

ANÁLISIS DE UNA CRONOSECUENCIA DE SUELOS

Ortiz, I., Martín, F. Dorronsoro, C. y Simón, M.

Dpto. de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Univ. de Granada

RESUMEN. Estudiamos una secuencia de cuatro suelos enterrados localizados en Nigüelas (sur de Granada), cuya formación debió de tener lugar a lo largo del Cuaternario. En todos ellos se desarrolla un horizonte Bt de color rojo, pero de diferente grado de evolución que debe reflejar las variaciones climáticas de cada episodio. Cuando estos episodios se superponen en un suelo de superficie, el grado de desarrollo del suelo se corresponde con el del episodio de máxima evolución, borrándose los rasgos de los episodios menos intensos; de forma que al estimar la edad del suelo por su grado de evolución, solamente se reflejaría la duración del episodio de máxima evolución y no la del suelo en su conjunto.

INTRODUCCIÓN

Según Jenny (1941), el desarrollo del suelo es función del clima, organismos, material original, relieve y tiempo. Estos factores formadores controlan el tipo e intensidad de los procesos edafogénicos, al tiempo que gobiernan también los procesos geomorfológicos; de ahí que la evolución del paisaje esté relacionada íntimamente con el desarrollo de los suelos (McFadden and Kneupfer, 1990). El grado de desarrollo de los suelos se han utilizado para datar su edad (Levine and Ciolkosz, 1983; Harden, 1982, Harrison et al., 1990) y, en consecuencia, la de la superficie sobre la que se forman (Semmel, 1989). En cualquier caso, estas relaciones serían ciertas siempre que las condiciones climáticas permanecieran relativamente estables durante el periodo de desarrollo del suelo, lo cual ha sido cuestionado por Yaalon (1975), ya que afirma que es imposible mantener los factores formadores invariables a lo largo del tiempo de desarrollo de los suelos. Morrison (1963) y Simón et al. (2000) llegan a la conclusión de que los suelos se han podido formar durante diferentes episodios edafogénicos, separados en el tiempo por episodios morfogénicos (erosión-deposición), y en los que las condiciones climáticas de cada episodio han podido experimentar importantes cambios.

Nuestro objetivo es estudiar una serie de suelos enterrados, a fin de avanzar en el conocimiento de la génesis y evolución de los suelos a lo largo del tiempo.

MATERIAL Y MÉTODOS

La serie de suelos enterrados se localiza en Nigüelas (sur de Granada). En el sector estudiado, el Río Torrente ha ido depositando materiales a lo largo del Cuaternario, hasta colmar la cuenca. Los materiales procedían fundamentalmente del Nevado-Filábride de Sierra Nevada (micasquistos y cuarcitas), mezclados en una pequeña proporción con materiales carbonatados del Complejo Alpujárride. Después de cada episodio de deposición tuvo lugar un episodio de edafización del depósito, localizándose en la zona de estudio hasta cuatro series distintas de deposición-edafización, con una profundidad superior a 5.5 m de profundidad ([Fig. 1](#)). En este trabajo estudiamos las características de cada uno de los depósitos y la de los suelos que se desarrollan sobre ellos.

En la descripción macromorfológica se ha seguido el Soil Survey Staff (1990). Las características micromorfológicas según Bullock et al. (1985). Textura por el método de la pipeta después de eliminar la materia orgánica con H_2O_2 y dispersar por agitación con hexametáfosfato sódico (Loveland and Whalley, 1991). Carbono orgánico por el método de Tyurin (1951). El pH fue medido en una suspensión suelo:agua de 1:2.5 La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue determinada con acetato sódico pH 8.2. Las bases de cambio fueron extractadas con acetato amónico 1N a pH 7.0 y medidas en absorción atómica (Ca y Mg) y fotómetro de llama (Na y K). El hierro total (Fet) fue determinado por el método de Shapiro and Brannock (1956). Los óxidos de hierro (Fed) se extractaron por el método de Holmgren (1967) y las formas amorfas (Feo) por el de Schwertmann and Taylor (1977), ambos fueron medidos en absorción atómica.

El grado de desarrollo de cada suelo se estimó a partir del índice de acumulación de arcilla (IA), calculado según la ecuación: $S(B-C)T$, donde B = contenido en arcilla (%) de los horizontes B, C = contenido en arcilla (%) de los horizontes C, y T = espesor de los horizontes B en cm (Levine and Ciolkosz, 1983). Dado que, para una determinada intensidad de meteorización, el contenido en Fed deberá elevarse en proporción al contenido en Fet, estimamos también un índice de acumulación de óxidos de hierro (IFe) que se calculó usando la misma ecuación que en el caso de la arcilla, donde B= razón Fed:Fet del horizonte B, C= razón Fed:Fet del horizonte C.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características de los suelos

Todos los suelos presentan un horizonte Bt muy bien desarrollado, de color rojizo, estructura en bloques angulares y fuertemente enriquecido en arcilla con respecto al material original ([Tabla 1](#)), por lo que los procesos que fundamentalmente han intervenido en su formación son la meteorización e iluviación de arcilla. Si estimamos la intensidad de estos procesos por el incremento en arcilla en los horizontes Bt en relación a los C, la mayor intensidad tuvo lugar en NIG-3 (arcilla Bt/arcilla C = 9.5), seguido de NIG-2 (arcilla Bt/arcilla C = 4.5), NIG-1 (arcilla Bt/arcilla C = 3.3) y, por último, NIG-4 (arcilla Bt/arcilla C = 2.5)

También se aprecia un proceso de lavado de carbonatos ([Tabla 2](#)) que se tienden a acumular en los horizontes C (NIG-4, NIG-3 y NIG-2). En el hor. Bt de NIG-2 existe una recarbonatación posterior a la formación del suelo, ya que hay cútanos de carbonatos recubriendo los cútanos de arcilla. Esta recarbonatación debió de producirse a partir del lavado de carbonatos del hor. C del NIG-3. El contenido en carbono orgánico es muy bajo (< 0.5%), lo que indica que en el proceso de humificación debió de predominar la mineralización de la materia orgánica. Este hecho, unido a la intensidad de los procesos de meteorización e iluviación, parece indicar que estos suelos debieron de formarse en un clima más cálido y húmedo que el actual.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) está relacionada con el contenido en arcilla y carbono orgánico (CO) mediante la ecuación:

$$\text{CIC (cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = 16.12 \text{ CO (\%)} + 0.22 \text{ arcilla (\%)} \quad r = 0.98, p < 0.0001$$

de donde se deduce que el carbono orgánico llega a tener hasta 70 veces más capacidad de cambio que la arcilla, lo que sería indicativo del alto grado de transformación y evolución de la materia orgánica de estos suelos, puesto ya de manifiesto anteriormente. En general están saturados y las bases de cambio están dominadas por Ca^{2+} y Mg^{2+} , el primero domina en NIG-4 y NIG-3 y el segundo en NIG-2 y NIG-1; Na^+ y K^+ son muy minoritarios.

El contenido en hierro libre (Fed) esta relacionado con la arcilla a través de la ecuación:

$$\text{Fed (\%)} = 0.06 \text{ arcilla (\%)} \quad r = 0.93, p < 0.0001$$

que indica que cada 100 g de arcilla vienen a retener en su superficie unos 6 gramos de hierro.

Grado de evolución y edad de los suelos

El grado de evolución de los suelos se ha estimado a partir del índice de acumulación de arcilla (IA) de Levine and Ciolkosz (1983). Los resultados ([Fig. 2](#)) indican que el suelo

NIG-3 es el más evolucionado, seguido de NIG-2 y NIG-1, siendo NIG-4 el de menor evolución. Estos mismos resultados se obtienen del estudio micromorfológico, donde el hor. Bt de NIG-3 presenta muy abundantes cútanos de arcilla iluvial de gran espesor, frecuentemente rellenando por completo los poros; mientras que en la masa basal predomina la arcilla muy fina, de aspecto fluidal como rasgo indicativo de su origen iluvial. Las orientaciones plásmicas son muy intensas y de color rojo vivo, mientras que la matriz se caracteriza por la escasez de granos de esqueleto, especialmente de mica. En NIG-2 y NIG-1, estos rasgos son menos patentes y se reducen aún más en NIG-4, donde la masa basal presenta escasas orientaciones plásmicas, los granos aciculares de mica son muy abundantes y los arcilanes son muy delgados.

Basándonos en el índice IA, la edad del suelo NIG-3 se estima en unos 280.000 años, en 130.000 la del suelo NIG-2 y la de NIG-1, y en unos 60.000 años la de NIG-4; de lo que se deduce que el conjunto de los suelos debieron de tardar en formarse unos 600.000 años (Fig. 3). Indiscutiblemente, sería la edad mínima, ya que los suelos están erosionados y deben de haber perdido parte del hor. Bt, por lo que su espesor es menor del que debió de ser originalmente y, en consecuencia, los valores de los índices de acumulación de arcilla más bajos. Por otra parte, hay que tener en cuenta el período de tiempo que dura cada episodio de deposición. Teniendo en cuenta todos estos hechos, el depósito debió de empezar a formarse hace más de 10^6 años, por lo que en él está representada la historia de los periodos de erosión-deposición y de los de edafización a lo largo del Cuaternario.

De acuerdo con nuestros resultados, los dos primeros periodos de edafización del Cuaternario debieron de tener una intensidad equivalente y formaron suelos de evolución semejante. El tercer periodo de edafización fue el más intenso y dio lugar al suelo más evolucionado; mientras que el último periodo de edafización fue el más débil de los cuatro y, aunque los procesos de formación del suelo fueron los mismos, su intensidad fue mucho menor. Todas estas variaciones debieron de estar relacionadas con cambios climáticos, ya que los demás factores formadores debieron de ser equivalentes, especialmente el material original y el relieve.

Indiscutiblemente, estas variaciones podrían atribuirse también al tiempo de duración de cada episodio, siendo constantes las condiciones climáticas. Si esto fuese así, los suelos que han permanecido en superficie a lo largo del Cuaternario deberían tener una evolución que vendría a ser la suma de todas las evoluciones de los suelos enterrados; de forma que su grado de evolución sería muy superior al de cualquiera de los suelos enterrados. Si analizamos el grado de evolución del suelo del Llano de la Perdiz (Martín, 1994), desarrollado sobre depósitos formados en la transición Plio-Pleistoceno y de naturaleza equivalente a los estudiados por nosotros, su grado de evolución es similar al de NIG-3 y vendría a tener también una edad en torno a 280.000 años. Por tanto, los distintos periodos de edafización no se suman, sino que la evolución del suelo de superficie viene a ser equivalente a la del periodo de máxima evolución. En este sentido, la edad del suelo de superficie vendría a reflejar solo la duración del periodo de máxima evolución, no viéndose reflejado en él los periodos anteriores o posteriores de menor intensidad. En cada periodo edafogénico, el suelo alcanza la máxima evolución que le

permiten los factores formadores, en especial el clima, y cuyos rasgos permanecen mientras que no exista un posterior periodo de mayor intensidad.

CONCLUSIONES

La evolución de los suelos durante el Cuaternario tiene lugar en distintos episodios edafogenéticos, separados en el tiempo por periodos de erosión-deposición que crean las formas del relieve. En cada episodio edafogenético, el grado de evolución alcanzado por el suelo es diferente en función, especialmente, de las condiciones climáticas; pudiendo representar al estado de equilibrio o estado estable. Cuando estos episodios se superponen en un suelo de superficie, el grado de desarrollo del suelo se corresponde con el del episodio de máxima evolución, borrándose los rasgos de los episodios menos intensos; de forma que al estimar la edad del suelo por su grado de evolución, solamente se reflejaría la duración del episodio de máxima evolución, no la del suelo en su conjunto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el Proyecto DGICYT n° PB96-1385.

BIBLIOGRAFIA

Birkeland, P.W. (1990). Soil-geomorphic research: a selective overview. In: Knuepfer, P.L.K., McFadden, L.D.(Eds), Soils and landscape evolution. *Geomorphology*, 3: 207-224.

Bockheim, J.G. (1980). Solution and use of chronfunctions in studying soil development. *Geoderma*, 24: 71-85.

Fernández, J. and Soria, J. (1986-1987). Evolución sedimentaria en el borde norte de la Depresión de Granada a partir del Turolense terminal. *Acta Geológica Hispánica*, t. 21-22: 73-81.

Harden, J.W. (1982). A quantitative index of soil development from field descriptions: examples from a chronosequence in Central California. *Geoderma*, 28: 1-28.

Harden, J.W. (1990). Soil development on stable landforms and implications for landscape studies. In: Knuepfer, P.L.K. and McFadden, L.D.(Eds), Soils and landscape evolution. *Geomorphology*, 3: 391-398.

Harrison, J.B.J. ; McFadden, L.D. and Weldon, R.J. (1990). Spatial soil variability in the Cajon Pass chronosequence: implications for the use of soils as a geochronological tool. In: Knuepfer, P.L.K. and McFadden, L.D.(Eds), Soils and landscape evolution. *Geomorphology*, 3: 399-416.

Jenny, H. (1941). Factors of soils formation. McGraw-Hill, New York.

Levine, E.R. and Ciolkosz, E.J. (1983). Soil development in till of various ages in Northeastern Pennsylvania. *Quaternary Research*, 19: 85-99.

Martín, F. (1994). Suelos rojos del ámbito mediterráneo. Tesis de licenciatura. Universidad de Granada.

McFadden, L.D. and Kneupfer, P.L.K. (1990). Soil Geomorphology: the linkage of pedology and superficial processes. In: Knuepfer, P.L.K. and McFadden, L.D.(Eds), Soils and landscape evolution. *Geomorphology*, 3: 197-205.

Morrison, R.B. (1963). Lake Lahontan: geology of southern Carson Desert, Nevada. Washington, U.S. Govt. Print. Off.

Semmel, A. (1989). Paleopedology and Geomorphology: examples from the Western Part of Central Europe. In: Bronger, A. and Catt, J.A. (Eds). Paleopedology: Nature and application of paleosols. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, Germany, pp.143-162.

Simón, M.; Sánchez, S. and García, I. (2000). Soil-landscape evolution on a Mediterranean high mountain. *Catena*, 477 (in press).

Soil Survey Staff. (1990). Keys to Soil Taxonomy, SMSS Tech. Mongr. 19. U.S.Dep.Agric., Virginia.

Figuras y Tablas.



Figura 1. Esquema de la secuencia de suelos de Niguelas.

Figura 2. Índice de acumulación de arcilla (IA) e índice de acumulación de óxidos de hierro (IFe) de los suelos.

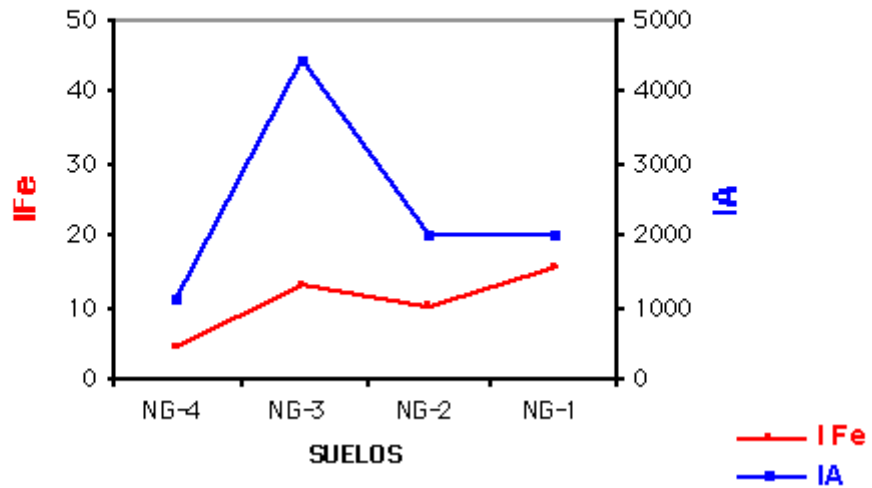


Figura 3. Edad de los suelos estimada por su índice de acumulación de arcilla. |

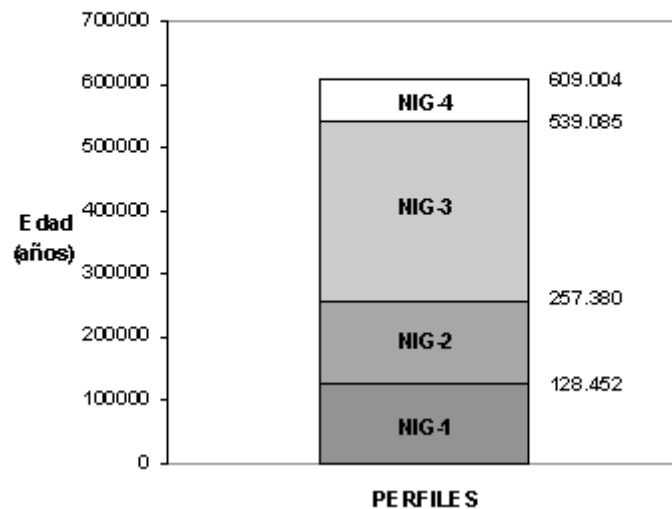


Tabla 1. Características macromorfológicas y textura de los suelos.

Perfil	Horiz.	Profund. (cm)	Color seco	Estructura (tipo, tam., grado)	Grava (%)	Arcilla (%)	Limo grueso (%)	Limo fino (%)	Arena (%)
NIG-4	Bt1	0-17	5YR 4/6	ba,m,2	19.5	35.7	7.1	15.1	42.1
	Bt2	17-34	2,5YR 4/4	ba,m,2	17.1	27.0	11.6	15.1	46.3
	BC	34-48	7,5YR 5/6	bs,m,1	36.6	18.0	11.6	18.2	52.2
	CB	48-60	10YR 6/4	bs,p,1	33.7	12.2	11.3	18.7	57.8
	C	60-105	10YR 6/2	m,-,0	47.0	15.2	12.2	26.4	46.2
	2Ck1	105-120	2,5Y 6/2	m,-,0	45.3	8.5	14.6	26.8	50.1
	2Ck2	120-150	2,5Y 5/2	m,-,0	58.4	8.3	14.2	26.7	50.8
	2Ck3	150-190	2,5Y 6/2	m,-,0	51.1	6.1	14.2	29.5	50.2
NIG-3	Bt	190-280	10R 4/6	ba,m,3	42.0	55.1	5.2	9.2	30.5
	C	280-310	10YR 6/3	gs,-,0	49.3	5.8	13.9	15.5	64.8
NIG-2	Bt1	310-345	10R 4/6	ba,m,2	36.3	45.2	5.6	12.1	37.1
	Bt2	345-388	10R 4/6	bs,m,2	39.1	28.5	10.4	19.2	41.9
	C	388-428	10YR 6/3	gs,-,0	37.6	10.0	13.2	19.3	57.5
NIG-1	Bt	428-508	2,5YR 4/6	ba,m,2	38.7	35.6	6.4	16.3	41.7
	BC	508-538	7,5YR 6/6	ba,p,1	73.3	12.0	7.4	15.1	65.5
	C	538-563	10YR 6/3	gs,-,0	49.3	10.9	11.3	19.4	58.4

Tipo de estructura: ba=bloques angulares, bs=bloques subangulares, m=masiva, gs=grano suelto.

Tamaño de estructura: m=medio, p=pequeño.

Grado de estructura: 0=sin estructura, 1=débil, 2=moderada, 3=fuerte.

Tabla 2. Datos analíticos de los suelos.

Perfil	Horiz.	pH	CaCO ₃ (%)	CO (%)	CE (dS m ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CIC	Grado de Sat. (%)	Fe _t (%)	Fe _d (%)	Fe _o (%)	Fe _d /Fe _t x 100	Fe _o /Fe _d x 100
						-----cmol _c kg ⁻¹ -----										
NIG-4	Bt1	7.3	0.5	0.32	1.84	0.10	0.16	6.24	2.70	12.46	73.7	5.29	1.94	0.063	36.71	3.24
	Bt2	7.4	0.6	0.25	2.83	0.14	0.13	10.00	3.41	9.02	100.0	4.77	1.97	0.040	41.29	2.06
	BC	7.1	0.6	0.16	3.10	0.14	0.07	8.48	2.76	6.44	100.0	4.73	1.75	0.038	36.98	2.17
	CB	7.4	0.6	0.17	3.23	0.19	0.04	6.74	2.44	5.16	100.0	4.36	1.57	0.037	36.16	2.35
	C	8.0	0.7	0.20	2.74	0.41	0.04	7.49	3.00	6.87	100.0	4.38	1.60	0.022	36.58	1.37
	2Ck1	8.6	17.5	0.23	1.70	0.14	0.02	16.00	1.79	5.59	100.0	3.66	1.13	0.020	30.80	1.82
	2Ck2	8.5	14.7	0.24	1.99	0.07	0.02	16.00	1.54	5.16	100.0	3.69	1.10	0.021	29.91	1.90
	2Ck3	8.1	13.7	0.21	n.d.	0.27	0.02	11.00	4.55	4.30	100.0	3.76	1.13	0.014	30.06	1.24
NIG-3	Bt	8.3	0.4	0.14	0.67	0.12	0.39	10.23	4.95	14.18	100.0	6.69	2.39	0.039	35.68	1.65
	C	9.1	6.4	0.14	0.54	0.02	0.04	10.48	3.57	4.30	100.0	3.81	0.81	0.026	21.35	3.20
NIG-2	Bt1	8.6	2.2	0.16	0.46	0.09	0.26	7.24	9.18	14.18	100.0	6.00	2.55	0.036	42.41	1.43
	Bt2	8.3	2.8	0.21	2.60	0.07	0.18	6.24	7.31	10.31	100.0	5.73	2.26	0.047	39.39	2.10
	C	8.5	2.3	0.20	4.08	0.07	0.05	5.74	5.93	8.59	100.0	4.81	1.31	0.021	27.29	1.60
NIG-1	Bt	8.5	0.4	0.20	0.66	0.09	0.35	2.99	7.31	9.88	100.0	5.61	1.39	0.073	24.82	5.28
	BC	8.8	1.2	0.23	0.90	0.05	0.07	4.24	3.25	7.73	98.5	4.23	0.52	0.031	12.41	5.90
	C	8.9	0.7	0.25	0.85	0.02	0.07	4.24	2.68	4.73	100.0	4.70	0.37	0.030	7.82	8.16

CO=Carbono orgánico, CE=Conductividad eléctrica, CIC=Capacidad de intercambio catiónico.

Fe_t=Hierro total, Fe_d=Hierro libre, Fe_o=Hierro amorfo.