**:523-534.
- Cuniglio, R. (1998). *La frazione grossolana nei suoli agrari. Studio di quattro suoli coltivati a vite in Toscana*. Tesis de Licenciatura. Università degli Studi di Firenze, Italia.
- Chesworth, W.; Macías-Vázquez, F.; Acquaye, D.; Thompson, E. (1983). Agriculture alchemy: Stones into Bread. *Episodes*, n° 1, 3-7.
- Childs, S.W.; Flint, A.L. (1990). Physical properties of forest soils containing rock fragments: effects on infiltration. En: *Sustained Productivity of Forest Soils*. P. Gessel, D.S. Weetman y R.F. Powers, eds. Univ. of British Columbia, Fac. of Forestry Publ., Vancouver, B.C., 95-121.
- Chow, R.L.; Ress, H.W. (1995). Effects of coarse fragment content and size on soil erosion under simulated rainfall. *Can. J. Soil Sci.*, **75**, 227-232.
- Chow, T.L., Rees, H.W.; Moodie, R.L. (1992). Effects of stone removal and stone crushing on soil properties, erosion and potato quality. *Soil Sci.*, **153**(3), 242-249.
- De Ploey, J. (1981). The ambivalent effects of some factors of erosion. *Mém.Inst. Géol. Louvain*, **31**, 171-181.
- Deutshmann, G.; Rummenhohl, H.; Tarrach, J. (1997). Die bestimmung der effektiven kationenaustauschkapazität von Gesteinen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, **160**, 151-155.
- Dunn, A.J.; Mehuys, G. (1984). Relationship between gravel content of soils and saturated hydraulic conductivity in laboratory tests. En: *Erosion and Productivity of Soil Containing Rock Fragments*. J.D. Nichols, P.L. Brown, W.J. Grant (eds.). Soil Sci. Soc. Am. Special Publ., n° 13, Madison, Wi, USA, 55-63.
- Fairbourn, M.L. (1973). Effect of gravel mulch on crop yields. *Agron. J.*, **65**, 925-928.
- Farres, P.; Smith, G. (1988). The potential use of digital image processing in geomorphology: erosion of stony soils, a case study. *Catena*, **15**, 119-126.
- Fernández-Sanjurjo, M.J.; Corti, G.; Ugolini, F.C. (1999). Cambios químicos y mineralógicos en la fracción fina y gruesa de un suelo volcánico en función de la distancia a la raíz. *Agrochimica* (enviados)
- Fies, J. (1971). Recherche d'une interprétation texturale de la porosité des sols. *Ann. Agron.*, **23**(3), 655-685.
- Flint, A.; Childs, S. (1984). Physical properties of rock fragments and their effect on available water in skeletal soils. En: *Erosion and Productivity of Soil Containing Rock Fragments*. J.D. Nichols, P.L. Brown, W.J. Grant, ed. Soil Sci. Soc. Am. Special Publ., n° 13, Madison, Wi, USA, 91-103.

- Grant, W.J.; Struchtemeyer, R.A. (1959). Influence of the coarse fraction in two Maine potato soils on infiltration, runoff and erosion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **23**, 391-394.
- Grass, R. (1994). *Sols caillouteux et production végétale*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.
- Hinsinger, P.; Jaillard, B. (1993). Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. *J. Soil Sci.*, **44**, 525-534.
- Ingelmo, F.; Cuadrado, S.; Ibañez, A.; Hernández, J. (1994). Hydric properties of some Spanish soils in relation to their rock fragment content: implications for runoff and vegetation. *Catena*, **23**(1-2), 73-86.
- ISRIC, (1994). *Directive pour la description des sols*. 3^e édition (révisée). Centre International de Référence et d'Information pédologique. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Rome, Italy.
- Jones, D.P.; Graham, R.C. (1993). Water-holding characteristics of weathered granitic rock in chaparral and forest ecosystems. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, **57**, 256-261.
- Jongmans, A.G.; van Breemen, N.; Lundström, U.; van Hees, P.A.W.; Finlay, R.D.; Srinivasan, M.; Unestam, T.; Giesler, R.; Melkerud, P.A.; Olsson, M. (1997). Rock-eating fungi. *Nature*, **389**, 682-683.
- Jung, L. (1960). The influence of the stone cover on runoff and erosion on slate soils. *Int. Assoc. Sci. Hydrol.*, **53**, 143-153.
- Juri, W.A.; Bellantuoni, B. (1976). Heat and water movement under surface rocks in a field soil: I. Thermal effects; II. Moisture effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **40**, 505-513.
- Keller, W.D. (1948). Native rocks and minerals as fertilizers. *Science Monthly*, **66**, 122-130.
- Kohler, M.; Wilpert K.V.; Hildebrand, E.E. (1999). The soil skeleton as a source for the short-term supply of "basic" in forest soils of the Black forest (Germany). *Water, Air Soil Poll.* (en prensa).
- Kosmas, C.; Moustakas, N.; Danalatos, N.G.; Yassoglou, N. (1994). The effect of rock fragments on wheat biomass production under highly variable moisture conditions in Mediterranean environments. *Catena*, **23**, 191-198.
- Logie, M. (1982). Influence of roughness elements and soil moisture on the resistance of sand to wind erosion. *Catena Suppl.*, **1**, 161-173.
- Louderwilk, W.C.; Sundling, H.L. (1950). Erosion pavement, its formation and significance. *Trans. Am. Geophys Union*, **31**, 96-100.
- Lyles, L.; Disrud, L.A.; Krauss, R.K. (1971). Turbulence intensity as influenced by surface roughness and mean velocity in a wind-tunnel boundary layer. *Trans. ASAE*, **14**, 285-289.
- Magnus, G. (1850). Über die Ernährung der Pflanzen. *Journal Praktische Chemie*, **50**, 65-75.
- McCormack, D.E.; Young, K.K.; Darby, G.M. (1984). Rock fragments and the K factor of the Universal Soil Loss Equation. En: *Erosion and Productivity of Soil Containing Rock Fragments*. J.D. Nichols, P.L. Brown, W.J. Grant, ed. Soil Sci. Soc. Am. Special Publ., n° 13, Madison, Wi, USA, 66-73.
- Merzouk A. y Blake G.R. 1991. Indices for the estimation of interrill erodibility of Moroccan soils. *Catena*, **18**, 537-550.
- Meyer, L.; Johnson, C.; Foster, G. (1972). Stone and woodchip mulches for erosion control on construction sites. *J. Soil Water Conserv.*, **27**, 264-269.
- Missoux, P. (1853). *Sur l'emploi de la poudre des roches granitiques comme excitant de la végétation*. Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, vol. 36, 1136 p.

- Monaci, F.; Ugolini, F.C. (1991). Capacità di scambio della frazione grossolana, "scheletro", in suoli derivati da Macigno del Chianti. Atti del IX Convegno Nazionale Società Italiana di Chimica Agraria. Torino, 9-12 Settembre 1991.
- Monaci, F.; Ugolini, F.C. (1992). Nuovo approccio allo studio del suolo, valutazione analitica su base volumetrica. Atti del X Convegno Nazionale Società Italiana di Chimica Agraria. Roma, 15-18 Settembre 1992.
- Munn, L.; Harrington, N.; McGirr, D.R. (1987). Rock fragments. En: *Reclaiming mine soils and overburden in the western United States. Analytical parameters and procedures*. R.D. Williams y G. E. Shuman, ed. Soil Conservation Society of America, Ankeny, IA, USA, 259-282.
- Nachtergaele, J.; Poesen, J.; van Wesemael, B. (1998). Gravel mulching in vineyards of southern Switzerland. *Soil Till. Res.*, **46**, 51-59.
- Nettleton, W.; Gamble, E.; Allen, B.; Borst, G.; Peterson, F. (1989). Relic soils of subtropical regions of the United States. *Catena Suppl.*, **16**, 59-93.
- Nichols, J.D.; Brown, P.L.; Grant, W.J. ed. (1984). *Erosion and productivity of soils containing rock fragments*. Soil Sci. Soc. Am. (Special Publ. No. 13). Madison, WI, USA.
- Oppenheimer, H.R. (1957). Further observations on roots penetrating into rocks and their structure. *Bull. Res. Isr. Sect. D Bot.*, **6**, 18-31.
- Pedersen, T.A.; Rogowski, A.S.; Pennock, R. (1980). Hydraulic properties of some soils with paralithic contacts. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**, 1355-1359.
- Poesen, J. (1990). Erosion process research in relation to soil erodibility and some implications for improving soil quality. En: *Soil degradation and rehabilitation in Mediterranean environmental conditions*. J. Albadalejo, M.A. Stocking y E. Díaz, ed. C.S.I.C., Murcia, Spain, 150-170.
- Poesen, J.; Lavee, H. (1991). Effects of size and incorporation of synthetic mulch on runoff and sediment yield from interrills in a laboratory study with simulated rainfall. *Soil Tillage Res.*, **21**, 209-223.
- Poesen, J.; Ingelmo-Sánchez, F. (1992). Runoff and sediment yield from topsoils with different porosity as affected by rock fragment cover and position. *Catena*, **19**, 451-474.
- Poesen, J.; Lavee, H. (1994). Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena*, **23**(1-2), 1-28.
- Poesen, J.; Torri, D.; Bunte, K. (1994). Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *Catena*, **23**(1-2), 141-166.
- Ravina, I.; Magier, J. (1984). Hydraulic conductivity and water retention of clay soils containing coarse fragments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**, 736-740.
- Rivard, R.; de Kimpe, C.R. (1980). Propriétés de quelques sols riches en graviers dans la région de Québec. *Can. J. Soil Sci.*, **60**, 263-273.
- Rohdenburg, M.C. (1977). Beispiele für Holozäne Flächenbildung in Nord- und Westafrika. *Catena*, **4**, 65-109.
- Rostagno, C.M. (1989). Infiltration and sediment production as affected by soil surface conditions in a shrubland of Patagonia, Argentina. *J. Range Manage.*, **42**, 382-385.
- Saini, G.R. (1970). Further studies on the effect of stones on potato yields. *Am. Potato J.*, **47**, 227-228.
- Saini, G.R.; Grant, W.J. (1980). Long-term effects of intensive cultivation on soil quality in the potato-growing areas of New Brunswick (Canada) and Maine (USA). *Can. J. Soil Sci.*, **60**, 421-428.
- Seginer, I.; Morin, J.; Sachori, A. (1962). Runoff and erosion studies in a mountainous terra-rossa region in Israel. *IAHS Bull.*, **7**, 79-92.

- Shaw, C. (1929). Erosion pavement. *Geogr. Rev.*, **19**, 638-641.
- Simanton, J.R., Rawitz, E.; Shirely, E.D. (1984). Effects of rock fragments on erosion of semiarid rangeland soils. En: *Erosion and Productivity of Soil Containing Rock Fragments*. J.D. Nichols, P.L. Brown, W.J. Grant, ed. Soil Sci. Soc. Am. Special Publ., n° 13, Madison, Wi, USA, 65-72.
- Stuart, D.; Dixon, R. (1973). Water movement and caliche formation in layered arid and semiarid soils. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.*, **37**(2), 323-324.
- Tedrow, J.C. (1966). Properties of sand and silt fractions in New Jersey soils. *Soil Sci.*, **101**, 24-30.
- Tromble, J.M.; Renard, K.G.; Thatcher, A.P. (1974). Infiltration for three rangeland soil-vegetation complexes. *J. Range Manage.*, **27**, 318-321.
- Ugolini, F.C.; Corti, G.; Agnelli, A.; Piccardi, F. (1996). Mineralogical, physical and chemical properties of rock fragments in soil. *Soil Sci.*, **161**(8), 521-542.
- Ugolini, F.C.; Corti, G.; Agnelli, A.; Certini, G. (1998). Under and overestimation of soil properties in stony soils. Proceedings of the XVI World Congress of Soil Science, 20-26 August 1998. Montpellier, France, CD-ROM.
- Ugolini, F.C. (1964). *Soil development on the red beds of New Jersey*. Wm. L. Hutcheson Memorial Forest Bull. No.2. Rutgers Univ., New Brunswick, N.J. USA.
- Unger, P. (1971). Soil profile gravel layers: II. Effect on growth and water use by a hybrid forage sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **35**, 980-983.
- Valentin, C. (1994). Surface sealing as affected by various rock fragment covers in West Africa. *Catena*, **23**(1-2), 87-98.
- Wang, Z.Q.; Newton, M.; Tappeiner, J.C. (1995). Competitive relations between Douglas-Fir and Pacific Madrone on shallow soils in a Mediterranean climate. *Forest Sci.*, **41**, 744-757.
- Weaver, D.M.; Ritche, G.S.P. (1992). Phosphorous sorption by gravels in lateritic soils. *Aust. J. Soil Res.*, **30**, 319-330.
- Wesemael van, B.; Poesen, J.; Kosmas, C.S.; Danalatos, N.G.; Nachtergaele, J. (1996). Evaporation from cultivated soils containing rock fragments. *J. of Hydrology*, **182**, 65-82.
- Wilcox, B.P.; Wood, M. K.; Tromble, J.M. (1988). Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *J. Range Manage.*, **41**, 197-206.
- Zwiemiecki, M.A.; Newton, M. (1994). Roots growing in rock fissures: their morphological adaptation. *Plant and Soil*, **172**, 181-187.