

## HOMOGENEIDAD/HETEROGENEIDAD DE LOS MATERIALES FLUVIALES DE LAS TERRAZAS DE RIO TORMES

P. Alonso\*, C. Dorronsoro\*, M. I. González, M. P. García\*\*,  
J. A. Egido\* y J. M. García\*

\* *Dpto. de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Salamanca.*

\*\* *Dpto. de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Facultad de Geografía e Historia. Universidad Complutense. Madrid.*

### RESUMEN

Se analiza el grado de homogeneidad/heterogeneidad de los materiales fluviales que constituyen las terrazas del río Tormes y se analiza la utilidad de diversos parámetros evaluadores.

La homogeneidad, desde el punto de vista granulométrico, la hemos contrastado por varios parámetros: % de gravas, razón arena total/limo, e índice CPSD (Comparative Particle Size Distribution de Langhor et al., 1976). Los mejores resultados los han proporcionado el porcentaje en gravas y el índice CPSD. La razón arena/limo apenas si ha aportado datos de interés.

Las discontinuidades mineralógicas se han analizado técnicas ópticas (turmalina/circón, rutilo + anatasa + titanita + broquita/circón, en la fracción arena fina; feldespatos/cuarzo en la fracción arena gruesa), por difracción de rayos X (feldespatos/cuarzo en las fracciones arenas y limos) y por fluorescencia de rayos X (Ti/Zr, Ti/Y y Zr/Y en arenas y limos). De los resultados obtenidos deducimos que la técnica de fluorescencia de rayos X es la que ofrece más garantías y después elegiríamos el estudio mineralógico de los minerales pesados de las arenas.

Al comparar las discontinuidades mineralógicas con las granulométricas hemos encontrado un aceptable grado de coincidencia. No obstante, en ocasiones las discontinuidades granulométricas no han coincidido con las mineralógicas. En general, observamos que el análisis granulométrico es más sensible que el mineralógico. Esto pensamos que es lógico, ya que al tratarse de materiales procedentes siempre de la misma área fuente, la disponibilidad de minerales ha podido ser similar para todos los aluviones, mientras que la granulometría puede cambiar fácilmente en función de la energía que en cada momento posean las aguas del curso fluvial.

Palabras clave:: Discontinuidades. Homogeneidad/heterogeneidad. Granulometría. Razones mineralógicas.

### SUMMARY

## HOMOGENEITY/HETEROGENEITY OF FLUVIAL MATERIALS OF THE TERRACES OF THE TORMES RIVER

An analysis of the degree of homogeneity/heterogeneity of the fluvial materials

comprising the terraces of the River Tormes, is offered together with an analysis of different parameters used for the evaluation of these aspects.

From the granulometric point of view, homogeneity was contrasted by several parameters: the percentage of gravel, the total sand/silt ratio and the CPSD index (Comparative Particle Size Distribution of Langhor et al., 1976). The best results were obtained with the percentage of gravel and the CPSD index. The sand/silt ratio afforded few data of interest.

The mineralogical discontinuities were analyzed using optical techniques (tourmaline/zircon, rutile + anatase + titanite + brookite/zircon, in the fine sand fraction; feldspars/quartz in the coarse sand fraction), by X-ray diffraction (feldspars/quartz in sand and silt fractions) and by X-ray fluorescence (Ti/Zr, Ti/Y and Zr/Y in sand and silts). From the results obtained it can be inferred that the X-ray fluorescence technique offers the best guarantees; after this, mineralogical study of the heavy minerals of the fine sands would be chosen.

Upon comparing the mineralogical discontinuities of the granulometries, an acceptable degree of coincidence was observed. Despite this, the granulometric discontinuities occasionally do not coincide with the mineralogical ones. In general the granulometric analysis was found to be more sensitive than the mineralogical analysis. This is considered logical, since were being dealt with materials always from the same source area. The availability of minerals was always similar for all the alluviums while the granulometry may readily change as a function of the energy of the waters of the river course at each particular moment.

Key words: Discontinuities. Homogeneity/heterogeneity. Granulometry. Mineralogical ratios.

## INTRODUCCION

El estudio detallado del material original representa una fase previa de indudable interés para la comprensión de la génesis de los suelos. Sólo tras un conocimiento completo del material de partida, estaremos en condiciones de evaluar la acción de los procesos edáficos. Conociendo las características morfológicas, físicas, químicas, físico-químicas y mineralógicas de los materiales originales podremos valorar hasta que punto las características actuales son debidas a la edafización y podremos así definir los procesos que han debido tener lugar para producir los cambios observados. En este sentido, un aspecto de especial relevancia es la evaluación de la homogeneidad o

heterogeneidad del material original, para así poder adjudicar los cambios en las propiedades entre los horizontes de un mismo perfil a la edafización, o por el contrario atribuirlos a simples heterogeneidades del material de partida.

Este aspecto adquiere especial importancia en los suelos desarrollados a partir de sedimentos continentales, dada la gran variabilidad que normalmente presentan.

Para determinar el grado de uniformidad de los materiales fluviales que han dado origen a los suelos que estudiamos, podemos analizar este carácter en los materiales actuales del cauce y llanuras de inundación (que estarán apenas edafizadas) o

deducirla directamente sobre los perfiles de los suelos estudiados.

Las discontinuidades del material original se pueden poner de manifiesto bien en el perfil del suelo o por medio de los análisis físicos, químicos y mineralógicos. Los resultados de estas técnicas se complementan entre sí, por lo que su utilización conjunta es muy recomendable para poner de manifiesto la existencia de discontinuidades.

Desde un punto de vista metodológico, las discontinuidades pueden analizarse por criterios granulométricos o en base a estudios mineralógicos. Estos análisis complementarán eficazmente el imprescindible estudio morfológico del perfil en el campo.

Los métodos granulométricos se basan en comparar la granulometría (en valores porcentuales, o mejor utilizando razones) de las fracciones más estables (gravas y arenas) entre los horizontes de un suelo.

Para evaluar la posible heterogeneidad del material original desde un punto de vista mineralógico se utilizan los minerales heredados estables, ya que si son lo suficientemente inalterables e inmóviles su presencia en los horizontes edáficos estará directamente relacionada con las cantidades que de estos minerales existían en los materiales originales. La dificultad de esta técnica está, por un lado, en encontrar un mineral que sea totalmente estable en todas las condiciones edáficas y en la propia técnica de cuantificación, por otro. Ante la imposibilidad de encontrar un mineral absolutamente

estable, y que exista en superficie cantidad en los materiales originales, se utilizan una serie de minerales que desde el punto de vista práctico sí se puede suponer que permanecen prácticamente inalterables. Cuarzo, circón, rutilo, turmalina, titanita e ilmenita, son los más utilizados.

Como la presencia de un determinado mineral en una mezcla representa un valor relativo que depende tanto del número de sus partículas presentes como de la abundancia de los otros minerales (que ejercen de factor diluyente, en muy diverso grado), para los cálculos de la homogeneidad del material original no debe utilizarse el porcentaje de un solo mineral estable, sino que se debe emplear la razón entre los contenidos de dos minerales, ya que este valor no quedará condicionado por la mayor o menor existencia de los otros minerales presentes.

Los minerales a cuantificar han de estar presentes en cantidades medias a altas, para que el recuento sea operativo. Como esta condición no se cumple en muchas ocasiones, una manera de evitar los errores que se cometen con las técnicas ópticas, consiste en el análisis de elementos químicos específicos de algunos minerales estables. Los elementos más utilizados son el circonio representativo del circón, el titanio para cuantificar rutilo, brooquita, anatasa, titanita e ilmenita, y algunos autores han determinado el itrio como elemento específico de la xenotina (Alexander *et al.*, 1962; Fanning y Jackson, 1967; Chapman y Horn, 1968; Sodom y Arnaud, 1971; Evans y Adams, 1975).

## MATERIAL

Los cuatro suelos elegidos son representativos de las terrazas fluviales del río Tormes que se encuentran ampliamente desarrollados en la región este y centro de la provincia de Salamanca. Son parte de una cronosecuencia localizada en los alrededores de Santa Teresa de Tormes, en la margen derecha del río Tormes, y han sido ampliamente estudiados por Alonso (1989).

Los materiales fluviales que constituyen las terrazas y llanuras de inundación actuales, a partir de los cuales se han formado estos suelos proceden de la erosión de rocas y sedimentos silíceos: pizarras, cuarcitas, areniscas y gneisses y sobre todo granitos. Son materiales sueltos, estratificados en niveles de distinta granulometrías. Los más abundantes son las arenas seguidas de las gravas (gravas, piedras y pedregón), mientras que las fracciones finas son en general muy escasas. Ocasionalmente, los limos alternan con los materiales arenosos y sólo adquieren relevancia en determinados lugares, en donde las aguas circularon con bajas energías.

Estos cuatro suelos, F0, F1, F2 y F3a, se encuentran situados en la llanura de inundación y en el primer, segundo y tercer nivel de terrazas, a unas alturas sobre el cauce actual del río de +3, +12, +22 y +63 metros respectivamente. Utilizando datos estratigráficos y arqueológicos de Santonja *et al.* (1976, 1982, 1984) y de Pérez González, (1982) y teniendo en cuenta la elevación de cada superficie sobre el nivel actual del río, hemos calculado la edad para estas superficies: 700, 40.000, 200.000 y 600.000 años respectivamente.

El suelo F0 se corresponde con un Regosol dístrico-cumúlico (FAO, 1988) o Dystric-Aquic Xerorthent (Soil Taxonomy, 1975). El F1 es un Luvisol háplico-freático (FAO, 1988) o Aquultic-Haploxeralf (Soil Taxonomy, 1975). Mientras que los suelos F2 y F3a han sido clasificados respectivamente como Luvisol cálcico-planolúvico (FAO, 1988) o Calcic Palexeralf (Soil Taxonomy, 1975) y Acrisol háplico-planolúvico (FAO, 1988) o Thapto-alfic Typic Rhodoxerals (Soil Taxonomy, 1975).

## MÉTODOS

A nivel granulométrico hemos contrastado la homogeneidad/heterogeneidad por varios parámetros: % de gravas, razón arena total/limo, e índice CPSD (Comparative Particle Size Distribution) de Langhor y Van Vliet, 1979.

Con el índice CPSD de Langhor *et al.* (1976) se puede evaluar el grado de similitud entre la granu-

lometría de dos muestras (Langhor y Van Vliet, 1979; Chittleborough *et al.*, 1984). Para su cálculo se utilizan las cinco subfracciones arena que considera la Soil Taxonomy (USDA, 1975), en muestras descarbonatadas y por comparación entre los distintos horizontes de cada suelo aplicando la fórmula:

$$I = \sum_{i=L}^n m_i$$

donde I = índice CPSD; n = núm. de fracciones consideradas;  $m_i$  = porcentaje más bajo de la fracción "i", para cada una de las fracciones comparadas. Como se indica en la figura 1, el índice CPSD representa pues el % de coincidencia entre la granulometría en las muestras comparadas.

Las discontinuidades mineralógicas se han analizado utilizando una variada gama de técnicas:

— Microscopía óptica: para minerales pesados de las arenas finas (0.2-0.02 mm) y para las arenas gruesas (2 - 0.2 mm).

— Difracción de rayos X para la fracción arena y limo (2 - 0.002 mm).

— Fluorescencia de rayos X para la fracción arena y limo (2 - 0.002 mm).

Los métodos de muestreo, preparación y determinación seguidos han sido los tradicionalmente utilizados en este tipo de estudios.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### *Discontinuidades granulométricas*

La posible heterogeneidad de los materiales que han dado origen a un suelo se pueden deducir por cambios bruscos de la granulometría de las fracciones más estables (gravas y arenas), si bien habrá que tener siempre presente las posibles modificaciones ejercidas por los procesos edáficos.

Para cada uno de los parámetros granulométricos considerados (% gravas, índice CPSD y razón arena/limo) se ha calculado las diferencias entre cada par de horizontes inmediatamente adyacentes y se han definido unos términos (brusco, neto y difuso) en función de la intensidad del cambio que muestran.

Los criterios utilizados para definir estos cambios así como los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 1. De las 22 parejas de horizontes adyacentes analizados se ha encontrado que nueve de ellos no presentan ninguna posible discontinuidad para ninguno de los tres parámetros evaluados, mientras que

son ocho los que presentan al menos un cambio neto. En ningún caso se ha encontrado un cambio neto (o brusco para los tres parámetros, aunque si se ha presentado una vez un cambio brusco junto a otro neto (en el suelo F0 a los 78 cm) e incluso, en otro caso, han coincidido los tres parámetros con un cambio discreto (suelo F2, a los 120 cm).

En base a la importancia de los cambios (como concretamente se detalla en el pie de la citada Tabla 1) se han establecido seis discontinuidades para estos suelos (3 marcadas y 3 como muy posibles) y se ha señalado la posición de otras cuatro con carácter dudoso, a confirmar por los métodos mineralógicos. De estas seis discontinuidades el carácter más decisivo ha sido el % de gravas que ha influido en todas menos en una. El porcentaje de gravas representa el dato más valioso y fácil de manejar para detectar posibles heterogeneidades de los materiales fluviales. En general, estos suelos presentan un marcado carácter heterogéneo, que por otra

., TABLA 1

*Discontinuidades granulométricas para estos suelos.*

SUELO Horz.	Profund. cm	Gravas %	CPSD	Ar/lim	DISC	CAMB	SUELO Horz.	Profund. cm	Gravas %	CPSD	Ar/lim	DISC	CAMB
F 0							F 2						
1	0 - 43	1	=	10.9		SSS	1	0 - 20	45	==	3.4		SSS
2	43 - 54	0.1	≠	7.1	----	SDD	2	20 - 40	56	====	3.1	----	BSS
3	54 - 62	0,01	~	17.9		SSS	3	40 - 75	11	==	4.0	---	SSN
4	62 - 78	1,4	≠≠	13.4	====	BNS	4	75 - 120	21	≠	17.6	====	DDD
5	78 - 105	73	~	25.5		SSS	5	120 - 175	47	==	6.4	---	SSN
6	105 - 130	72		42.4			6	175 - 225	38		30.3		
F 1							F 3a						
1	0 - 28	46	====	5.1		SSS	1	0 - 22	25	==	4.0		DSS
2	28 - 50	67	~	6.1		SSS	2	22 - 85	67	≠	3.9	====	BDS
3	50 - 105	52	==	9.6		SSS	3	85 - 135	0.5	==	7.7		SSS
4	105 - 122	39	~	10.6	----	BSS	4	135 - 153	7	~	12.7	---	SSN
5	122 - 132	7	=	7.2		SSS	5	153 - 183	0.3	~	1.5	---	SSN
6	132 - 160	7		5.9			6	183 - 205	0.8	~	6.8		SSD
							7	205 - 238	1	≠	19.1		SDS
							8	238 - 250	3		20.7		

Las discontinuidades las clasificamos según la intensidad del cambio entre dos horizontes inmediatos y en función de la coincidencia en un mismo nivel de cambios de varios parámetros.

#### INTENSIDAD DE CAMBIOS PRODUCIDOS PARA CADA PARAMETRO GRANULOMETRICO:

Cambios netos (—): variaciones  $> 200\%$  para las gravas y para la razón arena/limo, y con una similitud  $< 50\%$  ( $\neq$ ) para el índice CPSD.

Cambios discretos (- - -): variaciones entre  $200 - 100\%$  para las gravas y para la razón arena/limo y con una similitud del  $70 - 50\%$  ( $\neq$ ) para el índice CPSD.

Para las gravas, se ha definido el cambio brusco (===) cuando las diferencias superan el  $500\%$ . En aquellos casos en que los porcentajes de gravas sean siempre inferiores al  $10\%$  no se aplican estos criterios.

#### DISCONTINUIDADES DEFINIDAS:

MARCADAS (===): como mínimo cambios netos en dos parámetros, o cambios discretos en tres parámetros, o brusco en las gravas y discreto (o neto) en otro parámetro.

MUY POSIBLES (—): con cambios discretos en dos parámetros (o un neto y un discreto), o brusco en las gravas.

DUDOSAS (- - -): con cambios netos en un parámetro.

#### GRADO DE SIMILITUD DEL INDICE CPSD:

===	Máxima identidad (100 - 94%).	~	Media o similares (85 - 70%).
==	Muy alta (94 - 90%).	≠	Baja o distintos (70 - 50%).
=	Alta (90 - 85%).	≠≠	Muy baja o muy distintos ( $< 50\%$ ).

CPDS = Comparative Particle Size Distribution index de Langhor *et al.* (1976).

Ar/lim = Arena total / Limo.

DISC = Discontinuidades definidas.

CAMB = Cambios. B = brusco. N = neto. D = discreto. S = sin cambios.

parte es fácil de justificar habida cuenta el carácter periódico de las acumulaciones fluviales.

Junto con el porcentaje de gravas, el índice CPSD ha proporcionado también excelentes resultados. Este parámetro ha detectado importantes cambios en cuatro de las seis discontinuidades establecidas. Además, este índice permite comparar no sólo dos horizontes inmediatamente próximos sino que también permite comparar un horizonte y todos los demás del suelo o incluso todos ellos entre sí.

Por el contrario, la razón arena/limo ha resultado ser el criterio de menor influencia ya que sólo ha influido en la detección de dos discontinuidades y en sólo una ha representado un factor decisivo. Sin embargo, este test de homogeneidad ha sido utilizado por numerosos autores (Raad y Protz, 1971; Ritchie *et al.*, 1974; Evans y Adams, 1975; Smeck *et al.*, 1981). Los cambios bruscos de estos índices, no justificables por procesos edáficos, serán indicativos de la presencia de discontinuidades. Como es lógico al trabajar con sólo dos fracciones y una de ellas relativamente inestable (los limos) se obtienen resultados mucho menos fiables que los que proporcionan los otros parámetros (también hemos utilizado la razón arena total/arena fina pero sin que los resultados mejoraran sensiblemente).

### *Discontinuidades mineralógicas*

En la Tabla 2 comparamos los resultados obtenidos por todas las técnicas mineralógicas empleadas. Los parámetros mineralógicos se han agrupado en tres clases (A, B y C), según sus relaciones mutuas. Dentro de cada grupo se ha definido un valor

de disimilitud ( $\neq$ ) para cuantificar la diferencia existente entre los valores de los parámetros mineralógicos utilizados para cada par de horizontes inmediatos. Este grado de heterogeneidad " $\neq$ " es medido por la diferencia entre los valores de los dos horizontes comparados para cada razón mineralógica analizada, dividida por el valor más pequeño de ellos. Para calcular el valor " $\neq$ " dentro de cada grupo de parámetros (A, B y C) se suman los valores individuales, no teniéndose en cuenta para esta suma los valores individuales inferiores a 0.50.

Las discontinuidades quedan definidas de la siguiente manera:

MARCADAS (==) para valores de " $\neq$ "  $\geq 1$  en todos los grupos de índices de homogeneidad, o de valor  $\geq 2$  en al menos dos grupos.

MUY POSIBLES (-) para valores de " $\neq$ "  $\geq 1$  en dos grupos y nulo en el tercero.

DUDOSAS (- - -), para valores de " $\neq$ "  $\geq 2$  en un solo grupo, siendo nulo en los restantes.

Como primera conclusión destaca el hecho de que las variaciones entre valores de las parejas de horizontes contiguos oscilan entre valores mucho más estrechos que lo hacían para los parámetros granulométricos (es por ello que los valores límites para los distintos términos se han rebajado aquí).

De las 22 parejas evaluadas sólo en seis ocasiones han coincidido cambios importantes en los tres parámetros considerados. En base al comportamiento de las razones mineralógicas se han establecido cinco discontinuidades (cuatro de ellas

TABLA 2

## Discontinuidades mineralógicas.

Suelo Horz.	0.2-0.02 mm		≠	2-0.2mm			≠	2 - 0.002 mm			≠	CAMB	DISC
	R.A.B.T. Z	Turm Z		Feld. Q	Feld. Q	FeldK Q		Ti Zr	Ti Y	Zr Y			
F 0													
1	0.38	0.57		0.96	1.33	0.53		13.77	185.2	13.44			
2	0.31	0.92		1.10	1.15	0.40	3.1	15.84	200.0	12.63		F	---
3	0.50	1.00		1.96	1.95	1.06	1.7	23.33	186.7	8.00		F	---
4	0.38	0.92		1.20	1.33	0.50	2.7	25.86	250.0	9.67		F	---
5	0.43	1.07	2.6	0.73	0.56	0.29		20.34	150.0	7.38		P	---
6	0.12	0.80		0.55	0.38	0.20		21.78	183.3	8.42			
F 1													
1	0.38	1.46		0.37	0.41	0.21		11.58	209.5	18.09			
2	0.25	2.00		0.30	0.42	0.22	1.8	10.79	195.2	18.09		F	---
3	0.29	2.50		0.13	0.27	0.15	1.5	9.60	184.6	19.23		F	---
4	0.25	1.75		0.33	0.20	0.20		14.03	200.0	14.25			
5	nd	nd		0.20	0.28	0.21		15.95	241.2	15.12	1.4	X	---
6	0.43	1.60		0.23	0.19	0.12		17.64	415.4	25.44			
F 2													
1	0.01	3.2	75	0.16	0.41	0.24		9.83	170.0	17.3		P	---
2	0.75	4.12		0.24	0.39	0.22	4.5	12.06	227.8	18.89	1.1	FX	---
3	0.40	3.00	2.6	0.12	0.14	0.08	7.3	18.18	208.7	11.48		PF	---
4	0.31	0.84	9.6	0.36	0.60	0.24		11.43	160.0	14.00	2.9	PX	---
5	0.75	7.75	5.4	0.60	0.68	0.28		13.08	70.0	5.35	1.8	PX	---
6	0.40	1.40		0.60	0.71	0.39		22.77	143.7	6.31			
F 3a													
1	0.20	3.60	1	0.08	0.33	0.23		9.34	173.9	18.61		P	---
2	0.40	2.90	1.5	0.07	0.32	0.20	1.3	13.49	255.0	18.90	2.2	PFX	---
3	1.00	2.67	3.4	0.16	0.44	0.22		10.88	108.8	10.00	2.8	PX	---
4	0.33	1.11		nd	0.56	0.27		17.48	283.3	16.21			
5	0.40	0.80		0.75	0.71	0.34		12.19	238.1	19.52			
6	0.40	0.90		0.55	0.98	0.41		14.21	257.1	18.09			
7	0.43	1.28		0.36	0.79	0.38		14.07	203.6	14.46	1.32	X	---
8	0.50	1.75		0.41	0.44	0.28		23.29	340.0	14.60			
Grupo	A			B			C						

R = rutilo; A = anatasa; B = broquita; T = titanita; Z = circón; Turm. = turmalina; Feld. = feldespatos; Feld. K = feldespatos potásicos; Q = cuarzo; Ti = titanio; Zr = circonio; Y = itrio. nd = no determinados.

Para cada parámetro la intensidad de los cambios entre los valores de dos horizontes inmediatos se ha evaluado; muy fuerte (≡) ≥ 200 %, fuerte (---) entre 200-100%, moderado (- - -) para 100-50 %. P = cambios importantes en minerales pesados. F = cambios importantes en la razón Feld/cuarzo. X = cambios importantes por resultados en fluorescencia de rayos X.

Discontinuidades: marcadas (≡) valores de ≠ ≥ 1 en los tres grupos. o ≥ 2 en dos grupos; muy posibles (---) valores de ≠ ≥ 1 en dos grupos; dudosas (- - -) valores de ≠ ≥ 2 en un grupo. Más explicación en el texto.

muy marcadas), todas ellas en los suelos F2 y F3a.

El mejor parámetro de diagnóstico ha resultado corresponder a las razones entre los minerales pesados de la fracción arena fina de suelos (con representación en las cinco discontinuidades definidas), seguido de los parámetros calculados a partir de la técnica de fluorescencia de rayos X (con cambios importantes en siete parejas de horizontes, cuatro de ellas corresponden a las discontinuidades admitidas). De las dos razones de minerales pesados utilizadas, ha sido la correspondiente a la turmalina y circón la que nos ha ofrecido mejores resultados.

En la fracción pesada de las arenas finas se concentran la mayoría de los minerales estables como el circón, turmalina, rutilo, anatasa, broquita, titanita y distena, pero al estar presentes en cantidades muy escasas su posible utilización como índices de homogeneidad la consideramos desaconsejable para estos suelos, dada la inmensa cantidad de granos que habría que contar para obtener resultados fiables.

La turmalina se encuentra frecuentemente en proporciones mayores por lo que podría ser utilizada como mineral índice. El circón podría ser elegido como pareja de la turmalina, aunque su porcentaje es algo escaso en algunos horizontes.

En definitiva, aunque estas técnicas son en general de gran interés, en el caso concreto de los suelos que estamos estudiando resultan ser demasiado lentas para obtener resultados reproducibles desde el punto de vista estadístico.

En cuanto a las fracciones gruesas, hemos encontrado, para los cuatro

suelos elegidos, que están fomasdas fundamentalmente por cuarzo junto a feldespatos en cantidades medias y mica en bajas proporciones, por lo que en estas fracciones sólo se puede utilizar la razón feldespatos/cuarzo. Aunque la utilización del contenido en feldespatos puede ser muy con flictiva, nosotros los hemos tenido en cuenta al tratarse fundamentalmente de feldespatos potásicos, junto a los términos sódicos de las plagioclasas, y por tanto los feldespatos de estos suelos se pueden considerar como una fase bastante estable.

Los cambios suaves de esta razón son atribuibles simplemente a los procesos edáficos de alteración de los feldespatos, mientras que las posibles discontinuidades se deberían de poner de manifiesto por cambios bruscos de estas razones.

Las razones feldespatos/cuarzo apenas han aportado algún interés para este estudio. Así han mostrado cambios bruscos en ocho ocasiones pero solamente dos de ellas han representado finalmente discontinuidades. Estos resultados son lógicos dado que los feldespatos representan los minerales menos estables de todos los elegidos en este trabajo.

Por el método de difracción de rayos X se consiguen resultados similares a los obtenidos para la razón feldespatos/cuarzo de las técnicas ópticas, si bien el procedimiento es muchísimo más rápido. No obstante, este parámetro sigue siendo poco operativo ya que el mineral de referencia frente al cuarzo debería ser otro más estable que los feldespatos (además, no debemos olvidar las dificultades prácticas que presenta el análisis cuantitativo de rayos X).

La técnica de fluorescencia de rayos X ha resultado ser claramente la que ha proporcionado los mejores resultados. Por fluorescencia de rayos X se determinó el titanio, circonio e itrio (como elementos representativos de los minerales rutilo, anatasa, brooquita, titanita, circón y xenotina) de las fracciones gruesas (excluida la arcilla, que por su movilidad podría haber creado importantes modificaciones en los resultados).

El itrio representa a un mineral muy estable, pero sus bajos contenidos hacen que los errores analíticos puedan enmascarar los resultados. El titanio es el más abundante en estos suelos, pero representa a minerales no totalmente estables, ya que como hemos podido comprobar mediante microanálisis de energía dispersiva de rayos X, las biotitas de estos suelos contienen importantes cantidades de Ti (Tabla 3) y como ya se ha señalado que este mineral inestable es relativamente abundante en nuestros suelos. Por último, el circonio como indicador del circón, mineral muy estable, es el elemento

que proporciona los mejores resultados.

En definitiva, este amplio abanico de técnicas lo hemos utilizado por dos motivos:

— Búsqueda de un índice de uniformidad mineral que sea rápido, eficaz y fiable. Que sea suficientemente rápido, tanto en lo referente a la preparación y montaje de las muestras como en la etapa final de identificación y cuantificación.

— Confirmación de posibles discontinuidades por coincidencia de cambios entre dos o más índices a un mismo nivel edáfico.

#### *Comparación entre discontinuidades granulométricas y mineralógicas*

En la Tabla 4 comparamos las discontinuidades puestas de manifiesto por los métodos mineralógicos junto a las discontinuidades debidas a cambios granulométricos.

Ambas técnicas coinciden plenamente al poner de manifiesto que el material original del suelo F2 fue el

TABLA 3

*Microanálisis de biotitas por energía dispersiva de rayos X (%).*

Muestra	Si	Al	K	Ca	Fe	Ti	O
1	20.3	11.1	1.7	0.3	19.5	3.4	43.3
2	20.7	11.1	1.3	0.4	19.7	3.9	43.0
3	20.4	10.9	3.2	0.2	19.0	3.9	42.4
4	19.5	9.7	2.6	0.5	20.6	3.1	43.9
5	20.6	10.2	2.4	0.2	20.5	3.0	43.1
6	19.1	7.5	9.1	—	21.5	3.5	39.3
7	18.7	7.6	9.4	0.1	21.7	3.5	38.9
Media	19.9	9.7	4.2	0.2	20.3	3.5	42.0

TABLA 4

*Comparación entre las discontinuidades granulométricas y mineralógicas.*

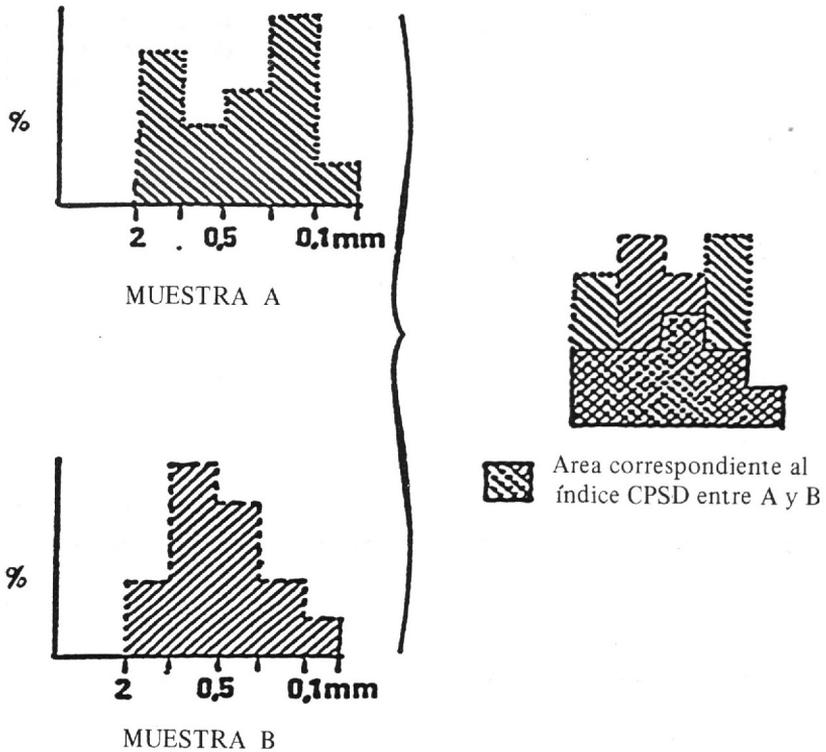
Suelo hor.	Prof. cm	Hor. campo	DISCONTINUIDADES			Suelo hor.	Prof. cm	Hor. campo	DISCONTINUIDADES		
			GRAN.	MINE.	Hor. final				GRAN.	MINE.	Hor. final
<b>F0</b>						<b>F2</b>					
1	0 - 43	Ap			Ap	1	0 - 20	Ap1			Ap1
2	43 - 54	Ab1			Ab1	2	20 - 40	Ap2		----	Ap2
3	54 - 62	C1	----		2C1	3	40 - 75	Bt	----	----	2Bt
4	62 - 78	Ab2			2Ab2	4	75 - 120	Btg	---	====	2Btg
5	78 - 105	2C2	====		3C2	5	120 - 175	Bck1	====	====	3BCtk
6	105 - 130	2C3		---	3C3	6	175 - 225	Bck2	---	----	3CBtk
<b>F1</b>						<b>F3a</b>					
1	0 - 28	Ap			Ap	1	0 - 22	Ap			Ap
2	28 - 50	Bt			BA	2	22 - 85	Bt	====	====	Bt
3	50 - 105	Btg			Btg	3	85 - 135	Btb		====	2Btb
4	105 - 122	CBg1			CBtg1	4	135 - 153	2Ck/Btb		====	3CB/Btb
5	122 - 132	2CBg2	----		2CBtg2	5	153 - 183	2Ck1	---		3CBtk1
6	132 - 160	2Ckg			2Ckg	6	183 - 205	2Ck2	---		3CBtk2
						7	205 - 238	2Ck3			3CBtk3
						8	238 - 250	2C1			3CBt1

==== marcadas; ---- muy probables; --- dudosas.

hor. =horizonación.

Gran. = granulométricas.

Mine. = mineralógicas.



CPSD %	Representación	GRADOS DE SIMILITUD	AUTORES
100 - 94	===	Máxima o identidad	Langhor y Van Vliet (1979)
94 - 90	==	Muy alta	Langhor y Van Vliet (1979)
90 - 85	=	Alta	Langhor y Van Vliet (1979)
85 - 70	~	Media o similares	Chittleborough et al. (1984)
70 - 50	≠	Baja o distintos	En este trabajo
< 50	≠≠	Muy baja o muy distintos	En este trabajo

FIG. 1.—Cálculo del CPSD índice (*Comparative Particle Size Distribution index*) de Langhor, et al. (1976) para evaluar el grado de similitud entre la granulometría de dos muestras.

más heterogéneo. Después vendría el F3a, seguido del F0 y finalmente el que presenta menos discontinuidades en el suelo F1.

La correspondencia entre las discontinuidades granulométricas y mineralógicas es bastante alta en el suelo F2. Así a los 120 cm de profundidad ambas técnicas muestran una discontinuidad muy manifiesta (discontinuidad que no había sido detectada en la descriptiva morfológica del perfil en el campo). A otras profundidades se destacan discontinuidades por ambos procedimientos, si bien varía el grado de manifestación en cada caso concreto.

En el suelo F3a aparece una discontinuidad muy marcada a los 85 cm de profundidad, puesta de manifiesto tanto por los parámetros granulométricos como mineralógicos. En este nivel existe un paleosuelo enterrado detectado en la descriptiva del perfil y confirmado por micromorfología.

Por otra parte también hemos de destacar que se han encontrado discontinuidades que aparecen suficientemente probadas por la granulometría que no han sido confirmadas por las técnicas mineralógicas (en el suelo F0 a 54 y 78 cm, en el F1 a 122 cm) o viceversa (en el suelo F3a a 153 cm). Esto también es lógico pues debemos de aceptar que se puede producir cambios en la granulometría de los depósitos fluviales sin que forzosamente implique otros cambios en sus constituyentes minerales o viceversa.

Además, no debemos de olvidar que los procesos edáficos tenderán a enmascarar las primitivas discontinuidades. Así, desde el punto de vista teórico, un depósito fluvial

típico está siempre estratificado. Estas discontinuidades se mantienen en el fluvisol. Al evolucionar hacia regosol la estratificación inicial se va enmascarando. Finalmente, al llegar a los estadios de cambisol y luvisol la acción de los procesos edáficos tiende a borrar las discontinuidades originales adquiriendo una horizonación propia de cada tipo de suelo, de manera que cada vez resultará más difícil poner de manifiesto las discontinuidades iniciales. Cabe pues esperar que cuanto más evolucionado sea un suelo más difícil resulte reconocer sus primitivas discontinuidades. En los suelos estudiados hemos encontrado que hasta en los suelos más antiguos (suelo F2 y F3a con varios cientos de miles de años) los parámetros utilizados han permitido poner de manifiesto la existencia de numerosas discontinuidades tanto granulométricas como mineralógicas.

Por último, en la citada Tabla 4 se puede comprobar como las discontinuidades definidas en la descripción morfológica de campo se han confirmado en todos los casos por los métodos de laboratorio. La utilización de los parámetros granulométricos y mineralógicos considerados han permitido detectar la existencia de numerosas discontinuidades que habían pasado totalmente desapercibidas en el estudio morfológico del perfil.

En general, observamos que el análisis granulométrico es más sensible que el mineralógico. Esto es lógico ya que al tratarse de materiales procedentes siempre de la misma área fuente, la disponibilidad de minerales será similar para todos los aluviones, pero sin embargo su granulometría puede variar en un amplio

rango dependiendo de la energía que en cada momento posean las aguas del curso fluvial o bien en función de la posición relativa en cada momento respecto al cauce. En definitiva, para los suelos de esta región, y previsiblemente para otros suelos de terrazas fluviales, el análisis gra-

nulométrico es más resolutivo (y más fácil de realizar) que el mineralógico para poner de manifiesto la existencia de discontinuidades, pero ambos son recomendables de realizar ya que cubren aspectos distintos y complementarios.

## CONCLUSIONES

Los resultados expuestos se pueden sintetizar en las siguientes conclusiones:

El carácter heterogéneo de los materiales fluviales que constituyen las terrazas analizadas se ponen claramente de manifiesto tanto por criterios granulométricos como mineralógicos. Ambas técnicas coinciden al evaluar al suelo F2 como el más heterogéneo. Después viene el F3a, seguido del F0 y finalmente el más homogéneo es el F1.

En general, se ha encontrado una buena correspondencia entre los métodos granulométricos y mineralógicos, si bien en varios casos se han encontrado discontinuidades para un parámetro sin que haya podido ser detectado por el otro procedimiento.

El análisis granulométrico ha resultado ser más sensible para poner de manifiesto la posible presencia de discontinuidades que los métodos mineralógicos. Ello puede ser atribuido a las propias condiciones de formación de los depósitos fluviales.

Ambas técnicas se consideran adecuadas para el estudio de la homogeneidad/heterogeneidad de los materiales originales de los suelos, al cubrir aspectos distintos, y por tanto, en cierto modo, complementarios.

Los resultados de los análisis granulométricos y mineralógicos han confirmado las discontinuidades detectadas en el estudio del perfil en el campo, pero además han permitido poner de manifiesto otras que habían pasado totalmente desapercibidas en el estudio macromorfológico del suelo.

Las discontinuidades se han detectado con la misma facilidad en los suelos más antiguos (de hasta 600.000 años) como en los más jóvenes (unos pocos cientos de años).

El porcentaje de gravas ha representado el dato más fácil y valioso para poner de manifiesto la presencia de discontinuidades.

Junto al contenido en gravas, es el índice CPSD el parámetro que nos ha ofrecido los mejores resultados. Además este índice permite evaluar la similitud no sólo entre dos horizontes vecinos sino que es posible evaluar bloques de horizontes entre sí.

La razón arena/limo ha resultado ser de muy bajo valor resolutivo en este estudio.

De las técnicas mineralógicas la que mejores resultados ha proporcionado ha sido la fluorescencia de rayos X (Ti/Zr, Ti/Y, Zr/Y, en arenas y limos).

La microscopía de la fracción pesada de las arenas finas es muy interesante siempre que sus minerales estables se encuentren en suficientes cantidades. De cualquier forma es una técnica muy especializada, lenta y difícil de trabajar.

Las otras técnicas utilizadas, microscopía de las arenas gruesas y

difracción de rayos X de arenas y limos, no han proporcionado resultados fiables. Ello ha sido debido a la propia naturaleza de los minerales evaluados. La razón cuarzo/feldespatos más que un índice de homogeneidad representan un buen parámetro del grado de alteración de los horizontes del suelo.

### BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, J. D., BEAVERS, A. H. and JOHNSON, P. R., 1962. Zirconium content of coarse silt in loess and till of Wisconsin age in northern Illinois. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26: 189-191.
- ALONSO, P., 1989. Cronosecuencias de suelos en la cuenca del río Tormes. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.
- 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. Proc.*, 32: 265-271.
- CHITTLEBOROUGH, D. J., WALKER, P. H. and OADES, J. M., 1984. Textural differentiation in chronosequences from eastern Australia. I. Descriptions, chemical properties and micromorphologies of soils. II. Evidence from particle size distributions. III. Evidence from elemental chemistry, *Geoderma*, 32: 181-248.
- EVANS, L. J. and ADAMS, W. A., 1975. Quantitative pedological studies on soils derived from Silurian mudstones. IV. Uniformity of the parent material and evaluation of internal standards. *J. Soil Sci.*, 26: 319-326.
- FANNING, D. S. and JACKSON, M. L., 1967. Zirconium content of coarse silt from some Wisconsin soils and sediments. *Soil Sci.*, 103: 253-260.
- FAO, 1988. *Soil Map of the World*. 1:5,000,000. Revised legend. World Soil Resources Report 60 Roma.
- LANGOHR, R., SCOPPA, C. D. and VAN WAMBEKE, A., 1976. The use of a comparative particle size distribution index for the numerical classification of soil parent materials: application to Mollisols of the Argentinian pampa. *Geoderma*, 15: 305-312.
- LANGOHR, R. and VAN VLIET, R., 1979. Clay migration in well to moderately well drained acid brown soils of the Belgian Ardennes: morphology and clay content determination. *Pedology*, 29: 367-385.
- PEREZ GONZALEZ, A., 1982. Cuaternario de la hoja núm. 479 (Peñaranda de Bracamonte). Ministerio de Industria, I. G. M. E.
- RAAD, A. T. and PROTZ, R., 1971. A new method for the identification of sediment stratification in soils of the Blue Springs Basin, Ontario. *Geoderma*, 6: 23-41.
- RITCHIE, A., WILDING, L. P., HALL, G. F. and STAHNKE, C. R., 1974. Genetic implications of B horizons in Aqualls of northeastern Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38: 351-358.
- SANTONJA, M. y QUEROL, A., 1976. Estudio de industrias del Paleolítico inferior pro-

- cedentes de una terraza del Tormes (Galiancho, Salamanca). *Zephirus*, XXVI-XXVII: 97-109.
- SANTONJA, M., QUEROL, A. y PEREZ GONZALEZ, A., 1982. El yacimiento de La Maya I y la secuencia paleolítica del valle del Tormes. *Actas de la II Reunión Regional de Geología del Duero* (Salamanca, 1979), 2.<sup>a</sup> parte: 641-662. *Temas Geológico-Mineros*, VI, I. G. M. E.
- SANTONJA, M. y PEREZ GONZALEZ, A., 1984. Las industrias paleolíticas de La Maya I en su ámbito regional. Ministerio de Cultura. *Excavaciones arqueológicas en España*.
- SMECK, N. E., RITCHIE, A., WILDING, L. P. and DREES, L. P., 1981. Clay accumulation in sola of poorly drained soils of western Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45: 95-102.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975. *Soil Taxonomy*. Agriculture Handbook 436, U. S. D. A., Washington, D. C.
- SUDOM, M. D. and ARNAUD, R. J. St., 1971. Use of quartz, zirconium and titanium as indices pedological studies. *Can. J. Soil Sci.*, 51: 385-396.

*Recibido de la Comisión: 21-5-91.*  
*Aceptado para publicación: 10-10-91.*