

## NUEVOS INDICES CRONOLOGICOS DE EVOLUCION DE LOS SUELOS EN TERRAZAS FLUVIALES

E. Roquero \*, J. L. Goy \*\* y C. Zazo \*\*\*

### RESUMEN

Se estudia una cronosecuencia en el sistema de terrazas fluviales del río Tajo, en el sector comprendido entre Aranjuez y Toledo (España Central) con el fin de establecer la variación de las propiedades de los suelos con el tiempo. La cronología relativa del sistema de terrazas se establece según dataciones por faunas de vertebrados, industrias líticas, criterios cartográficos y geomorfológicos relativos y por correlación con otros sistemas de terrazas de la Cuenca del Tajo.

Se establecen unos índices como criterios de la evolución del suelo: CA, porcentaje de arcilla en el horizonte argílico (Bt); CGA, contenido global de arcilla, que corresponde al producto del contenido de arcilla por el espesor del horizonte argílico en cm; ILU, índice de iluviación, relación entre el porcentaje de arcilla en el horizonte Bt/porcentaje de arcilla en el horizonte A; y, AC/L, índice de vejez, relación entre el porcentaje de arcilla/porcentaje de limo en el horizonte Bt. Se realiza el estudio estadístico de las correlaciones lineales entre estos índices y la edad relativa de los suelos estimada a través de la cota relativa de los niveles de terrazas correspondientes. El índice de vejez (AC/L) es el que muestra los mejores resultados como criterio cronológico de evolución edáfica en la cronosecuencia estudiada.

La aplicación de estos índices cronológicos a otras cronosecuencias de terrazas fluviales (río Henares y río Esla) confirma la utilidad de estos criterios de la evolución del suelo. Los mejores resultados se obtienen para el índice de vejez, y en segundo lugar el contenido de arcilla, y el contenido global de arcilla. El índice de iluviación presenta una mayor variabilidad, y su uso como criterio cronológico de evolución es menos preciso, debido a que resulta más afectado por la conservación total o el truncamiento parcial del perfil original.

**Palabras clave:** *Cronosecuencia, índice, contenido de arcilla (CA); contenido global de arcilla (CGA); iluviación (ILU), vejez (AC/L).*

### ABSTRACT

A soil chronosequence on fluvial terraces of the Tajo river (Aranjuez-Toledo sector, Central Spain) is studied in order to establish the variation of soil properties with time. Relative chronology of terraces has been established based on vertebrates fauna, lithic industry, geomorphic criteria, and by correlation with other terrace systems of the Tajo basin.

Some indices have been established as estimators of soil evolution degree: CC: clay content (%) in Bt horizon; GCC: global clay content, obtained by the product of thickness and clay percentage of Bt; CS: clay/silt ratio, which results from the division of clay percentage and silt percentage in Bt horizon, and constitutes an estimation of the soil ageing; ILL: illuviation index, or ratio between clay content in Bt horizon and clay content in the overlying horizon.

The study of correlations among the properties of argillic horizons and the aforementioned indices and the relative age of the soils have been carried out. The application of these indices to other similar chronosequences confirm their validity. The best results have been obtained for the CS index (ageing index), GCC and CC. Illuviation index shows a great variability, so its use as an evolution criterion is less precise, because it is affected by the total preservation or truncation of the upper part of the original profile.

**Keywords:** *Chronosequence, indices, clay content (CC); global clay content (GCC); illuviation (ILL), ageing (clay silt ratio, CS).*

\* Dpto. de Edafología. E.T.S. Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid.

\*\* Dpto. de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. 37008 Salamanca.

\*\*\* Dpto. de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. José Abascal, 2. 28006 Madrid.

## Introducción

Los sistemas de terrazas fluviales constituyen ejemplos de cronosecuencias muy adecuados para el estudio de la evolución de los suelos, debido a que puede estimarse con facilidad el factor tiempo, incluso cuando no se disponga de cronologías absolutas, puesto que la cronología relativa se puede establecer con suficiente precisión mediante criterios faunísticos, geomorfológicos y cartográficos. En este sentido son especialmente interesantes los trabajos realizados en cronosecuencias de terrazas fluviales (Torrent, 1976; Medina, 1977; Little *et al.*, 1981; Jongmans *et al.*, 1991), donde algunos autores tratan de cuantificar el grado de evolución de los suelos a través de índices morfológicos (Alonso *et al.*, 1994) o analíticos (Dorronsoro *et al.*, 1992; Roquero, 1994).

El objeto de este trabajo es establecer índices de evolución del suelo en función del tiempo en una cronosecuencia de terrazas fluviales en el valle medio del río Tajo y comprobar su aplicación a otras cronosecuencias de la misma y de distinta cuenca (Henares y Esla, respectivamente), con una finalidad más amplia como la posible aplicación de alguno de estos índices al conocimiento de ciertos horizontes diagnósticos como el horizonte argílico.

La caracterización del horizonte argílico diagnóstico en la Soil Taxonomy USDA suele considerarse como una de las grandes aportaciones del sistema, y para ello se exige entre otras propiedades (desde el inicio de la Soil Classification, 7th Approximation en 1960, y con muy pocas variaciones de detalle hasta la última modificación en 1992) unas relaciones de los contenidos en porcentaje de arcilla del horizonte A eluvial si permanece preservado, y del subsuperficial B caracterizable como argílico (que para las texturas intermedias corresponde a un valor de 1.2).

Esta especificación es por tanto sólo aplicable cuando es evidente la permanencia del horizonte A eluvial, lo que no es muchas veces fácil de establecer. Por el contrario si disponemos de características intrínsecas al propio horizonte Bt como puede ser la relación AC/L del mismo se obvia la indeterminación antes expuesta.

## Descripción del área estudiada

El área de estudio se localiza en el sector de la Cuenca del Tajo comprendido entre Aranjuez y Toledo en el límite meridional de la provincia de Madrid (fig. 1). Geológicamente está situada en la Cuenca Terciaria de Madrid (Calvo *et al.*, 1989) limitada al norte por el Sistema Central, al este por la Sierra de Altomira, y al sur por los Montes de Toledo. El relleno de la cuenca está formado por materiales paleógenos, neógenos y cuaternarios. Los materiales cuaternarios, de gran extensión

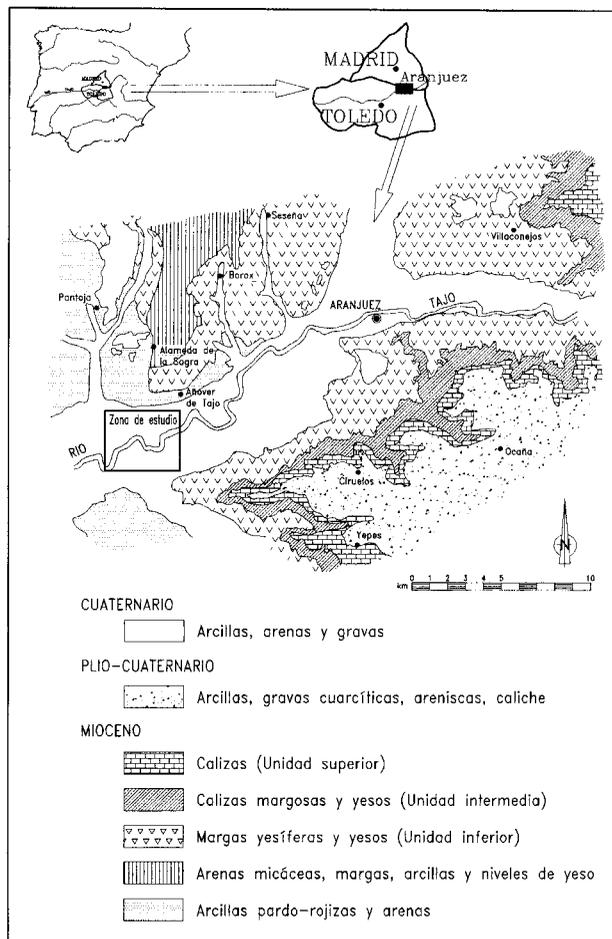


Fig. 1.—Situación geográfica y contexto geológico del área estudiada.

superficial, están representados en gran parte por las terrazas fluviales del río Tajo, ampliamente desarrolladas en su margen izquierda.

Los datos climáticos de las dos estaciones meteorológicas con series de datos más largas más cercanas (Aranjuez y Toledo) presentan una gran semejanza. La temperatura media anual es de 14° C, la precipitación media anual varía de 382 a 427 mm; y la evapotranspiración de 758 a 814 mm respectivamente. De acuerdo con estos datos el clima del área de estudio según Thornthwaite (1948) corresponde a un clima semiárido mesotérmico (DbB'1b'2). Los balances de humedad reflejan una falta media de agua de 358 a 432 mm de junio a noviembre, y el exceso medio anual es escaso en Aranjuez (27 mm) y nulo en Toledo. De acuerdo con esto, el balance de humedad determina un régimen hídrico «xérico» y un régimen de temperatura «mésico» (Soil Survey Staff, 1992).

La vegetación natural si existiera correspondería a la asociación *Quercetum rotundifoliae sigmentum* (*Quercus rotundifolia*, *Bupleuro rigidi*) (Rivas Martínez, 1987). En la actualidad, esta vegetación potencial ha sido eliminada y sustituida en su totalidad por cultivos. Los únicos datos palinológicos disponibles (Martín *et al.*, 1995) para dos terrazas del Tajo próximas a la ciudad de Toledo correspondientes al Pleistoceno Medio y Superior alto muestran una presencia de *Juniperus*, gran desarrollo de *Olea* y sustitución por *Quercus* de tipo perennifolia para el nivel del Pleistoceno Medio, y un dominio de *Junipe-*

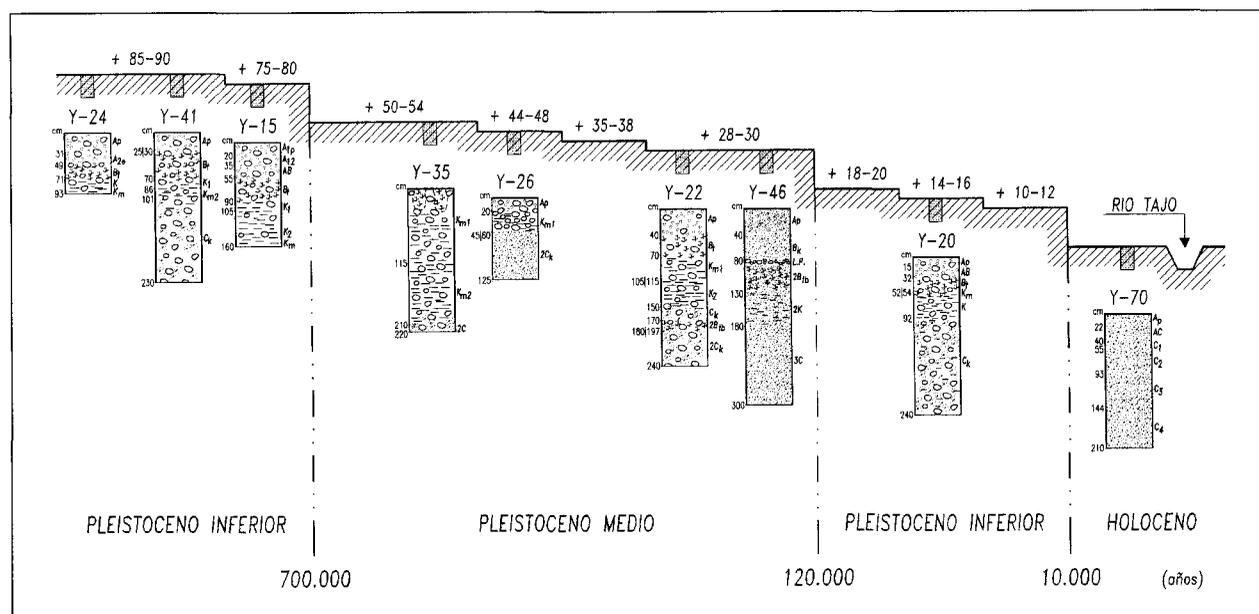


Fig. 2.—Secuencia simplificada de los niveles de terraza y morfología de los perfiles representativos. Los perfiles Y-22 e Y-46 corresponden a perfiles poligénicos, los Y-26 e Y-35 corresponden a perfiles truncados y los restantes a perfiles originales preservados. Ap: horizonte A de laboreo; AB: horizonte de transición que presenta propiedades de ambos; AC: horizonte de transición que presenta propiedades de ambos; Bk: horizonte cámbico con calcificación moderada; Bt: horizonte argílico; Btb: horizonte argílico enterrado; K: horizonte cálcico; Km: horizonte petrocálcico; C: material original; Ck: material original con calcificación moderada; LP: línea de piedras. La numeración arábica que precede a la designación de los horizontes principales, indica que el material original se considera suficientemente diferente como para que deba ser indicado.

rus, *Quercus* de tipo perennifolio, sustituido a techo por *Olea*, en el nivel del Pleistoceno Superior alto, pero manteniéndose siempre la tendencia al bosque mediterráneo.

La variedad geomorfológica de la zona está fundamentalmente controlada por la dinámica fluvial del Tajo durante el Cuaternario. En una cartografía geomorfológica de detalle (E. 1:20.000) (Roquero, 1994) se representaron las distintas unidades geomorfológicas (superficies, glacis, terrazas, abanicos y conos aluviales y coluviones), la composición y la textura de la formación superficial, y su contexto temporal (edad).

La unidad geomorfológica mejor representada en extensión y número está formada por los distintos niveles de terrazas del Tajo, muy bien desarrollados en su margen izquierda. En el área seleccionada la secuencia completa de terrazas consta de 19 niveles distribuidos entre las cotas relativas +3-4 m y +100-110 m. El dispositivo geomorfológico para esta secuencia de terrazas es fundamentalmente el escalonamiento, aunque en los niveles más bajos podría darse el solapamiento ya que no se observa el sustrato debido al recubrimiento de los escarpes por derrames. El sustrato terciario de las terrazas objeto de estudio está constituido por materiales detríticos y yesos y carbonatos de las unidades Inferior e Intermedia del Mioceno (Calvo *et al.*, 1989).

El material original sobre el que se han desarrollado los suelos está formado por los depósitos de terraza. Cuando aparece la secuencia completa están constituidos por facies de barras y de relleno de canal y por facies de llanura de inundación. Las primeras están constituidas por cantos y gravas de cuarcita, cuarzo y en menor proporción sílex, empastados en una matriz arenosa gruesa con abundante carbonato cálcico; las segundas fundamentalmente por limos y arcillas.

Las edades relativas de estas terrazas se establecieron a partir de datos de fauna de vertebrados e industria lítica, criterios geomorfológicos y cartográficos y de campo de nuestra zona y

áreas próximas (Silva, 1988; Silva *et al.*, 1988; Roquero *et al.*, 1990; Rus *et al.*, 1993) y son las siguientes: Pleistoceno Inferior (T<sub>1</sub>-110 m - T<sub>13</sub>-60 m), Pleistoceno Medio (T<sub>14</sub>-58 m - T<sub>20</sub> 23 m), Pleistoceno Superior (T<sub>21</sub>-20 m - T<sub>23</sub>-10 m) y Holoceno (T<sub>24</sub> 6-8 m y llanura de inundación).

### Métodos de campo y laboratorio

A partir de la cartografía geomorfológica (E: 1:20.000) (Roquero, 1994), se localizaron y estudiaron en detalle cuarenta perfiles edáficos en ocho niveles de terraza, distribuidos entre las cotas relativas de +4 m a +85-90 m. De estos perfiles se seleccionaron siete que por su máximo grado de preservación son representativos de las condiciones genéticas del área: perfil Y-70 (llanura de inundación), perfil Y-20 (T+14-16 m); perfiles Y-22, Y-46 (T+28-30 m); perfiles Y-15 (T+75-80 m), perfil Y-24 y perfil Y-41 (T+85-90 m).

La descripción morfológica de los perfiles en el campo y la designación de horizontes del suelo se realizó según la normativa FAO (1977), y para los horizontes cálcicos se siguió la nomenclatura de Gile *et al.* (1965). El color en muestra seca y húmeda se determinó según Munsell Soil Color Charts (1990). La clasificación de los perfiles del suelo se realizó según la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1992).

De las muestras tomadas de cada uno de los horizontes se realizaron las siguientes determinaciones de acuerdo con USDA (1972): textura o granulometría, materia orgánica, CaCO<sub>3</sub> equivalente, reacción (pH al agua), conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico (NaOAc a pH 8,2). El estudio mineralógico se ha realizado por difracción de rayos X, para el polvo total y agregado orientado con un difractor Philips Pw 1130. El estudio estadístico fue realizado con el programa Statgraphics, versión 5.0.

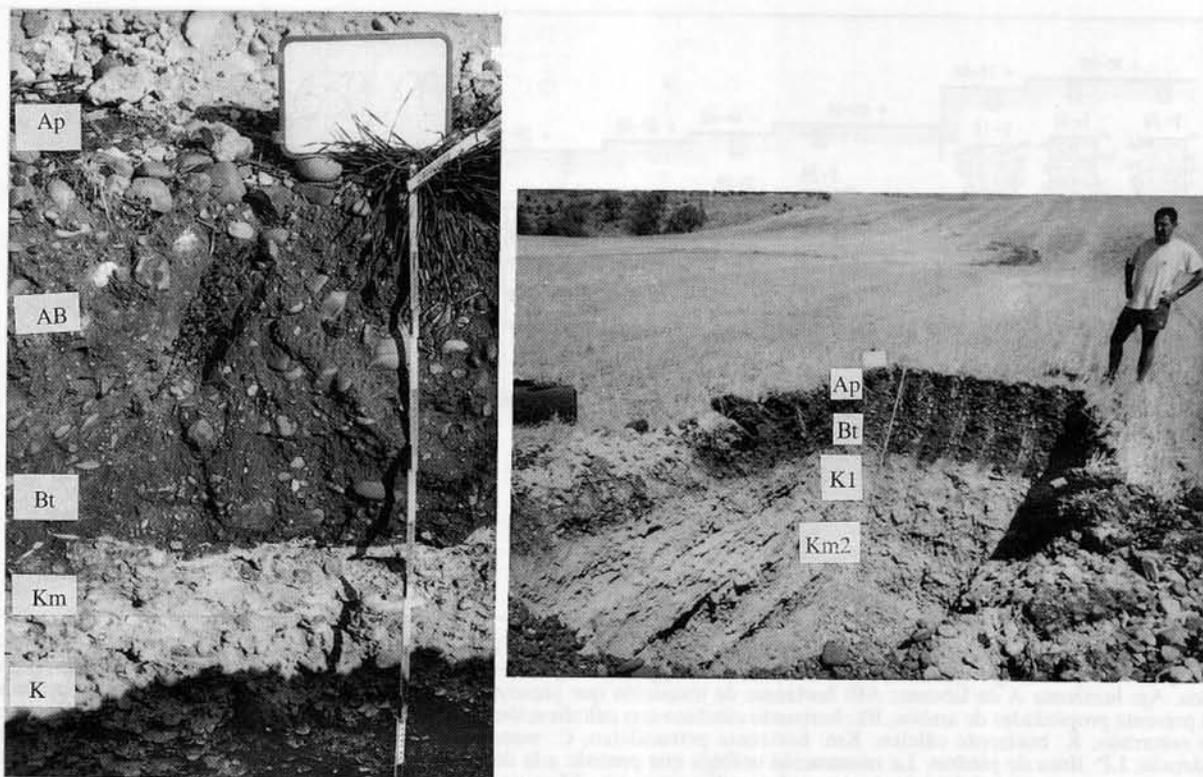


Fig. 3.—Ejemplos de perfiles originales bien preservados: a. Perfil Y-20, con una secuencia tipo Ap-AB-Bt-Km1-K2-Ck, localizado en el nivel de terraza de +14-16 m correspondiente al Pleistoceno Superior. b. Perfil Y-41, con una secuencia tipo Ap-Bt-K1-Km2-Ck, localizado en el nivel de terraza +85-90 m, datado como Pleistoceno Inferior.

## Resultados

### Propiedades morfológicas

La morfología de los suelos cambia con el tiempo, desde perfiles con una secuencia de horizontes de tipo A-C, a perfiles con secuencias tipo A-Bt-Km (fig. 2). La secuencia de horizontes en los perfiles preservados en su totalidad corresponde a los siguientes tipos: A-Bt-K-Ck; A-Bt-Km-Ck; A-Bt-K1-Km2-Ck (fig. 3). Sin embargo, aparece otra serie de perfiles caracterizados por una secuencia del tipo: A-K1-Km2-Ck; A-Km-Ck; A-Km1-K2-Ck (fig. 4a) que corresponden a las fases erosionadas de los perfiles originales anteriores o secuencias del tipo Ap-Bt-K-2Btb-2Ck, que corresponden a perfiles poligénicos (fig. 4b).

Para este trabajo seleccionamos los perfiles cuya secuencia de horizontes fuera lo más completa posible, y especialmente aquellos que por su grado de preservación, muestran las secuencias tipo A-Bt-K, de tal forma que reflejaran la secuencia completa de procesos edafogénicos, con el fin de evaluar el grado de evolución con el tiempo.

No existe una gradación clara del color (tabla 1)

con la edad en los horizontes superficiales, lo que no es de extrañar teniendo en cuenta la intervención humana y la erosión que ha afectado a su estado original. Las cifras del brillo y saturación cromática son intermedias, tanto en seco como en húmedo, pues si bien la materia orgánica está presente en proporciones apreciables, no se llegan a alcanzar los tonos oscuros (3/3) de la acumulación de materia orgánica característica del horizonte móllico. En los horizontes argílicos por el contrario hay que destacar el grado de rubefacción propio de los suelos rojos mediterráneos, resultado de una deshidratación de tendencia irreversible atribuible a la desecación estival de los óxidos de hierro de estos horizontes. Sus matices (Munsell, 1990) más frecuentes son 2.5YR en húmedo, y 5YR en seco, tendencia sustituida en los suelos más antiguos que presentan el matiz 2.5YR tanto en seco como en húmedo, lo que lleva en la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1992) a la identificación del grupo Rhodoxeralf. Las intensidades cromáticas son fuertes existiendo valores de 6 e incluso de 8 tanto en seco como en húmedo.

La tendencia a la deshidratación de los óxidos de hierro y por tanto a un cierto enrojecimiento queda

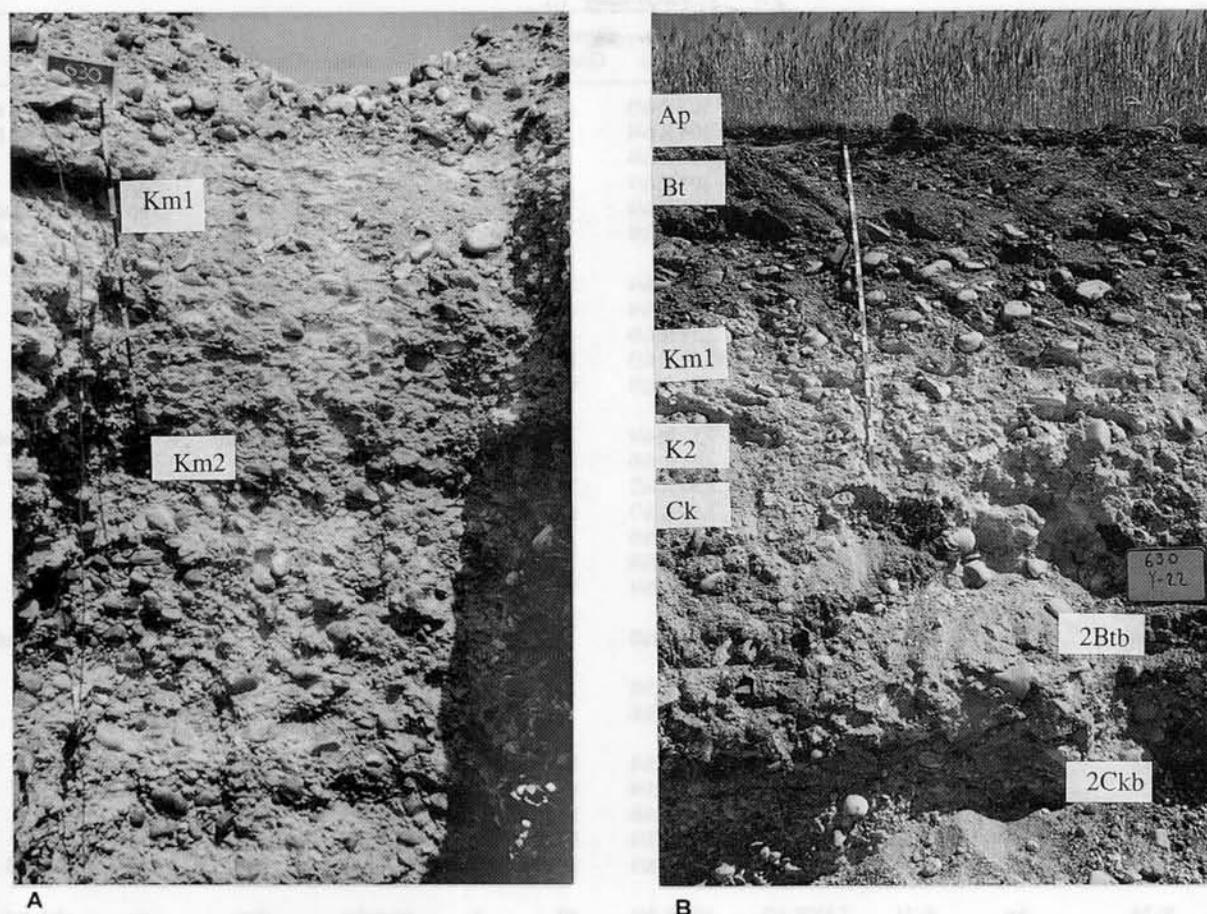


Fig. 4.—Ejemplos de perfiles originales modificados por truncamiento o por recubrimiento: a. Perfil Y-35 con secuencia de tipo Km1-Km2, con truncamiento extremo de los horizontes superficial y subsuperficial, localizado en el nivel de terraza +50-24 m correspondiente al Pleistoceno Medio. b. Perfil Y-22, con secuencia de tipo Ap-Bt-Km1-K2-Ck-2Btb-2Ckb, localizado en el nivel de terraza +28-30 m, correspondiente al Pleistoceno Medio.

enmascarada en los horizontes cálcicos y petrocálcicos por la presencia de altos contenidos de carbonato cálcico, con un dominio de los tonos blanquecinos, pero de tendencia rosada con matices 7.5YR pero valores del brillo muy superiores, siendo frecuentes las cifras 7 y 8 de carácter netamente blanquecino indicadoras de un albedo alto.

Uno de los aspectos destacables es la abundancia de elementos gruesos (Tabla 1), que alcanzan porcentajes máximos de 90 % en los perfiles desarrollados sobre las facies gruesas del depósito de la terraza. Las variaciones de este porcentaje en el seno de un mismo perfil están asociadas a la estratificación del depósito original de la terraza (por ejemplo el perfil Y-20) y la escasa presencia en otros perfiles (Y-46) se debe a que el suelo está desarrollado sobre las facies finas de llanura de inundación.

La apreciación del grado de desarrollo de la estructura (Tabla 1) está dificultada por la presencia

de los altos contenidos de cantos y gravas, por lo que en los casos más favorables los horizontes superficiales desarrollan estructuras granulares, frente a estructuras en bloques subangulares en los horizontes argílicos. Los horizontes cálcicos y petrocálcicos suelen presentar estructuras indiferenciadas o macizas respectivamente.

La consistencia (Tabla 1) no solamente debe estudiarse como una propiedad resultante de la génesis del suelo, sino que cuando se alcanzan estados muy avanzados como la cementación en los horizontes petrocálcicos, deben ser estimados como factores que tras su formación dificultan el desarrollo radicular y por tanto la evolución del suelo. Además en ciertas circunstancias pueden intervenir en los movimientos del agua del suelo permitiendo sólo el paso en sentido descendente a través de las grietas o fisuras que siempre presentan, pero impidiendo el ascenso capilar de las soluciones del suelo ricas en carbonato cálcico lo que

Tabla 1.—Propiedades morfológicas.

Perfil Clasificación	Horizonte	Prof. (cm)	Color (Húmedo)	Color (Seco)	Elementos Gruesos	Clase Textural	Estructura	Consistencia	Límite	Raíces
<b>Y-70</b> Xerofluvent Típico	Ap	0-22	10YR 5/3	10YR 6/3	1	fl	granular	friable	np	freq gr, f, mf
	AC	22-40	10YR 5/4	10YR 6/4	2	fl	in	muy friable	np	freq gr, f
	C1	40-55	10YR 4/6	10YR 6/4	2	fl	in	friable	np	freq f
	C2	55-93	7,5YR 5/3	10YR 6/4	0	fl	in	friable	np	ab md
	C3	93-144	7,5YR 5/3	10YR 6/4	0	fA1	in	friable	np	freq f, md
C4	144-210	10YR 6/4	10YR 7/4	0	fl	in	friable		freq f, md	
<b>Y-20</b> Rhodoxeralf Cálcico	Ap	0-15	5YR 4/4	7,5YR 4/4	55	fAa	granular	friable	np	Ab f
	AB	15-32	5YR 3/4	7,5YR 4/4	40	fa	in	duro	ao	freq f
	Bt	32-52	2,5YR 3/6	2,5YR 4/6	40	fAa	bsaf	duro	ai	poc f
	K	52-92	7,5YR 7/6	7,5YR 8/3	80	af	in	muy duro	g	n
Ck	92-240	7,5YR 7/4	10YR 8/3	90	a	in	in		n	
<b>Y-22</b> Palexeralf Petrocálcico (enterrado: Haploxeralf Rhódico)	Ap	0-40	5YR 4/4	7,5YR 4/4	25	fa	granular	lig. duro	np	freq f, md
	Bt	40-70	2,5YR 4/6-8	5YR 4/6	35	fAa	bsaf	duro	ao	freq mf
	Km1	70-115	7,5YR 8/3	7,5YR 8/2	55	—	in	muy duro	g	n
	K2	115-150	7,5YR 7/6	7,5YR 8/3	60	fa	in	in		n
	Ck	150-170	5YR 6/8	7,5YR 6/6	70	af	in	in	ni	n
	2Btb	170-195	5YR 5/4	7,5YR 5/4	75	fa	in	in	ao	n
2Ck	195-245	7,5YR 7/6	5YR 8/4	70	af	in	in		n	
<b>Y-46</b> Xerochrept Típico (enterrado: Rhodoxeralf Cálcico)	Ap	0-40	10YR 4,5/4	10YR 6/6	2	fa	in	duro	np	freq f, md
	Bw	40-80						in	a lp	n
	2Btb	80-130	2,5YR 4,5/8	5YR 5/8	15	fa	in	in	a	n
	2Ck	130-180	10YR 6,5/6	10YR 8/6	3	fl	in	in	g	n
<b>Y-15</b> Rhodoxeralf Cálcico	Ap	0-35	5YR 4/4	7,5YR 5/4	85	af	in	duro	a	ab mf
	AB	35-55	5YR 4/6	7,5YR 5/4	80	af	in	in	np	ab mf
	Bt	55-90	2,5YR 3/6	2,5YR 4/6	85	A	bsaf	duro	ao	freq f
	K1	90-105	5YR 5/6	7,5YR 7/4	80	fa	in	lig. duro	n	poc f
	K2	105-160	7,5YR 7/6	7,5YR 8/3	80	af	in	in		poc md
<b>Y-24</b> Rhodoxeralf Petrocálcico	Ap	0-31	7,5YR 3/3	10YR 5/4	80	f	granular	duro	np	ab f, mf
	A2	31-49	5YR 4/4	7,5YR 6/4	90	fa	granular	duro	np	freq f, mf
	Bt	49-71	2,5YR 3/6	2,5YR 4/6	80	A	bsaf	muy duro	no	freq f, md
	K	71-93	5YR 5/6	5YR 7/4	80	fl	in	duro		ab md
<b>Y-41</b> Palexeralf Petrocálcico Rhódico	Ap	0-25/30	7,5YR 3/2	7,5YR 4/3	60	fAa	in	duro	no	freq f, mf
	Bt	25/30-70	2,5YR 4/6	2,5YR 4/6	80	Aa	granular	friable	no	poc f
	K1	70-86	7,5YR 7/6	7,5YR 8/5	5	fa	in	duro	n	n
	Km2	86-101	7,5YR 8/3	7,5YR 8/2	90	—	in	duro	np	n
	Ck	101-230	7,5YR 7/4	7,5YR 8/4	90	a	in	in		n

Clase textural: f: franco, l: limoso, a: arenoso, A: arcilloso. Estructura: bsaf: bloques subangulares finos, in: indiferenciada. Límite: n: neto, a: abrupto, g: gradual, p: plano, o: ondulado, i: irregular, lp: línea de piedra. Raíces: ab: abundantes, freq: frecuentes, poc: pocas, n: ninguna, gr: gruesa, md: media, f: fina, mf: muy fina.

contribuye a un mejor y mayor desarrollo de las cementaciones.

Los límites (tabla 1) entre los horizontes superficiales y los argílicos son en general netos, mientras que el paso de los horizontes argílicos a los cálcicos o petrocálcicos es abrupto más o menos ondulado, caracteres a los que suele darse un valor de avanzado estado de desarrollo por reiteración de los procesos edafogénicos, y que quedan reflejados en el carácter paleico (Soil Survey Staff, 1992) de la clasificación en el grupo Palexeralf (perfiles Y-41, Y-22).

#### *Propiedades físicas, químicas y mineralógicas*

El proceso característico de los suelos de las terrazas de las cuencas de los grandes ríos meseta-rios españoles es la argiluvación (Torrent, 1976; Medina, 1977; Jiménez Ballesta *et al.*, 1986; Roquero *et al.*, 1993; Pérez González *et al.*, 1989), por ello las diferencias en las texturas son muy acusadas y en ellas se halla el origen del tema principal de este trabajo (Tabla 2).

Los horizontes superficiales (ócrios) son de una tendencia marcadamente arenosa en claro contraste

Tabla 2.—Datos analíticos: propiedades físico-químicas y análisis granulométrico.

Perfil prof. (cm)	Horizonte	pH	CE ds/m	MO %	CaCO <sub>3</sub> %	Análisis granulométrico (%)			
						Ar. gruesa (2-0,2 mm)	Ar. fina (0,2-0,05 mm)	Limo (0,05-0,002 mm)	Arcilla (< 0,002 mm)
<b>Y-70</b>									
0-22	Ap	7,9	0,63	1,8	12,5	0,6	22,2	56,4	20,8
22-40	AC	7,9	0,54	1,1	10,6	0,5	24,5	52,4	22,6
40-55	C1	7,9	0,48	0,7	13,4	0,7	35,9	50,5	12,9
55-93	C2	7,7	0,61	1,1	12,5	0,5	17,5	61,5	20,5
93-144	C3	7,8	0,47	0,9	13,1	0,2	5,8	66,8	27,2
144-210	C4	7,9	0,38	0,6	19,4	0,2	30,2	55,1	14,5
<b>Y-20</b>									
0-15	Ap	7,5	0,15	1,1	0,0	38,6	22,2	18,5	20,7
15-32	AB	7,2	0,11	1,0	0,0	43,5	21,5	16,4	18,6
32-52	Bt	7,1	0,21	0,7	0,0	46,0	16,6	11,8	25,6
52-92	K	7,4	1,34	0,3	33,9	60,7	17,0	15,8	6,5
92-240	Ck	8,3	0,23	0,0	13,6	83,3	7,2	7,06	2,5
<b>Y-22</b>									
0-40	Ap	7,4	0,30	0,9	0,0	40,1	19,2	24,1	16,6
40-70	Bt	7,6	0,17	0,2	0,0	69,5	4,6	5,7	20,2
115-150	K2	8,3	0,31	0,2	16,2	64,9	12,4	11,6	11,1
150-170	Ck	7,8	0,72	0,0	3,6	79,1	6,2	8,4	6,3
170-195	2Btb	8,1	0,18	0,9	1,1	40,4	19,4	24,0	16,2
195-245	2Ck	8,3	0,19	0,2	13,6	69,4	14,1	8,7	7,8
<b>Y-46</b>									
0-40	Ap	7,8	0,33	0,8	18,8	19,5	33,3	33,2	14,0
80-130	2Btb	8,4	0,46	0,1	0,7	74,6	3,7	3,6	18,1
130-180	2K	8,0	0,25	0,6	36,1	2,7	24,5	57,7	15,1
<b>Y-15</b>									
0-35	Ap	7,2	0,24	0,6	0,6	42,8	38,5	11,8	6,9
35-55	AB	7,3	0,22	0,3	0,3	72,0	10,5	5,9	11,6
55-90	Bt	7,3	0,27	0,5	0,4	27,9	8,3	2,6	61,2
90-105	K1	7,4	0,23	0,7	36,5	41,4	21,6	17,3	19,7
105-160	K2	7,2	0,53	0,1	37,3	62,3	14,2	19,6	3,9
<b>Y-24</b>									
0-31	Ap	7,2	0,40	1,5	0,35	20,6	29,7	35,1	14,6
31-49	A2	7,2	0,82	0,7	tr	31,1	27,8	25,3	15,8
49-71	Bt	7,0	2,70	0,5	tr	17,9	8,1	4,6	69,4
71-93	K	7,4	3,20	0,6	33,4	11,6	9,2	57,1	22,1
<b>Y-41</b>									
0-25/30	Ap	7,1	0,50	1,3	1,35	30,3	25,6	22,2	21,9
30-70	Bt	7,9	0,71	0,3	0,0	54,0	3,7	2,5	39,8
70-86	K1	7,8	0,63	0,8	72,3	39,0	16,7	31,7	12,6
101-230	Ck	8,1	0,16	0,04	6,2	93,1	3,0	2,8	1,1

con los subsuperficiales (argílicos) de carácter franco arcillo arenoso, franco arcilloso o arcilloso, mientras que los horizontes más profundos (cálcicos) tienen texturas más limosas. Aparece en todos los suelos seleccionados un incremento del contenido de arcilla, que permite caracterizar los horizontes diagnósticos argílicos (Soil Survey Staff, 1992). Los contenidos de arcilla de estos horizontes son variables, con valores extremos desde 18 % a un

máximo de 69 %, existiendo una tendencia a mayores porcentajes de arcilla en los suelos desarrollados en las terrazas más antiguas.

En cuanto a la materia orgánica (Tabla 2), al ser todos los suelos cultivados desde hace largo tiempo, los contenidos son generalmente bajos en los horizontes superficiales (sólo se alcanza un valor próximo al 2 % en el perfil de la llanura de inundación). Los contenidos superiores en profundidad están

Tabla 3.—Complejo de cambio (cationes extraíbles), capacidad de intercambio catiónico y análisis mineralógico semicuantitativo.

Perfil prof. (cm)	Horiz.	Cationes extraíbles y CIC Cmol(+)/Kg					Mineralogía (%)								
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	CIC	Polvo Total			Agregado orientado					
							Q	F	C	Ph	K	I	E	Sp	
<b>Y-20</b>															
15-32	AB	7,14	2,15	0,06	0,26	9,9	37	30	nd	33	16	82	2	nd	
32-52	Bt	13,23	0,71	0,06	0,32	16,6	54	10	nd	36	37	63	nd	nd	
<b>Y-22</b>															
40-70	Bt	11,10	1,63	—	—	20,61	60	20	nd	20	50	25	25	nd	
170-195	2Btb	13,21	1,31	—	—	19,14	38	17	nd	44	20	75	52	nd	
<b>Y-46</b>															
0-40	Ap	6,93	0,75	0,05	0,92	9,06	—	—	—	—	—	—	—	—	
80-130	2Btb	6,30	8,24	0,05	0,46	14,22	50	14	nd	36	36	42	22	nd	
<b>Y-15</b>															
35-55	AB	8,82	0,47	0,05	0,24	8,64	77	17	nd	6	75	25	nd	nd	
55-90	Bt	26,25	1,42	0,08	0,64	29,24	28	19	nd	53	47	34	6	13	
<b>Y-41</b>															
30-70	Bt	20,58	0,43	0,05	0,88	27,30	21	2	nd	77	20	3	77	nd	
70-86	K1	5,46	0,60	0,02	1,52	10,32	2	nd	98	nd	nd	nd	nd	nd	

Q = cuarzo; F = feldespatos; C = calcita; Ph = filosilicatos; K = caolinita; I = Illita; E = esmectita; Sp = sepiolita; nd = no detectado.

asociados bien al carácter fluvéntico, bien a un mayor desarrollo radicular en los límites sobre los horizontes cementados por carbonatos.

Las variaciones del contenido de carbonato cálcico equivalente (Tabla 2) en los suelos muestra una tendencia mucho más uniforme. Así en general los horizontes superficiales ócricos bien desarrollados y los argílicos subsuperficiales suelen estar totalmente descarbonatados, existiendo en algunos casos pequeños contenidos, nunca superiores al 0,7 %, asociados a recarbonataciones posteriores. Valores anómalos más altos (18 %, en el perfil Y-46) son atribuibles al poligenismo de estos suelos por superposición de nuevos depósitos, o los del perfil de la llanura de inundación (Y-70) que reflejan un origen sedimentario y no edáfico.

En los horizontes cálcicos o petrocálcicos infrayacentes aparece en todos los suelos una marcada acumulación de CaCO<sub>3</sub>, cuyo contenido varía entre un 30 % y un máximo de 72 %, aunque los valores más altos tienen una fuerte dependencia no sólo de los procesos de lavado y de los contenidos de carbonato del material original, sino también de la posición del perfil dentro de la propia terraza (Roquero *et al.*, 1995); este hecho en parte es responsable de que no exista entonces una gradación clara en cuanto al contenido de carbonato cálcico con la edad.

La conductividad eléctrica (tabla 2, en extracto suelo agua 1:2) muestra unos contenidos bajos de sales muy solubles, siendo el bicarbonato cálcico el

de presencia más probable. Los casos de conductividades eléctricas más elevadas deben relacionarse con aportes del agua de riego del río Tajo que presenta un moderado contenido salino.

La reacción de los suelos presenta una tendencia ligeramente alcalina, con valores de pH (Tabla 2) generalmente superiores a 7,5. En los horizontes más profundos la tendencia es claramente alcalina con valores de pH superiores a 8, asociados a la presencia del carbonato cálcico traslocado de la parte superior.

Partiendo de los datos de la llanura de inundación actual (Roquero, 1994) en los que en varios perfiles la illita es netamente dominante (en general 70 %-80 %) mientras que tanto la esmectita como la caolinita presentan valores mucho más bajos (10-20 %) cabe pensar en la neoformación de esmectita en algunos casos, gracias a un ambiente edáfico rico en cationes bivalentes (Borchardt, 1977) y en otros casos a la degradación de la illita a caolinita en unas condiciones de tendencia más «tropical» (Dixon, 1977) (Tabla 3). El poligenismo de los perfiles parece ser la causa de la dificultad de la interpretación de la relación de la mineralogía de arcillas con los paleoambientes cuaternarios.

El mismo comportamiento refleja la capacidad de intercambio catiónico, que no presenta una relación clara con la edad (Tabla 3). Estos datos invalidan algunos de los criterios establecidos anteriormente asumiendo que la CIC disminuye con la edad por

Tabla 4.—Coeficientes de correlación entre la edad relativa (altitud) y los índices de evolución del suelo.

	Alt	CA	CGA	AC/L	ILU	PrBt	CIC	CGC	PrK
Alt	1								
CA	0,87**	1							
CGA	0,94***	0,87**	1						
AC/L	0,93***	0,89**	0,99***	1					
ILU	0,57	0,80	0,83	0,84	1				
PrBt					0,89*	1			
CIC	0,84**	0,93**	0,71	0,74*			1		
CGC					0,90*			1	
PrK			0,84	0,85	0,83			0,81	1

Significación (t Student) \* = p < 0,05; \*\* = p < 0,01; \*\*\* = p < 0,001.

unos procesos de predominio de la caolinización. En cuanto al complejo de cambio (tabla 3) es evidente que en general está dominado netamente por el calcio (que alcanza el 70 %-90 % del total) si bien en algún caso el magnesio supera ligeramente al calcio. El sodio y el potasio se presentan como es habitual en proporciones pequeñas.

### Clasificación de los suelos

Aún cuando la sistemática USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1992) no sea de carácter genético, sí en cierto modo está relacionada en muchos casos de modo más o menos directo con la edad del suelo.

En la tabla 1 figura la clasificación de los siete perfiles representativos seleccionados ordenados según la edad relativa del nivel de terraza sobre el que están desarrollados. La clasificación va desde un Entisol con carácter fluvéntico en los suelos más jóvenes de la llanura de inundación, hasta los casos de suelos más viejos con carácter paleico y caracterizados por la presencia de horizontes petrocálcicos, en general acompañados por los caracteres de enrojecimiento acentuado.

Destacan casos anómalos representados por suelos poligénicos, donde el perfil que consideramos original está recubierto por un nuevo depósito con su correspondiente edafización. En estos casos la principal diferencia radica en el grado de evolución alcanzado por el suelo desarrollado en el material más reciente: así, el perfil Y-46 presenta un Inceptisol (Xerochrept) que entierra a un Rhodoxeralf, mientras que en el perfil Y-22, la evolución del material reciente ha sido mucho más acusada generando un Palexeralf.

### Índices de la evolución del suelo

La cuantificación del grado de evolución de los suelos en función del tiempo ha sido abordada por

distintos autores, bien a través de índices morfológicos (Harden, 1982; Alonso *et al.*, 1994) o a través de índices basados en datos físico químicos (Birke-land, 1984; Dorronsoro *et al.*, 1992). Sin embargo la mayor parte de estos índices se basan en la comparación de propiedades (estructura, rubefacción, consistencia...) de los horizontes del perfil del suelo actual con respecto al material original o el horizonte C. En este sentido la aplicación de estos índices es de significación limitada, puesto que en muchos casos es difícil de determinar con absoluta precisión el material original del suelo, y más en casos como los depósitos de las terrazas fluviales donde la variabilidad vertical original puede ser marcada, y donde la superposición posterior de aportes procedentes de la removilización de los materiales propios de la terraza genera depósitos de características granulométricas y estructurales muy similares.

El estudio preliminar de las propiedades morfológicas y las físicoquímicas y mineralógicas como criterios cuantificables que relacionen el grado de evolución de los suelos con su posición geomorfológica y su contexto temporal, reveló que estas propiedades no son significativas por sí mismas. A fin de obviar los antes citados factores de indeterminación, se seleccionaron determinadas propiedades intrínsecas y establecido coeficientes basados en las relaciones texturales en los horizontes argílicos, así como otras propiedades extrínsecas a estos horizontes (profundidad del límite superior, coeficiente de iluviación...), obteniendo finalmente unos índices objetivos suficientemente simples pero de repercusión genética en la formación del suelo. Los índices que proponemos en este trabajo son los siguientes:

1. CA, contenido de arcilla: porcentaje de arcilla en el horizonte argílico.
2. CGA, contenido global de arcilla: corresponde al producto del espesor del horizonte argílico por el porcentaje de arcilla en éste.
3. AC/L, índice de vejez del suelo: relación porcentaje de arcilla / porcentaje de limo, en el horizonte argílico.

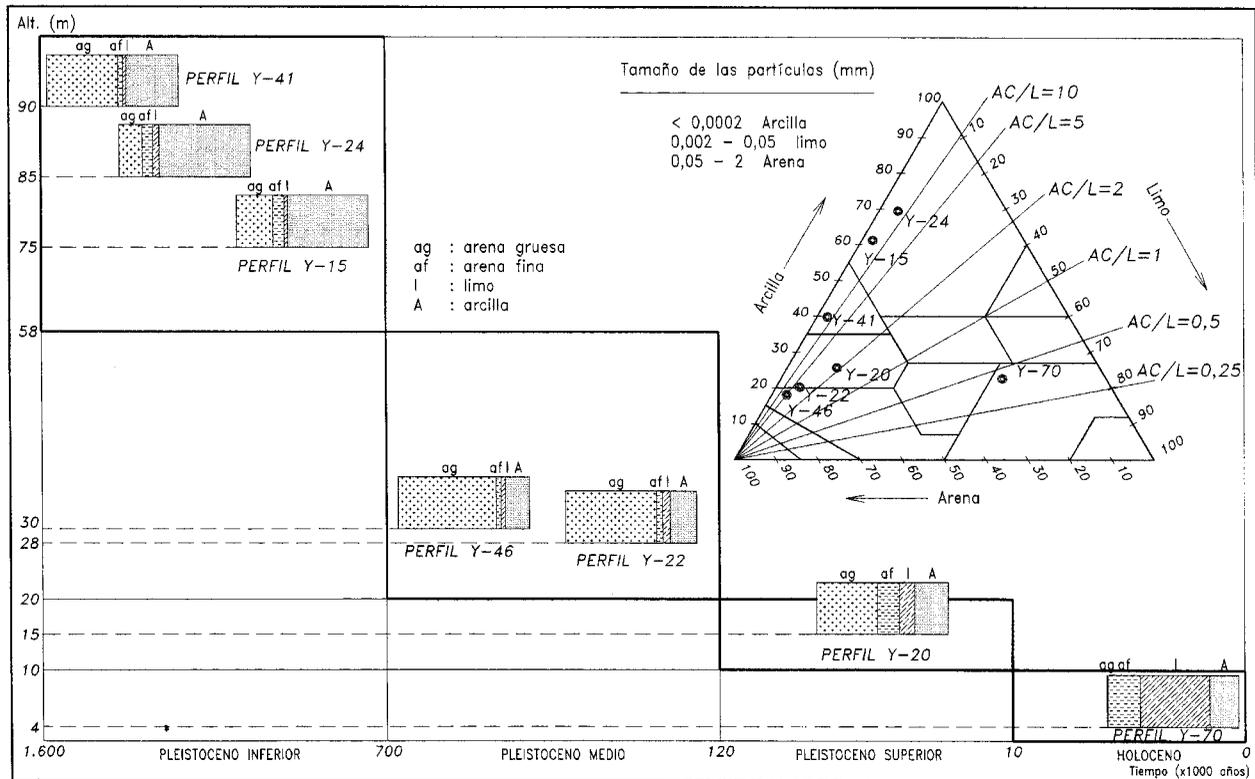


Fig. 5.—Fracciones granulométricas de los horizontes argílicos de la cronosecuencia y posición de éstos en el triángulo textural USDA con la escala de índices de vejez (AC/L).

4. ILU, índice de iluviación: relación entre el porcentaje de arcilla en el horizonte argílico / porcentaje de arcilla en el horizonte A.
5. CGC, contenido global de caliza total: corresponde al producto del espesor del horizonte argílico por el porcentaje de caliza total en éste.
6. PrBt: profundidad a la que se sitúa el límite superior del horizonte argílico.
7. PrK: profundidad a la que se sitúa el límite superior del horizonte cálcico.

Los valores de estos índices se han sometido al estudio de las correlaciones lineales existentes entre ellos y con la edad relativa del suelo, estimada a través de la cota relativa de la terraza sobre la que están desarrollados. Además de estos índices se integraron también en el estudio de las correlaciones lineales las propiedades generales en los horizontes argílicos (fracciones granulométricas, capacidad de intercambio catiónico, carbonato cálcico equivalente...), obteniendo una serie de correlaciones lógicas, que se han obviado en la tabla 4 donde se muestra una selección de los principales resultados obtenidos.

Existe una alta correlación entre la edad y el CA porcentaje de arcilla, la edad y el CGA contenido

global de arcilla, y también con la ratio AC/L o coeficiente de vejez, lo que permite considerarlos como buenos criterios de estimación de la evolución del suelo. Estos tres criterios presentan además altas y significativas correlaciones entre sí, lo que confirma su validez y utilidad como estimadores cronológicos.

La capacidad de intercambio catiónico es también un criterio estimador de la evolución del suelo teniendo en cuenta además, que la alta correlación de la capacidad de intercambio catiónico con el contenido de arcilla es lógica puesto que el escaso contenido en materia orgánica en los horizontes argílicos provoca que la CIC se deba exclusivamente a la arcilla.

El índice de iluviación (ILU) no se comporta de la misma forma respecto a la edad, lo que atribuimos al efecto de la modificación de los horizontes superficiales, como consecuencia de los procesos de erosión o recubrimientos con posibles aportes de arcilla. Sin embargo sí presenta una buena correlación con la profundidad del límite superior del horizonte argílico (PrBt), que indica que a medida que la iluviación es más acusada el Bt alcanza posiciones más profundas en el perfil. Esta misma tendencia la mantiene la iluviación (ILU) respecto al con-

tenido de caliza total (CGC), con el que presenta una buena correlación, confirmando que una mayor iluviación está favorecida por una descalcificación previa total.

Existen otra serie de correlaciones ligadas a los criterios anteriores. A pesar de haber obtenido una menor significación (0,07) es interesante analizar y explicar qué hechos implicarían. La iluviación (ILU) presenta una correlación con el (CGA) contenido global de arcilla y la relación AC/L lo que permitiría admitir indirectamente su relación consecuente con la edad.

La profundidad del límite superior de la acumulación caliza (PrK) presenta correlaciones aceptables con la iluviación lo que indica que a medida que la iluviación es más acusada la acumulación de carbonatos aparece a mayor profundidad. Esta relación es lógica si recordamos que el límite superior del horizonte Bt está correlacionado con la iluviación, y por tanto, al alcanzar posiciones más bajas, hace que profundice más también en el seno del perfil el horizonte cálcico. Además la correlación que existe con el CGC y con la relación AC/L, implicaría que la profundidad de la acumulación caliza está ligada a los caracteres de vejez del suelo.

Por último la capacidad de intercambio catiónico presenta una correlación positiva con la relación AC/L, lo que implica que la CEC presenta además una relación con el carácter de vejez del suelo o de edafogénesis prolongada tal y como se refleja en su alta correlación con la edad.

El resultado más interesante y significativo es el índice AC/L o índice de vejez. La relación AC/L es una consecuencia obvia de una edafización prolongada y pronunciada de los materiales de los horizontes argílicos, donde las partículas iniciales de tamaño limo susceptibles de meteorización, son edafizadas a otras de tamaño arcilla, al mismo tiempo que la fracción arcilla se incrementa notablemente por la iluviación.

En la figura 5 se observa una propiedad común a los horizontes argílicos sobre todo en regímenes xéricos, fácil de interpretar en el diagrama textural triangular USDA: nunca el valor de la arena es inferior al del limo, de tal forma que la representación de los horizontes argílicos está siempre situada en la mitad izquierda del diagrama.

Además en la representación de las fracciones granulométricas de los horizontes argílicos incluidos en la cronosecuencia (fig. 5), se observa claramente cómo el contenido de limo disminuye, a la vez que aumenta el contenido de arcilla con la edad y en consecuencia la relación arcilla/limo en el horizonte argílico se incrementa notablemente con la edad.

Los valores del índice AC/L se incluyen en el diagrama triangular mediante líneas divergentes que

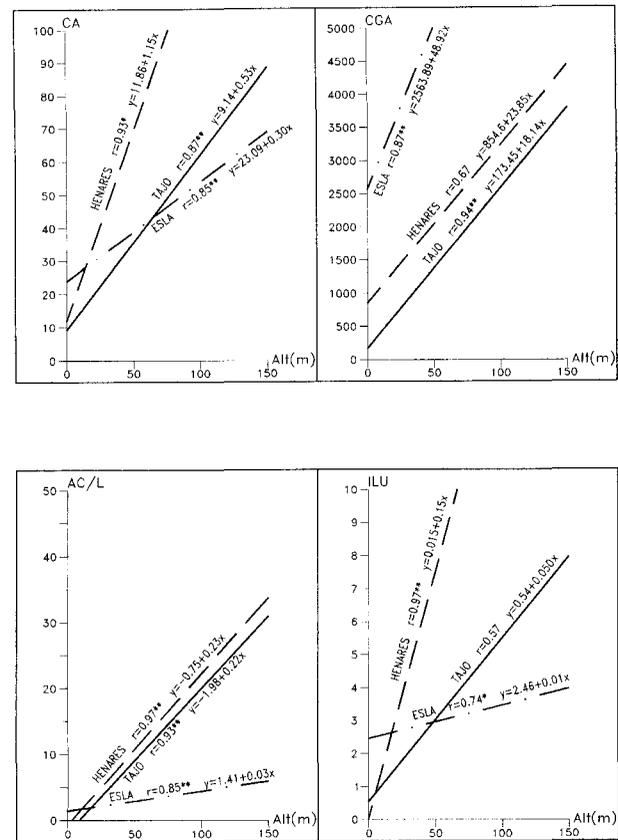


Fig. 6.—Representación gráfica de las ecuaciones de regresión entre los índices de evolución del suelo y la altitud relativa de la terraza en las cronosecuencias del Tajo, Henares y Esla. Significación (t de Student): \* = p < 0,05; \*\* = p < 0,01; \*\*\* = p < 0,001.

parten del vértice de arcilla 0 %, dejando hacia la parte superior izquierda del triángulo, las texturas de los suelos más viejos (fig. 5). De esta forma se puede observar que los suelos desarrollados en los niveles de terraza más antiguos (Pleistoceno Inferior) están localizados en el sector correspondiente a valores altos del índice AC/L, mientras que los suelos correspondientes a niveles más jóvenes (Pleistoceno Medio y Superior) se sitúan progresivamente en las áreas decrecientes del índice AC/L, finalizando con el perfil Y-70, el más reciente de la llanura de inundación (holocena), con el valor mínimo de la ratio AC/L.

### Aplicación de los índices a otras cronosecuencias en terrazas fluviales

La aplicación de la metodología anterior a otras cronosecuencias de terrazas fluviales confirma la validez de las afirmaciones anteriores. Hemos aplicado los índices de evolución del suelo más representativos en nuestra zona (CA, CGA, AC/L, ILU)

a otras cronosecuencias de terrazas fluviales: el sistema de terrazas del río Henares (Medina, 1977), dentro de la Cuenca del Tajo, y el sistema de terrazas del Esla (Torrent, 1976) en la Cuenca del Duero. Para ello se requiere una selección previa de los perfiles edáficos a utilizar teniendo en cuenta su posición y cronología relativa.

En la figura 6 se representan de modo gráfico los resultados de las ecuaciones de regresión obtenidas para nuestra zona y las otras dos cronosecuencias presentadas a título comparativo así como los coeficientes de correlación. Los índices que presentan mejores resultados son el de contenido de arcilla CA, y el de vejez o ratio AC/L, con altos coeficientes de correlación, aunque con una mejor significación para el segundo índice en las tres cronosecuencias.

El índice de iluviación ILU, es el que refleja una mayor variabilidad tanto en el valor del coeficiente como en la significación lo que atribuimos a un proceso generalizado en estos suelos en los que el horizonte A en general no corresponde al epipedión del perfil original, sino que ha estado sometido a procesos de modificación, bien por erosión, bien por recubrimientos, de tal forma que el contenido de arcilla correspondiente al horizonte superficial que se introduce en el índice, no reflejaría la iluviación real de arcilla en el horizonte Bt. Finalmente el índice CGA de contenido global de arcilla muestra también cierta variabilidad, con buenos coeficientes de correlación y significación en el Tajo y Esla.

Se observa un cierto paralelismo en general entre el comportamiento de los suelos en las terrazas del río Tajo y del río Henares, con respecto al río Esla. En los dos primeros existe una mayor analogía en los materiales originales de los suelos, donde la presencia de materiales calizos es muy superior, lo que provoca que con frecuencia se generen horizontes cálcicos y petrocálcicos en los perfiles. La riqueza de carbonato cálcico en el material original implica una mayor lentitud en el proceso de argiluvación, puesto que requiere la descalcificación previa, lo que evidentemente afecta al resultado tanto en cuanto al espesor de los horizontes argílicos, como a su contenido máximo de arcilla. Sin embargo en la cuenca del río Esla el material original a partir del que se desarrollan los suelos, presenta inicialmente altos contenidos de arcilla, y bastante menores de caliza (Torrent, 1976). Estos últimos aspectos facilitan una evolución edáfica mucho más marcada y rápida, tanto en cuanto al contenido de arcilla iluvial como el espesor total de los horizontes argílicos. Sin embargo la génesis de horizontes cálcicos no es frecuente, quedando en general limitada a pequeñas concreciones o alguna forma algo más desarrollada asociada al aporte de carbonatos por el lavado oblicuo hacia los escarpes de terraza.

## Conclusiones

El índice de vejez AC/L, representado por el cociente entre el porcentaje de arcilla y el porcentaje de limo en el horizonte argílico además del contenido de arcilla (CA), y del contenido global de arcilla (CGA) expresado como el producto del porcentaje de arcilla en el horizonte argílico por su espesor, son fieles indicadores cuantitativos de la evolución (edad) del suelo.

En el caso del índice de iluviación (ILU), las diferencias entre los coeficientes de correlación y la significación, indican una mayor variabilidad, debido probablemente a la modificación de los horizontes superficiales, por lo que su aplicación como estimador de evolución es menos realizable. Esto implicaría además, que para la caracterización del horizonte diagnóstico argílico, el índice intrínseco AC/L representa una cuantificación mucho más fiel que la mera iluviación, especialmente en los casos en los que se tiene la certeza de que la parte eluvial del perfil original ha sido alterada por erosión o por un recubrimiento más o menos antiguo.

Los índices establecidos son aplicables a cronosecuencias de terrazas fluviales de cuencas separadas geográficamente y con diferencias de las características texturales y composicionales de los depósitos.

Estos índices son más fiables por su mayor objetividad que los basados en propiedades morfológicas o en la comparación con el horizonte C. Más concretamente en nuestro caso la utilización de criterios o índices en los que se hace intervenir el horizonte C los resultados numéricos no son aceptables.

## AGRADECIMIENTOS

DGICYT Proyectos PB95-0946-PB95-0109 y Junta de Castilla-León Proyecto SAG4/94.

## Referencias

- Alonso, P., Sierra, C., Ortega, E., y Dorronsoro, C. (1994). Soil development indices of soils developed on fluvial terraces (Peñaranda de Bracamonte, Salamanca, Spain). *Catena*, 23, 295-308.
- Birkeland, P. W. (1984). Holocene soil chronofunctions. Southern Alps, New Zealand. *Geoderma*, 34, 115-134.
- Borchardt, G. A. (1977). Montmorillonite and other smectite minerals. En: Richard C. Dinauer (ed.), *Minerals in Soils Environments*, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 293-325.
- Calvo, J. P., García del Cura, M. A., Hoyos, M., Alonso-Zarza, A. M., Sanz, E., y Rodríguez Aranda, J. P. (1989). Sedimentología de los complejos lacustres miocenos de la Cuenca de Madrid. *Acta Geol. Hispánica*, 24, 281-298.

- Dixon, J. B. (1977). Kaolinite and Serpentine Group Minerals. En: Richard C. Dinauer (ed.), *Minerals in Soils Environments*, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 357-398.
- Dorransoro, C., y Alonso, P. (1992). Evaluación por índices analíticos de la evolución de suelos de terrazas fluviales (San Pedro del Valle, Salamanca). *Tercer Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (Univ. de Navarra edit.), 490-495.
- FAO (1977). *Guía para la descripción de perfiles de suelo*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 70 págs.
- Gile, L. H., Peterson, F. F., y Grossman, R. B. (1965). The K horizon: a master soil horizon of carbonate accumulation. *Soil Sci.*, 99, 74-82.
- Harden, J. (1982). A quantitative index of soil development from field description: examples from a chronosequence in central California. *Geoderma*, 28, 1-28.
- Jiménez Ballesta, R., Benayas, J., Martín de Vidales, J., y Guerra, A. (1986). Procesos paleoedáficos del Valle del Tajo próximo a Toledo. *Publicación Soc. Española Ciencia del Suelo*.
- Jongmans, A. G., Feihtel, R., Miedema, R., van Breenen, N., y Veldkamp, A. (1991). Soil formation in a Quaternary terrace sequence of the Allier, Limagne, France. Macro-and micromorphology, particle size distribution, chemistry. *Geoderma*, 49: 215-239.
- Little, I. P., y Ward, W. T. (1981). Chemical and mineralogical trends in a chronosequence developed on alluvium in Eastern Victoria, Australia. *Geoderma*, 25: 173-188.
- Martín, T., Ruiz, B., y Pérez González, A. (1995). Reconstrucción paleoclimática y paleoambiental durante el Pleistoceno Medio en el Valle del río Tajo: primeros datos polínicos. En: T. Alexandre y A. Pérez González (eds.), *Reconstrucción de paleoambientes y cambios climáticos durante el Cuaternario*, Monografías Centro de Ciencias Medioambientales, 3, 347-361.
- Medina Fernández, A. (1977). *Evolución de los suelos en el valle del Henares*, tesis doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 277 págs.
- Munsell Color (1990). Munsell soil color charts. Macbeth Division of Kollmorgen instruments corporation, Baltimore, Maryland.
- Pérez González, A., Gallardo, J., Portero, J. M., Alexandre, T., Pinilla, A., Santonja, M., Soto, E., y Benayas, J. (1989). Excursión C-2: NE de la Cuenca de Madrid: Valles del Jarama-Henares. *II Reunión del Cuaternario Ibérico*, AEQUA, 21 págs.
- Rivas Martínez, S. (1987). *Mapa de Series de vegetación de España*. E: 1:400.000, mapas 13 y 18, ICONA, Madrid.
- Roquero, E., Goy, J. L., y Zazo, C. (1990). Relación Geomorfología-suelos en los depósitos cuaternarios de la submeseta meridional, sector Aranjuez-Añover de Tajo (España). *Actas I Reunión Nac. Geomorfología*, 2, 721-732.
- Roquero, E., Goy, J. L., y Zazo, C. (1993). Rhodoxeralfs and related soils on middle Tajo river Pleistocene terraces (Central Spain). *2nd. Int. Meeting on Red Mediterranean Soils*, Short papers, Adana, Turquía, 100-102.
- Roquero, E. (1994). *Relación suelos-geomorfología en el sector centro-meridional de la Cuenca de Madrid*, tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- Roquero, E., Goy, J. L., y Zazo, C. (1995). Importancia de los factores de la variabilidad edáfica en el estudio de los suelos desarrollados en terrazas fluviales. En: UCM (ed.), *Degradación y Conservación de Suelos*, 255-265.
- Rus, I., Roquero, E., Mazo, A., y Enamorado, J. (1993). Terrazas del Pleistoceno Medio en la Cuenca del Tajo y fauna e industria asociada. *Abstracts 3.ª Reunión del Cuaternario Ibérico*, 86.
- Silva, P. (1988). *El Cuaternario del sector Centro-Meridional de la Cuenca de Madrid: aspectos geomorfológicos y neotectónicos*, tesis de licenciatura, Univ. Complutense de Madrid, 143 págs.
- Silva, P., Goy, J. L., y Zazo, C. (1988). Neotectónica del sector Centro-Meridional de la Cuenca de Madrid. *Estudios Geol.*, 44, 415-417.
- Soil Survey Staff (1960). *Soil Classification. A comprehensive system*, Soil Conservation Service, USDA.
- Soil Survey Staff (1992). *Keys to Soil Taxonomy*, 5th edition, SMMS Technical Monograph, 19, Pocahontas Press, Blacksburg, Virginia, 556 págs.
- USDA (1972). *Soil Survey laboratory methods and procedures of collecting soil samples*, Soil Investigations Rep, 1, Washington.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, 38, 55-94.
- Torrent, J. (1976). Soil development in a sequence of river terraces in Northern Spain, *Catena*, 3: 137-151.

Recibido el 21 de octubre de 1996  
Aceptado el 13 de marzo de 1997