

GRADO DE UNIFORMIDAD DE LOS MATERIALES EN SUELOS CON HORIZONTES TEXTURALMENTE CONTRASTADOS

R. J. Ballesta, V. Cala y R. García

*Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica.
Facultad de Ciencias. Univ. Autónoma. 28049 Madrid.*

RESUMEN

Al objeto de investigar el grado de homogeneidad/heterogeneidad de los materiales que constituyen el perfil edáfico, en el presente trabajo se utilizan diversos criterios. Para abordar este objetivo se aplican los mismos sobre suelos que presentan un amplio rango de contraste textural, según se deduce de los índices de diferenciación textural obtenidos.

Los criterios son: a) texturales, como el índice fracción, el valor de uniformidad y las razones arena/limo; b) mineralógicos, como los cocientes turmalina/circón y feldespato potásico/cuarzo; a la vez que los contenidos en circón de las diferentes fracciones. Finalmente, c) químicos, como la relación titanio/circonio y las concentraciones de elementos minoritarios.

Se deduce que es conveniente intentar aplicar, si es posible, no sólo uno sino los tres criterios (textural, mineralógico, químico), ya que, según los casos, existen discontinuidades o diferentes grados de homogeneidad.

Palabras clave: Homogeneidad. Heterogeneidad. Suelos.

SUMMARY

DEGREE OF UNIFORMITY OF MATERIALS IN SOILS WITH CONTRAST TEXTURAL HORIZONS

We have applied different criteria to estimate the homogeneity/heterogeneity degree of the materials which constitute the pedologic profil. The aim has been approached by working with soils which have a wide textural contrast, as deduced from the texture differentiation indexes obtained.

The criteria used were: a) texture, like the fraction index, the uniformity value and sand/silt ratios. b) mineralogy, like the tourmaline/circon, feKpar K/quartz proportion and the amount of circon in different fractions, and finally, c) chemical, like the Ti/Zr proportion as well as other minority elements.

It is advisable to apply, if possible, not only one criterion but the three criteria (textural, mineralogical and chemical) because, depending on each case, discontinuities or different degrees of homogeneity may exist.

Key words: Homogeneity. Heterogeneity. Soils.

INTRODUCCION

Cuando se plantea la investigación de la génesis y evolución de suelos con horizontes texturalmente contrastados, surge la hipótesis de si el cambio textural se ha producido como consecuencia de una superposición de sedimentos diferenciados en tal sentido. Por ello, para estimar si el contraste textural se ha producido por este último proceso ó por otros que han actuado "in situ", es preciso reconocer el grado de uniformidad de los materiales de los distintos horizontes del perfil.

En este sentido se han utilizado diversas técnicas para dilucidar el grado de uniformidad/heterogeneidad de los materiales edáficos. Este es el caso de la presencia de "líneas de piedras" en un perfil. (Brewer, 1964), indicó que para que un material fuera considerado homogéneo, la distribución de constituyentes estables, en relación con la profundidad, debería mostrar curvas sin inflexiones. Con este propósito se han utilizado minerales tales como cuarzo, rutilo, turmalina y circón al ser considerados minerales resistentes a la alteración. El método usual para conocer el grado de homogeneidad/heterogeneidad, consiste en calcular las concentraciones de los mismos, en las fracciones.

La dificultad que plantea el criterio anteriormente descrito es que estos minerales no son completamente estables en todos los ambientes, por lo que frecuentemente se recurre a otros métodos de comparación. Así, se usan razones arena/limo como criterio textural, mientras que como criterio químico se utilizan cocientes Ti/Zr, Ti/Al, etc. (en igual

o distinta fracción). Una de las razones más utilizadas es la que corresponde al Ti/Zr, sin embargo ésta no es totalmente concluyente al existir valores similares en materiales estratigráficamente diferentes (Rostad *et al.*, 1976). Por ello, frecuentemente se recurre a los tres criterios mencionados, mineral, textural y químico, de tal manera que para considerar que existe uniformidad deben encontrarse valores similares entre horizontes adyacentes. Concretamente, Chittleborough y Oades, (1980), utilizan algunos criterios que en resumen son:

- 1.—Distribución textural de minerales pesados en la fracción 5-125 μm .
- 2.—Razón de minerales pesados en las fracciones 45-53 μm y 20-45 μm .
- 3.—Razón de la concentración de circón en diversas fracciones.
- 4.—Razón de los porcentajes de óxidos que representan dos minerales resistentes en una misma fracción.

En todo caso es preciso tener en cuenta que las discontinuidades se detectan fácilmente por criterios minerales en suelos poco evolucionados, mientras resulta más difícil en el caso de los suelos evolucionados, (Dorronsoro, 1988). Así mismo es preciso tener en cuenta que una homogeneidad perfecta sólo puede probarse cuando se comparan exclusivamente materiales inalterados. De ahí lo aconsejable que resulta operar sobre un esqueleto cuarzoso. (Baize,

1980), señala que la homogeneidad granulométrica y mineralógica es puramente hipotética cuando los materiales que constituyen el suelo tienen un origen detrítico.

En el presente trabajo se pretende realizar un test que permita establecer el grado de homogeneidad/heterogeneidad de los materiales que

componen unos perfiles de suelos. Estos se han seleccionado fundamentalmente en base al contraste textural y al límite brusco entre algunos de sus horizontes. Dicho test consistirá en la aplicación de criterios mineralógicos, texturales y químicos con especial referencia a los horizontes texturalmente contrastados.

MATERIALES Y METODOS

Para abordar los objetivos previstos se han seleccionado unos perfiles de suelos, de la cuenca de Madrid, en los que presumiblemente se produce un contraste textural entre dos de sus horizontes (Tabla 1). Los criterios utilizados para su selección son básicamente, de campo, entre los que cabe citar la estructura, el color, la consistencia, y la pedregosidad, además de las particulares características geomorfológicas de las superficies en las que se sitúan. De este modo en el mismo campo se ha detectado alguna discontinuidad (en función del contenido en gravas).

Además de la variación en la discontinuidad así obtenida, se han utilizado los siguientes métodos selectivos:

1) Textura. Partiendo de la consideración de que arenas y limos son estables química y granulométricamente, con escasa aptitud para migrar en el perfil y dado que la fracción inferior a $2 \mu\text{m}$ es susceptible, por el contrario, de movilizarse, alterarse, etc. es por lo que se analiza el esqueleto granulométrico (limo + arena). En este sentido se ha determinado la textura por el método internacional, mediante sedimentación en medio acuoso, para fracciones menores de $50 \mu\text{m}$ y mediante tamizado en las

mayores de $50 \mu\text{m}$, (Kilmer y Alexander, 1949).

2) Identificación de los minerales de la fracción arena. Los criterios mineralógicos aplicados para valorar la homogeneidad en los perfiles de suelos se basan en la consideración de que los minerales permanecen inertes e inmóviles durante la edafogénesis. Una vez separada la arena por tamizado, se recogen las fracciones ligera y pesada por decantación en bromoformo. Después se montan en lámina delgada y finalmente se han descrito siguiendo los criterios de Pérez Mateos, (1965). Las fracciones analizadas han sido las de tamaño $0.5-0.2 \text{ mm}$ y $0.2-0.05 \text{ mm}$.

3) Análisis químico total. Dado que los minerales resistentes se presentan en baja proporción, p.e. en suelos como los aquí estimados, es conveniente recurrir al análisis cuantitativo de los elementos químicos que les caracterizan. Por ello se ha efectuado dicho análisis mediante ataque triácido (nítrico, perclórico, fluorhídrico) según Fuller *et al.* (1976). Todos los elementos se han determinado por espectrofotometría de absorción atómica, salvo el circonio que fue por espectrometría de absorción por plasma.

TABLA 1

Datos generales de los perfiles seleccionados.

Perfil	Localidad y coordenadas	Altitud	Posición geomorfológica	Clasificación	HORIZONTES
I	Alcobendas 0° 3' 5" 40° 32' 25"	680	Llanura de facies arcósica	Xerochrept típico	Ap (M-364) Color pardo con límite brusco a: Bw (M-365) de 45 a 82 cm. Estructura poliédrica, escasos cutanes. BC (M-366) de 82 a 104 cm. Pardo amarillento Firme y duro.
II	Cobeña 3° 29' 44" 40° 32' 50"	740	Glacis-terrazza (Sup. Paracuellos)	Xerochrept Thapto-palexeralfico	Ap de 0 a 12 cm. ABp de 12 a 52 cm. Ap2 (M-367) de 52 a 88 cm., pardo amarillento, con cutanes espesos y límite brusco y plano a: 2E (M-368) de 88 a 123 cm. de débil estructura, sin cutanes. Límite brusco y plano a: 3Bt (M-369) de 123 a 180 cm. color rojo, con cutanes espesos y límite neto a: 4C (M-369 bis) con 80% de cantos redondeados.
III	Valdepiélagos 0° 12' 5" 40° 45' 5"	710	Terraza (nivel 4)	Haploxeralf típico	Ap (M-370) de 0-40 cm., pardo de débil estructura y límite brusco a: Bt (M-371) de 40 a 58 cm. de estructura poliédrica y cutanes delgados. El límite inferior es neto. 2C (M-371 bis) constituido fundamentalmente por gravas (aprox. 70%).

TABLA 1 (Continuación)

Datos generales de los perfiles seleccionados.

Perfil	Localidad y coordenadas	Altitud	Posición geomorfológica	Clasificación	HORIZONTES
IV	Navacerrada 0° 19' 20" 40° 43' 45"	1185	Replano en zona montañosa	Rhodoxeralf típico	A de 0 a 32 cm. AB (M-372) de 32 a 68 cm. pardo pálido sin cutanes y límite inferior neto. Bt (M-373) de 68 a 112 cm. color rojo 2.5 YR 4/8, con cutanes espesos y límite gradual a: BC (M-374) de 112 a 134 cm. pardo amarillento. R. (M-375) adamellita.
V	Navacerrada 0° 19' 10" 40° 42' 40"	1140	Ladera escarpada de granito	Xerochrept dístico	A (M-376) de 0 a 16 cm. de débil estructura, con límite neto y plano a: Bw (M-377) de 16 a 56 cm., sin cutanes. C granito arenizado.
VI	S. Sebastián de los Reyes 0° 3' 5" 40° 32' 25"	670	Sedimentos arcósicos en zona llana	Xerochrept Thapto-Haploxeralfico	Ap de 0 a 12 cm. B21 de 12 a 81 cm. 2E (M-378) de 81 a 123 cm. algo suelto. 3Bt pardo con escasos cutanes. El límite superior es neto y el inferior gradual. 4C1 de 175 a 235 cm. 5 C2 de 235 a 280 cm. y 6C3 arenas.
VII	Cedillo del Condado 0° 12' 55" 40° 6' 20"	620	Sedimentos arcósicos en zona llana	Palaxeralf típico	Ap de 0 a 22 cm. E (M-380) de 22 a 54 cm. moderadamente estructurado, sin cutanes y límite brusco y plano a: Bt (M-381) de 54 a 102 cm. con estructura de carácter prismático, cutanes espesos y límite neto a: BCK (M-382) pardo claro y escasos cutanes.

En un estudio sobre la granulometría y homogeneidad de los perfiles realizado por Baize (1980), establece dos índices de carácter granulométrico: IDTh, índice de diferenciación textural de un horizonte y IDTp, índice de diferenciación

textural máximo de un perfil. Estos sustituyen al "índice de arrastre", término que ha sido utilizado frecuentemente (sin pruebas de que realmente exista un proceso de arrastre iluvial).

Los índices se expresan así:

$$\text{IDTh} = \frac{\% \text{ de arcilla del horizonte considerado}}{\% \text{ de arcilla del horizonte A más pobre en arcilla de un perfil P}}$$

$$\text{IDTp} = \frac{\% \text{ de arcilla del horizonte B más rico en arcilla}}{\% \text{ de arcilla del horizonte A más pobre en arcilla de un perfil P.}}$$

El índice fracción, establecido por Arnold (1979), se refiere al peso por unidad de volumen y viene dado por:

$$\text{Índice-fracción (IF)} = \% \text{ arena} \times \text{densidad aparente.}$$

Para evaluar la uniformidad del material parental (Creameens y Mokma, 1986), aplican como criterio

la razón entre el porcentaje de limo y arena muy fina, frente al de arena total menos la arena muy fina. Para detectar posibles discontinuidades dividen esta razón en un horizonte frente al que teóricamente se puede presentar dicha discontinuidad, y definen el "valor de uniformidad" (VU) como el resultado de dicha razón menos uno. Es decir:

$$\text{(VU)} = \frac{(\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina}) / (\% \text{ arena} - \% \text{ arena fina}) \text{ (en el horizonte superior)}}{(\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina}) / (\% \text{ arena} - \% \text{ arena muy fina}) \text{ (en el horizonte inferior)}}$$

por tanto cuanto más se aleja de 0 el valor de VU, mayor es la posibilidad de encontrar un material no homogéneo. En este sentido (Creameens y Mokma, 1986), consideran

que un valor de ± 0.6 permite identificar discontinuidades litológicas en sustitución del valor 0.37 propuesto por Asady y Witeside (1982).

RESULTADOS Y DISCUSION

Antes de discutir los distintos criterios utilizados se pretende poner de manifiesto el grado de diferenciación textural que presentan los suelos seleccionados en el presente tra-

bajo. A tal fin se han establecido los "índices de diferenciación textural" de Baize (1980), utilizando para ello los datos de la Tabla 2 en la que se exponen los resultados de

TABLA 2

Resultados de los análisis granulométricos e índices texturales.

$$IDTh = \frac{\% \text{ arcilla del horizonte considerado.}}{\% \text{ arcilla del horizonte A más pobre en arcilla.}}$$

$$IDTp = \frac{\% \text{ arcilla del horizonte B más rico en arcilla.}}{\% \text{ arcilla del horizonte A más pobre en arcilla.}}$$

$$IF = \% \text{ Arena} \times \text{densidad aparente.}$$

$$VU = \frac{(\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina}) / (\% \text{ arena} - \% \text{ arena fina}) \text{ en el horizonte superior.}}{(\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina}) / (\% \text{ arena} - \% \text{ arena fina})} - 1$$

$$AL = \% \text{ Arena} / \% \text{ Limo.}$$

Perfil	Horizonte	Muestra	% Arena 2-0.02 mm	% Limo 0.02-0.002 mm	% Arcilla <0.002 mm	IDTp	IDTh	IF	VU	AL
I	Ap	364	78.8	8.0	13.2	—	—	141.8	—	9.85
	Bw	365	62.5	8.0	29.5	2.23	2.23	112.5	-0.04	7.81
	BC	366	66.5	13.0	20.5	—	1.55	113.0	-0.30	5.11
II	Ap2	367	49.1	9.7	41.2	—	2.84	78.5	—	5.06
	2E	368	76.8	8.7	14.5	—	—	145.9	0.63	8.82
	3Bt	369	31.0	21.5	47.5	3.27	3.27	52.7	-0.87	1.44
	4C	369 Bis	65.4	13.3	21.3	—	1.46	110.5	—	4.91
III	Ap	370	74.3	13.2	12.5	—	—	118.5	—	5.62
	Bt	371	56.0	11.5	32.5	2.60	2.60	100.8	0.03	4.86
	2C	371 Bis	84.7	7.2	8.1	—	0.64	143.9	—	11.76
IV	A	372	59.3	25.5	15.2	—	—	100.8	0.02	1.06
	Bt	373	53.0	19.0	23.0	1.84	1.84	74.2	—	2.78
	BC	374	67.8	11.5	20.7	—	1.36	127.3	1.20	5.89
V	A	376	72.1	15.2	12.7	—	—	151.4	—	4.74
	Bw	377	63.6	14.2	22.2	1.74	1.74	127.2	0.58	4.47
VI	2E	378	72.1	9.2	18.7	—	—	129.7	—	7.83
	3Bt	379	57.6	10.2	32.2	1.72	1.72	103.9	-0.13	5.64
VII	E	380	77.2	12.5	10.3	—	—	115.8	—	6.17
	Bt	381	45.0	17.5	37.5	3.64	3.64	85.8	-0.61	2.57
	BCK	382	31.4	9.3	9.3	—	0.95	138.3	—	8.75

los análisis granulométricos efectuados.

Los cálculos efectuados (Tabla 2), permiten observar el grado de diferenciación textural en cada uno de los perfiles. De ellos se puede destacar que existen horizontes empobrecidos y enriquecidos en arcilla (en un rango relativamente amplio), permitiendo de esta forma abordar el planteamiento de este trabajo en un intervalo aceptable.

Por otra parte del análisis mineralógico efectuado se deduce que los horizontes empobrecidos en arcilla contienen más turmalina, circón y rutilo además de cuarzo que los correspondientes horizontes de enriquecimiento, lo que pone de manifiesto su carácter eluvial, (Cady, 1960).

Criterios texturales

Índice-fracción (IF):

De la aplicación de este índice de Arnold (1979), a los suelos estudiados (Tabla 2) se deduce que existe un cambio drástico en el caso del perfil II, a la vez que se producen tránsitos de menor intensidad en los perfiles I, IV, V y VII. En consecuencia, se puede señalar la existencia de una clara discontinuidad en el perfil II mientras en los otros existe cierto grado de heterogeneidad de los materiales edáficos.

Índice valor de uniformidad (VU):

Aplicando este índice VU de Cremeens y Mokma (1986) sobre los datos obtenidos (Tabla 2) se detecta un cambio brusco en el perfil II y otro más suaves en los perfiles V y VII.

Índice razón arena/limo (AL):

Ritche *et al.* (1974), consideran que un valor de 0.08 para la desviación media de la razón arena/limo es el límite que determina la existencia de discontinuidad entre horizontes adyacentes. Smith y Wilding (1972), señalan que la desviación media de las razones arena/limo en depósitos del N. O. de Ohio es aproximadamente de 0.02 indicando que proceden de un material uniforme. Considerando que diferencias de un 100% son representativas, se tendría discontinuidad en los perfiles II y VII, siendo menos clara en el perfil IV.

Curvas granulométricas:

Un modo de intentar conocer la existencia de discontinuidades es mediante el estudio de las curvas granulométricas acumuladas, (Foss y Rusch, 1968). Dado lo exhaustivo que supone discutir todas y cada una de las curvas (de hecho éstas son objeto de un trabajo aparte) de las muestras de los perfiles aquí estudiadas, sólo cabe indicar la posibilidad de empleo de las mismas.

Criterios mineralógicos

En la Tabla 3 aparecen los resultados de las razones turmalina/circón (Tu/Zr) y feldespato potásico/cuarzo (FK/Q), así como la relación de los contenidos de circón en diferentes fracciones. De la misma, se deduce que existe una clara discontinuidad en el perfil III, donde la razón Tu/Zr cambia de un horizonte a otro de un modo brusco, por tanto en este caso se puede pensar en una discontinuidad que no ha sido

TABLA 3

*Estimación de los constituyentes minerales en la arena. Razones turmalina/circón (Tu/Zr). Feldespato potásico/cuarzo (FK/Q).
Contenidos en circón en dos fracciones y razones de los mismos.*

Perfil	Horizonte	Muestra	Turm. %	Circón %	Tu/Zr	Feld. %	Cuarzo %	FK/Q	% Zr (0.5-0.2) mm	% Zr (0.2-0.05) mm	Zr (0.5-0.2) (0.2-0.05) mm
I	Ap	364	25	21	1.19	21	49	0.42	26	21	1.23
	Bw	365	34	23	1.47	42	37	1.13	19	23	0.82
	BC	366	31	25	1.24	17	76	0.22	36	25	1.44
II	Ap2	367	20	10	2.20	15	72	0.20	26	10	2.60
	2E	368	20	18	1.11	29	60	0.48	15	18	0.83
	3Bt	369	27	19	1.42	17	73	0.23	16	19	0.84
III	Ap	370	33	3	16.5	9	81	0.11	11	2	5.50
	Bt	371	13	5	4.32	20	70	0.28	15	3	5.00
IV	A	372	21	22	0.95	40	32	1.25	35	22	1.59
	Bt	373	30	18	1.66	50	13	3.84	18	18	1.00
	BC	374	35	20	1.75	42	35	1.20	25	20	1.25
V	A	376	29	18	1.61	25	49	0.51	14	18	0.77
	Bw	377	23	14	1.64	17	42	0.40	22	14	1.57
VI	2E	378	28	27	1.03	6	61	0.09	23	27	0.85
	3Bt	379	29	30	0.96	15	48	0.31	23	30	0.76
VII	E	280	18	19	0.98	31	62	0.50	12	19	0.63
	Bt	381	16	15	1.04	15	58	0.26	10	15	0.68

puesta de manifiesto por el análisis textural.

Teniendo en cuenta que el circón es considerado mineral resistente se ha determinado la razón del tanto por ciento de circón presente en la fracción de 0.5 a 0.2 mm frente al mismo en otra fracción 0.2 a 0.05 mm. Se deduce que en el perfil II, existe una variación significativa. En el perfil III sin embargo, no coinciden los cambios detectados en las razones Ti/Zr con la similitud encontrada mediante las razones de circón. Este hecho confirma la idea expresada por Dorronsoro (1988), de que las discontinuidades encontradas por cambios en la mineralogía de la arena, son menos representativas de lo que inicialmente se puede sospechar.

Criterios químicos

Como método alternativo o complementario de los criterios de textura y mineralogía se utilizan los contenidos específicos en algunos elementos, como es el caso del Titanio, Circonio, etc. La razón es que las concentraciones de cada elemento se supone pueden servir para estimar indirectamente el mineral en el que se encuentran. Así Titanio representa al Rutilo, Circonio al Circón, etc. Pero el problema que se plantea es que el elemento en cuestión puede estar en más de un mineral. En este sentido los estudios de Drees y Wilding (1978), señalan que existen cantidades significativas de Titanio (entre 50 y 70%) y de Circonio (de 10 a 50%) en forma de micro inclusiones de minerales primarios como cuarzo y feldespato.

Se han obtenido los contenidos en algunos elementos minoritarios en la

fracción fina del suelo (< 2 mm) en todos los horizontes encontrándose valores muy dispersos (Tabla 4). El manganeso, cinc y cadmio, en el perfil IV, el circonio en el I y VII y el cinc en el V, marcan un bajo grado de uniformidad entre los horizontes y el material de partida, mientras el cobre en el perfil I y el cinc y el cromo en el II permiten señalar discontinuidad entre los horizontes de empobrecimiento y enriquecimiento de arcilla.

Se han determinado las razones Ti/Zr . Chapman y Horn (1968), eligen arbitrariamente una diferencia del 100% en las razones Ti/Zr entre horizontes adyacentes para establecer discontinuidades. Evans y Adams (1975) y Drees y Wilding (1973 y 1978), han propuesto otras diferencias para este parámetro. Las razones Ti/Zr encontradas no permiten establecer diferencias muy significativas por lo que pueden considerarse uniformes los perfiles analizados. En consecuencia la razón Ti/Zr no proporciona información tan significativa como la obtenida por los criterios textural y mineralógico.

Existen varias razones que pueden explicar este hecho. El Titanio puede encontrarse en la biotita y cuando ésta se mueve y se altera queda limitada la validez del mismo como índice. Otro tanto sucede con el circonio presente también en biotita (aproximadamente 40 mg kg^{-1}) según Lambert y Holland (1974). Como el análisis mineralógico ha puesto de manifiesto que existe biotita en la mayoría de las muestras, se puede entender la limitación de la razón Ti/Zr .

Para confirmar esta idea de limi-

TABLA 4

Contenidos en algunos elementos minoritarios obtenidos sobre muestras de tamaño menor de 2 mm y menor de 2 μm . Razones Ti/Zr.

Perfil	Horizonte	Muestra	mg kg ⁻¹ (Fracción < 2 mm)									
			Ti	Mn	Zr	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Ni	Ti/Zr
I	Ap	364	470.1	138.0	12.0	37.5	61.0	57.0	30.0	1.7	11.3	39.1
	Bw	365	1205.0	108.0	30.5	9.5	36.0	37.8	30.3	1.0	17.5	39.5
	BC	366	1148.3	158.0	26.0	9.5	38.8	44.0	35.0	1.0	20.0	44.1
II	Ap2	367	1853.4	204.0	32.0	11.3	30.5	49.5	60.0	1.5	30.0	57.9
	2E	368	1913.1	195.0	19.5	8.0	33.3	28.0	30.0	1.7	15.0	98.1
	3Bt	369	2705.2	174.0	39.8	14.5	30.5	64.5	65.0	2.0	28.8	67.9
	4C	369 Bis	1853.6	270.0	27.5	18.5	36.0	85.5	75.0	2.7	37.5	67.3
III	Ap	370	2735.0	330.0	49.8	13.0	27.8	42.8	45.0	1.5	20.0	54.9
	Bt	371	3413.0	318.0	44.8	19.0	33.8	69.0	70.0	2.0	30.0	76.1
	2C	371 Bis	1350.1	258.0	14.8	21.3	33.3	72.0	65.0	1.5	28.8	103.3
IV	A	372	2088.2	186.0	32.8	10.8	27.8	44.3	35.0	2.2	20.0	63.6
	Bt	373	2558.3	162.0	32.8	12.5	33.8	61.5	40.0	2.0	22.5	77.9
	BC	374	3178.4	510.0	52.8	12.3	33.8	123.0	35.0	2.0	23.8	60.1
	R	375	530.8	105.0	12.0	27.5	25.0	13.3	25.0	1.0	10.0	
V	A	376	1648.1	180.0	41.0	11.3	33.3	53.5	40.0	1.2	20.0	40.1
	Bw	377	2413.0	342.0	72.8	10.8	44.3	111.0	35.0	2.2	23.8	33.1
VI	2E	378	1353.6	195.0	49.5	10.8	36.0	29.8	35.0	1.5	12.5	27.3
	3Bt	379	1970.5	222.0	30.6	10.8	44.8	43.5	65.0	2.0	25.0	64.3
VII	E	380	1178.4	126.0	23.8	7.3	36.0	41.8	35.0	1.5	13.8	49.5
	Bt	381	2148.7	171.0	47.5	8.0	41.5	60.0	70.0	1.7	27.5	45.2
	BCK	382	1235.6	129.0	13.8	5.5	33.8	42.8	50.0	1.7	20.0	89.4
(Fracción < 2 μm)												
II	2E	368	20.0	312.5	28.0	21.6	5.6	119.5	100.0	1.7	59.8	
	3Bt	369	0.0	47.9	0.0	5.1	2.0	26.5	42.5	0.8	13.6	
IV	A	372	40.0	297.6	15.2	20.8	6.8	91.3	45.0	1.5	34.8	
	Bt	373	50.0	23.2	0.0	4.7	1.6	19.0	10.0	0.8	6.1	
VII	E	380	35.0	275.3	16.1	17.4	6.0	84.0	70.0	1.6	38.6	
	Bt	381	30.0	223.2	30.7	13.1	4.0	84.0	77.5	1.2	42.4	

tada validez de la razón Ti/Zr se han determinado estos elementos en la fracción arcilla, (pero sólo en tres perfiles y de ellos, sólo en los horizontes empobrecidos y enriquecidos). Los resultados confirman que titanio y circonio varían ostensiblemente entre los horizontes relacionados, hasta tal punto que en algún horizonte no se presentan. Además los otros elementos analizados cambian porcentualmente de una forma brusca entre los horizontes texturales contrastados.

Asumiendo el criterio de Chapman y Horn (1968), se puede decir que la relación Ti/Zr permite indicar una clara discontinuidad en el perfil VI únicamente, mientras que si tenemos en cuenta los valores antes apuntados de manganeso, cinc, cadmio, etc., deben existir más discontinuidades. De acuerdo con Smeck y Wilding (1980), es aconsejable que dichas razones no se utilicen, sino a modo tentativo, como único índice para determinar el grado de homogeneidad/heterogeneidad en los materiales que constituyen el perfil edáfico.

Por lo que respecta a la relación de los valores obtenidos, en el caso particular de nuestro estudio, con

los datos existentes en la bibliografía, quisiéramos resaltar la coincidencia de resultados.

De este modo coincidimos con Chapman y Horn (1968) en el sentido de que estos suelos se forman a partir de materiales geológicos locales.

Otro tanto sucede si comparamos con la catena de suelos estudiada por Evans y Adams (1975) en la que no encuentran cambios litológicos en cinco perfiles analizados.

Coincidimos también con Baize (1980) en el sentido de que la mayoría de los suelos (en su caso de la Champagne humide de Francia) no son el resultado de discontinuidades sedimentarias originales.

Como resumen de la aplicación de los 3 criterios, textural, mineralógico y químico parece conveniente utilizar todos conjuntamente, así como establecer discontinuidades mayores y menores, tal como ya apuntaron Ritchie *et al.* (1974). En este sentido el perfil II presenta una discontinuidad mayor, mientras los perfiles IV, VI y VII presentan discontinuidades menores entre los horizontes texturalmente contrastados, existiendo divergencias según sean los criterios utilizados.

CONCLUSIONES

Si se acepta que existen discontinuidades menores y mayores, el perfil II muestra una discontinuidad mayor entre el horizonte 2E y el 3Bt. Por el contrario los perfiles VII, VI, IV y III presentan discontinuidades menores, de tal manera que según sean los criterios utilizados, los grados de uniformidad varían.

De entre todos los parámetros la

relación Ti/Zr, a pesar de ser frecuentemente utilizada, sólo debe aplicarse como método de aproximación. En todo caso parece aconsejable hacer uso de los tres criterios, textural, mineralógico y químico para tener el máximo de certeza sobre la uniformidad de los materiales edáficos.

BIBLIOGRAFIA

- ARNOLD, R. W., 1979. Concept of the argillic horizon and problems in its identification. In: *Proceedings Second International Soil Classification Workshop, Part II*. 21-33. Beinroth y Panichapong. (Eds). Soil Survey Division, Land Development Department, Bangkok, Thailandia.
- ASADY, G. H. and WITHESSIDE, E. P., 1982. Composition of a Canover Brohstone map unit in southeastern Michigan. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 1043-1047.
- BAIZE, D., 1980. Granulometrie et homogeneity des profils. Applications aux planosols de Champagne humide (France). *Sci. du Sol.*, 2: 101-112.
- BREWER, 1964. *Fabric and mineral analysis of soils*. John Wiley and Sons. New York.
- CADY, J., 1960. Mineral occurrence in relation to soil profile differentiation. *Trans. Int. Cong. Soil Sci. Madison V*: 418-424.
- CREMEENS, D. L. and MOKMA, D. L., 1986. Argillic horizon expression and classification in the soils of two Michigan Hydrosequences. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50: 1002-1007.
- CHAPMAN, S. L. and HORN, M. E., 1968. Parent material uniformity and origin of silty soils in northwest Arkansas based on zirconium-titanium contents. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 32: 265-271.
- CHITTLEBOROUGH, D. J. and OADES, J. M., 1980. The development of a Red Brown Earth. II. Uniformity of the parent material. *Austr. J. Soil Res.*, 18: 375-382.
- DORRONSORO, C., 1988. Aporte de la fracción arena gruesa al conocimiento de la génesis del suelo. *An. Edafol. Agrobiol.*, 47: 87-100.
- DREES, L. R. and WILDING, L. P., 1973. Elemental variability within a sampling unit. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 37: 82-87.
- DREES, L. R. and WILDING, L. P., 1978. Elemental distribution in the light mineral isolate of soil separates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 976-978.
- EVANS, L. J. and ADAMS, W. A., 1975. Quantitative pedological studies on soils derived from silurian madstones. IV Uniformity of the parent material and evaluation of Internal standards. *J. Soil Sci.*, 26: 319-326.
- FOSS, J. E. and RUSH, R. H., 1968. Soil genesis study of a lithologic discontinuity in glacial drift in western Wisconsin. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32: 393-398.
- FULLER, W. H., ROSTER, F. NIEBLA, E. E. and ALESA, B. A., 1976. Contribution of the soil to the migration of certain trace elements. *Soil Sci.*, 127: 223-235.
- KILMER, V. and ALEXANDER, L. T., 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Sci.*, 68: 15-24.
- LAMBERT, R. and HOLLAND, J., 1974. Yttrium geochemistry applied to petrogenesis utilizing calcium-yttrium relationship in minerals and rocks. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 38: 1393-1414.
- PEREZ MATEOS, J., 1965. Análisis mineralógico de arenas. Métodos de estudio. *Manuales de Ciencia Actual 1*. CSIC.
- RITCHIE, A., WILDING, L. P., HALL, G. F. and STAHNKE, C. R., 1974. Genetic implications of B horizons in Aqualfs of northeastern Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38: 351-358.
- ROSTAD, H. P. W., SMECK, N. E. and WILDING, L. P., 1976. Genesis of argillic horizons in soils derived from coarse-textured calcareous gravels. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 40: 739-744.

- SMECK, N. E. and WILDING, N. P., 1980. Quantitative evaluation of pedon formation in calcareous glacial deposits in Ohio. *Geoderma*, 24: 1-16.
- SMITH, H. and WILDING, L. P., 1972. Genesis of argillic horizons in Ochraqualfs derived from fine textured till deposit of northwestern Ohio and southwestern Michigan. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36: 808-815.

Recibido: 4-6-90.
Aceptado: 22-7-91.