

## LOS SUELOS ROJOS DE LA CANAL DE BERDÚN (HUESCA)

M. VIDAL BARDÁN<sup>1</sup>

RESUMEN.—Se estudian cinco perfiles de suelo rojo desarrollados sobre la terraza de 60 m del curso alto y medio del río Aragón, en el tramo conocido como la Canal de Berdún. La interpretación de los resultados analíticos, el análisis de rayos X y el examen micromorfológico realizados resaltan el carácter policíclico de estos suelos. Se ponen de manifiesto la sucesión de las diferentes fases que concurrieron en el desarrollo de estas formaciones: fluviosedimentación, decarbonatación, argilización y rubefacción, dos grandes episodios de iluviación y, finalmente, sobrevinieron situaciones de hidromorfía. Las edafoturbaciones posteriores que experimentaron estos suelos dieron lugar a diferentes modelos de organización edáfica. Existen pruebas de que sobre los actuales suelos rojos se han heredado algunos rasgos de formaciones edáficas más antiguas.

ABSTRACT.—*The red soils of Canal de Berdún (Huesca, España).* Five red soil profiles developed on the 60 m terrace of the medium and high course of the Aragón river in area known as Canal de Berdún, are studied. The interpretation of the analytical results, the X-ray diffraction, the micromorphologic observation carried on, proves the polycyclic character of the soils. The succession of different periods which were involved in the development of these formations are put in clear: fluviosedimentation, decarbonatation, argilization and rubefaction, two big illuviation episodes,

---

<sup>1</sup> E.T.S.I. Agrónomos de Lugo. C/ Aguas Férreas, s/n. E-27002 Lugo.

and finally, some situations of hidromorphy occur. The later edaphodisturbances that these soils have experimented produced different edaphic organization models. There are also signs from elder edafic formations inherited over the actual red soils.

KEY WORDS.—Red soil, fluvioglacier terrace, genesis, mineralogy, edafodisturbance, alteration.

## INTRODUCCIÓN

Los suelos rojos del área mediterránea son objeto de estudio desde hace años. El interés por entender la génesis y establecer la adecuada clasificación de estos suelos reside en que estas formaciones son las que mejor reflejan las condiciones edafogenéticas que imperaron en el transcurso del cuaternario medio mediterráneo. Hoy, muchas de estas formaciones edáficas se consideran verdaderos paleosuelos, y sus caracteres, como señales de los procesos imbricados durante su larga evolución.

La finalidad de este trabajo es el estudio de los suelos rojos desarrollados sobre los niveles altos de terraza y glacis del río Aragón, a su paso por las provincias de Huesca, Zaragoza y Navarra, en el sector conocido como la Canal de Berdún (SOLÉ, 1940). La Canal de Berdún es el corredor litológico-estructural e integrante de la depresión media pirenaica, de 50 km de longitud aproximadamente, comprendido entre las localidades de Jaca (Huesca) y Yesa (Navarra) (Fig. n.º 1a) y excavado por el río Aragón en los materiales blandos del eoceno. Se trata, pues, de un tramo subsecuente y exhumado por la erosión difrencial. Este conjunto de rasgos litológicos, estructurales e hidrográficos determinan las particulares formas de erosión allí existentes, así como una variada gama de depósitos cuaternarios, entre los que destacan los glacis, las terrazas de carácter fluvioglacial y los sedimentos morrénicos de la cabecera del valle del Aragón (MARTÍ, 1978).

Sobre el zócalo de margas azules este río ha modelado un sistema de terrazas escalonado que tienen continuidad a lo largo de toda la Canal. Está compuesto por tres niveles de erosión: T3, T2 y T1, situados a 60, 20 y 2-3 m sobre el cauce actual respectivamente. El manto central de la terraza de 60 m es el más extenso de los tres y constituye la llamada "tierra de coronas", abocada desde antiguo al cultivo del cereal de secano. Es



el nivel más característico y difundido de este corredor, coronado por el suelo rojo mediterráneo objeto de estudio. Sobre las otras dos terrazas sólo aparecen suelos pardos. Aunque el máximo desarrollo longitudinal y transversal de esta terraza y de sus suelos rojos se alcanza en la margen derecha (Fig. n.º 1b), no se puede decir que exista verdadera continuidad en estas formaciones, sino que aparecen como retazos localizados preferentemente en el tramo comprendido entre los valles de Hecho y Ansó (Huesca). El diverso desarrollo en ambas márgenes de la terraza de 60 m y su reducida, aunque evidente, pendiente transversal (2-3%) parecen abonar la hipótesis del desplazamiento meridional del surco fluvial y una génesis de terrazas en la que no ha cesado la erosión vertical y horizontal.

En el sector medio de la Canal se encuentra un nivel excepcional de terraza, a 120 m sobre el talweg, sobre la que se asienta la localidad que da nombre a esta depresión. Este depósito corresponde evidentemente a un relieve residual de terraza fluvial, dado que tiene un espesor de tres metros y presenta una notable cementación de cantos (SILVÁN, 1983).

Los suelos rojos que aquí se estudian raramente superan el metro y medio de profundidad y, por lo general, en la base del perfil presentan un encostramiento calizo que cementa los cantos de la terraza y origina un horizonte petrocálcico. La composición petrográfica del manto aluvial es variada y su estructura presenta una fuerte heterometría de cantos y bloques rodados. Dada la diversidad litológica de los materiales que componen estos depósitos aluviales, es posible encontrar rocas efusivas básicas del tipo de la andesita, diorita y traquita, junto con grauvacas y pizarras del Pérmico, calizas y pizarras del Devónico o areniscas del Permotriás, todos ellos procedentes de la cabecera de la cuenca y del Pirineo axial. Por el contrario, la margen derecha presenta una relativa uniformidad litológica a base de flysch eoceno, arcillas permotriásicas y calizas cretácicas. Los materiales procedentes de la margen izquierda son esencialmente arcillas, areniscas y conglomerados oligocénicos.

Los restantes suelos rojos de la Canal de Berdún se confinan en algunas superficies de glacis. Se trata de relieves exhumados de perfil llano que, a causa de su mayor pendiente, resultan ser menos estables y más susceptibles a la erosión que las superficies de terraza. El dominio de estos suelos se distribuye entre las formaciones de piedemonte de la sierra de Orba y Leyre, y los glacis del sur de Jaca (Huesca). En este último caso, los suelos rojos recubren un depósito de glacis cónico que enlaza con la terraza de 60 m, compuesto principalmente por cantos de arenisca procedentes de los conglomerados de la Peña Oroel (Huesca). La trinchera de la carretera Jaca-Pamplona, a la altura del pantano de Yesa (Navarra), atraviesa la superficie de glacis principal de la vertiente sur de la sierra de Leyre (BARRERE, 1975), sobre la que se conservan también suelos rojos.

De igual modo, en este mismo sector se revelan los efectos inducidos por fenómenos combinados de naturaleza periglacial, tales como depósitos de plaquitas calizas de fragmentación por crioclastia, bloques brechoides, crioturbaciones, depósitos solifluidales, corrimientos a manto, etc., y que afectaron tan directamente a la organización edáfica de los primitivos suelos rojos. Como consecuencia de estas edafoturbaciones, algunos de estos suelos se encuentran actualmente enterrados o formando bolsas y arcos de solifluxión, o como paquetes espesos de material rojo arcilloso con intercalaciones de bandas pedregosas que, al deslizar sobre la superficie de las margas, acabaron acumulándose en el nivel de transición glacis-terrazza alta.

## MATERIAL

Se han estudiado cinco perfiles de suelo rojo, cuya localización se refleja en la figura n.º 1b. Se trata de perfiles representativos de aquellas superficies geomorfológicas de la Canal de Berdún en los que se han preservado este tipo de suelos. Para caracterizar los regímenes hídricos y térmicos de los suelos, se han seleccionado tres estaciones termopluviométricas: Jaca (Huesca), Artieda (Zaragoza) y Yesa (Navarra). La tabla n.º I resume la información relativa a cada perfil. Asimismo, se recogieron muestras de fragmentos fósiles de acumulaciones de hierro encontrados en las sierras de Leyre y Alaiz (Navarra).

**Tabla I.** Información general de los perfiles de suelo.

Perfil	Localización	Altitud (m)	Superficie	Altura relativa (m)	R. hídrico	R. térmico	Tipología
A1	Jaca (Hu)	840	glacis	93	údico	mésico	Typic Udorthent
A2	Jaca (Hu)	818	terrazza fluvioglacial	52	údico	mésico	Fluentic Eutrochrept
A3	Javierregay (Hu)	670	terrazza	60	xérico	mésico	Typic Rhodoxeralf
A4	Venta Carrica (Za)	520	terrazza-glacis	65,5	xérico	mésico	Calcic Rhodoxeralf
A5	M. de Leyre (Na)	600	glacis	100	xérico	mésico	Aquic Xerorthent

## MÉTODOS

Con la finalidad de caracterizar las muestras se realizaron las determinaciones analíticas siguientes: análisis granulométrico (método internacional modificado por la pipeta de Robinson), pH un agua (electrodo de vidrio y calomelanos), materia orgánica y carbono (WALKEY, 1934), nitrógeno (método de kjeldhal), carbonato cálcico (calcímetro de Bernard), capacidad de intercambio catiónico (método del acetato amónico), cationes de cambio (fotometría y complexometría), acidez valorable (método de Peech, 1947), óxidos de hierro y de aluminio libres (MEHRA y JACKSON, 1960). Además se analizó la fracción arcilla por difracción de rayos X, empleando agregados orientados previamente saturados con magnesio y glicerina; análisis de la fracción pesada de la arena (separación con bromoformo) y para el estudio micromorfológico se prepararon láminas delgadas de bloques de suelo impregnados en cronolita, realizando la descripción de acuerdo con la terminología propuesta por BULLOCK *et al.* (1985). La altura relativa de los perfiles se determinó mediante diferencias de paralaje sobre fotografía aérea (E1/30.000).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla n.º II se presentan los resultados analíticos generales y la tabla n.º III recoge la información relativa al complejo de cambio y los contenidos de hierro y de aluminio libres. La tabla n.º IV resume la información procedente de análisis de rayos X de agregados orientados.

**Tabla II.** Datos analíticos.

Perfil	Horizonte	Profun. (cm)	2-0'2	0'2-0'02	0'05-0'02	0'02-0'002	<0'002	limo/Ar. M.F. CO <sub>3</sub> Ca (%) (USDA)	pH (H <sub>2</sub> O)	MO (%)	C/N
A1	Ap	0-30	11'3	57'3	15'6	97	18'6	09	69	28	13'4
	Bw1	30-50	12'2	58'1	14'0	11'3	17'1	09	64	27	12'3
	Bw2	50-75	11'1	54'2	14'9	13'8	17'7	1'1	73	1'5	120
	CB1	75-130	11'9	53'4	11'3	11'9	14'1	08	87	09	12'2
	CB2	130-150	17'4	54'8	10'1	10'2	14'5	06	79	1'1	8'7
A2	A	0-80	59	32'1	16'6	23'7	13'8	54	74	18	9'1
	Cc	80-120	72	31'3	12'2	27'8	15'4	45	77	1'1	7'4
	2Ab	120-160	8,9	41'7	11'3	21'6	14'9	24	77	05	3'5
	2Btb	160-200	69	38'7	14'0	21'9	23'2	26	74	02	1'8
	2CBb	200-210	78	35'6	12'4	17'7	25'3	26	77	02	2'2
	2Ck	210+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3	Ap	0-20	79	52'9	21'5	20'1	17'2	29	53	1'6	10'3
	Bt1	20-50	83	42'7	15'6	16'4	31'2	22	51	04	3'1
	Bt2	50-80	15'3	35'2	12'1	120	37'8	1'6	54	03	24
	C	80-110+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A4	A	0-25	51	38'6	17'8	19'3	30'9	45	63	3'2	11'5
	Bt	25-80	39	34'8	17'3	17'5	42'6	50	66	06	44
	CBk	80-130	38	32'3	15'1	19'1	12'1	46	76	04	38
	Ckm	130+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A5	A	0-25	47	57'3	11'7	12'9	18'0	32	68	4'1	16'1
	C	25-60	99	58'4	10'2	11'2	194	1'6	62	09	89
	2Btb	60-130	39	31'8	8'8	13'2	500	32	57	04	43

**Tabla III.** Datos analíticos (continuación).

Perfil	Horizonte	Profun. (cm)	CIC (meq/100g)	Ca <sup>2+</sup> (meq/100g)	Mg <sup>2+</sup> (meq/100g)	Na <sup>+</sup> (meq/100g)	K <sup>+</sup> (meq/100g)	H <sup>+</sup> (meq/100g)	V(%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) (libres)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) (libres)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /arcilla (%)
A1	Ap	0-30	8'9	8'1	2'0	0'1	0'2	1'7	100	1'60	0'16	8'63
	Bw1	30-50	7'8	6'1	2'0	0'1	0'2	2'2	100	1'60	0'17	9'37
	Bw2	50-75	7'3	7'1	1'0	0'1	0'1	1'3	100	1'53	0'16	8'64
	CB1	75-130	5'7	8'6	-	0'1	0'1	-	100	1'77	0'18	12'59
	CB2	130-150	6'2	9'1	1'0	0'1	0'1	-	100	1'80	0'20	12'41
A2	A	0-80	13'6	15'1	2'0	0'3	0'3	0'2	100	1'64	0'24	11'88
	Cc	80-120	11'5	13'2	1'1	0'1	0'3	0'4	100	1'92	2'27	12'41
	2Ab	120-160	10'5	12'1	2'0	0'1	0'3	0'6	100	2'52	0'37	16'94
	2Btb	160-200	14'1	13'1	3'1	0'1	0'4	2'0	100	3'40	0'44	14'57
	2CBb	200-210	14'6	18'1	2'1	0'2	0'3	-	100	3'30	0'43	7'08
	2Ck	210+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3	Ap	0-20	8'2	5'6	1'5	0'1	0'1	1'29	89'8	1'78	0'17	10'31
	Bt1	20-50	11'7	7'7	2'6	0'1	0'2	1'38	89'1	3'21	0'23	10'28
	Bt2	50-80	15'3	10'2	2'6	0'1	0'2	1'43	85'3	3'75	0'35	9'92
	C	8-110+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A	0-25	10'9	13'1	2'1	0'1	0'5	3'9	100	2'28	0'28	7'36
A4	Bt	25-80	12'5	15'2	1'0	0'2	0'3	3'5	100	2'81	0'22	6'59
	CBk	80-130	7'3	18'2	1'0	0'2	0'2	-	100	1'78	0'17	14'71
	Ckm	130+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A	0-25	8'9	8'1	2'1	0'1	0'3	3'6	100	1'24	0'17	6'88
A5	C	25-60	5'8	3'0	1'0	-	0'1	3'6	72'7	1'83	0'28	9'40
	2Btb	60-130	18'8	11'1	1'0	0'1	0'4	5'1	66'7	3'28	0'47	6'56

**Tabla IV.** Mineralogía de arcillas.

Perfil	Horizonte	Mica-ilita	Caolinita	Clorita	Vermiculita	Ilita-clorita
A1	Ap	XX	X	X	–	t
	Bw1	XX	X	t	–	t
	Bw2	XX	X	X	–	t
	CB1	XX	X	t	–	–
	CB2	XX	X	t	–	–
A2	A	X	–	t	–	–
	Cc	X	–	t	–	t
	2Ab	XXX	X	t	–	t
	2 Btb	XXX	X	t	t	–
	2CBb	XXX	X	t	t	–
A3	Ap	XXX	X	X	XX	t
	Bt1	XXX	XX	X	XX	X
	Bt2	XXX	XX	X	XX	X
A4	A	XXX	XX	X	–	t
	Bt	XXX	XX	X	–	t
	CBk	XXX	X	t	–	–
A5	A	XXX	X	–	X	t
	C	XXX	X	–	X	t
	2Btb	XXX	X	–	XX	t

XXX, dominante; XX, abundante; X, escaso; t, trazas.

Los cinco perfiles de suelo presentan, en general, una secuencia de horizontes genéticos de tipo A, B textural y horizonte de transición al Ck, agrupando la profusión de situaciones particulares que pueden encontrarse en tres modelos de organización edáfica: a) suelos rojos con síntomas de rejuvenecimiento por erosión (perfil A3), b) suelos enterrados y fosilizados (perfiles A2 y A5), y c) suelos removidos que experimentaron un reordenamiento edáfico posterior (perfiles A1 y A4). Esta hipótesis la avalan tanto las observaciones de campo como los resultados analíticos y las diferencias micromorfológicas y mineralógicas entre los horizontes de suelo. El ordenamiento de materiales exigió fijar en la descripción de los perfiles una discontinuidad litológica al apreciarse cambios de material.

En los periodos húmedos y fases de reexistencia que sucedieron a la génesis de estos suelos, se favoreció el colapso y saturación del sustrato edáfico, que indujo posteriormente su puesta en movimiento como flujo

más o menos plástico a lo largo de las superficies geomorfológicamente poco estables. Las condiciones locales regularon siempre la intensidad de estos arrastres. En ocasiones se organizaron acarrees masivos como los que se observan en la vertiente sur de la sierra de Leyre y que presentan intercalaciones de bandas pedregosas que delatan, a su vez, sucesivos períodos de erosión. La reiteración y sucesión de edafoturbaciones de esta naturaleza son la causa, por una parte, de los diferentes modelos de organización edáfica anteriormente mencionados y, por otra, de la pérdida y debilitamiento de los edaforrasgos originales que diagnostican los caracteres del horizonte argílico.

Del conjunto de datos analíticos correspondientes a los perfiles A3, A4 y A5 cabe resaltar tanto el ligero pH como la acidez de cambio y, como consecuencia, la ligera desaturación que presenta el complejo de alteración. Estos resultados y la ausencia de caliza activa en todas las profundidades demuestran que aquellos tres perfiles no experimentaron procesos importantes de recarbonatación secundaria, como sí se pone de manifiesto, en cambio, en los perfiles A1 y A2. El perfil A2 representa el alfisol que se formó inicialmente a partir del material original de la terraza y en el que es posible diferenciar los dos elementos que contribuyeron en la edafogénesis del perfil (VIDAL, 1988): el frente de iluviación (horizonte 2B<sub>tb</sub>) y el frente de alteración (horizonte 2 CBb). Posteriormente sobrevino un espeso recubrimiento de material alóctono, por la acción de una arroyada difusa, que dado su espesor (120 cm) logró enterrar y fosilizar el primitivo suelo, contaminándolo, lo que obliga a clasificarlo como un Typic Udorthent. En este suelo se presenta el máximo índice de arrastre de hierro y de aluminio libres. Por el contrario, el perfil A3, clasificado como Typic Rhodoxeralf, es el que mejor ha conservado los caracteres originales del suelo rojo que se desarrolló sobre la terraza de 60 m.

La observación micromorfológica revela que la masa basal del horizonte argílico original desarrollado sobre una superficie de terraza presenta rasgos de iluviación bien marcados. Por el contrario, el perfil A5 estudiado en las cercanías del monasterio de Leyre, que inicialmente fue removido y luego aislado por un espeso recubrimiento, presenta también un argílico enterrado, con un 50% de arcilla, pero en el que los caracteres de trasloca-

ción del material fino han desaparecido prácticamente; en él se descubren sólo revestimientos finos y originados, probablemente, como resultado del reordenamiento edáfico posterior. Los edaforrasgos texturales del tipo de revestimientos y rellenos de arcilla roja que presentan microlaminación y otras separaciones plásmicas testimonian la dinámica textural y original de la fase de rubefacción de estos suelos. La duración de estos procesos tuvo que ser larga, como lo prueba, en ocasiones, la existencia de horizontes petrocálcicos que se formaron simultáneamente y cuya presencia denota, a su vez, las condiciones de aridez que favorecieron la deshidratación y precipitación de los óxidos de hierro. También se observan otras separaciones de material fino que presentan otro tipo de contextura. Se trata en este caso de espesos recubrimientos y rellenos de arcilla de color amarillo. Estas iluviaciones gruesas se originaron como consecuencia de los arrastres mecánicos del material fino que sobrevinieron a las fases pluviales impuestas, a su vez, por los cambios climáticos. Generalmente, se originaron traslocaciones densas que revisten una b- contextura de tipo moteada en mosaico. La impermeabilidad generada, en parte, por los horizontes petrocálcicos, pero sobre todo por la colmatación del frente de iluviación del perfil, indujeron la aparición de los efectos de la hidromorfía. Estas condiciones de saturación del suelo favorecieron la redistribución del hierro libre y la aparición de segregaciones y moteados ferruginosos, que en el caso de afectar a los cantos de la grava se originaron verdaderas pátinas o películas de recubrimiento. Estas nuevas condiciones edafoclimáticas del perfil están estrechamente relacionadas con una dinámica nueva de las formas de hierro, y muy especialmente con la formación de lepidocrocita y maghemita, como se detecta en los perfiles A2 y A3.

Por otra parte, también se puede apreciar un contraste entre grados de alteración, en ocasiones acentuado. En primer lugar, se encuentra la relativa abundancia en estos suelos de granos de leucoxeno procedentes de ilmenita o de la alteración de cristales de rutilo. También es elevada la proporción de opacos de alteración del tipo de göethita y hematites en cualquiera de las subfracciones pesadas de la arena, resultando más escasos los transparentes. De igual modo, el examen de la lámina delgada de suelo revela la existencia de frecuentes edaforrasgos de contextura con carácter de lito y edaforrelicto heredados. Algunos de ellos aparecen

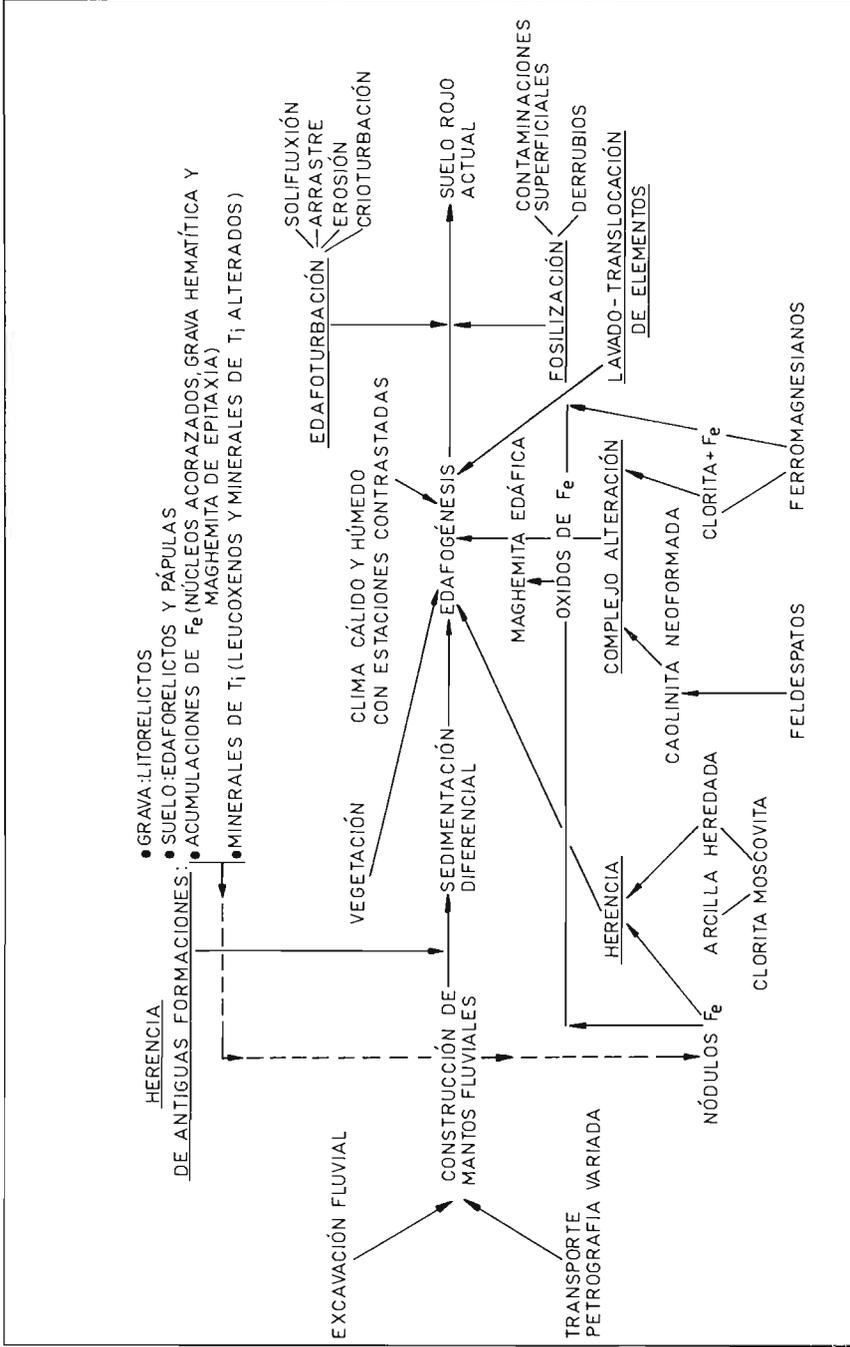


Fig. 2. Síntesis evolutiva de los suelos rojos.

extinguidos al observarlos con luz polarizada y es preciso acudir a la luz incidente para distinguirlos. El contraste con la matriz del suelo rojo actual es agudo, encontrándose los granos de leucoxeno preferentemente en la masa roja heredada e isótropa. Asimismo, es posible descubrir otros rasgos que prueban también un mecanismo de herencia sobre los actuales suelos rojos. En este caso se trata de pápulas y de fragmentos de edaforrasgos heredados que aparecen totalmente extinguidos al examinarlos con nícoles cruzados y en los que su color no guarda relación con la micromasa actual.

En la misma línea que las pruebas anteriores, se advierte que una alteración moderada de tipo fersialítico no justificaría ni las acumulaciones de hierro que hemos descubierto ni tampoco la existencia de grava hematítica compuesta, como se observa en lámina delgada, por göethita, hematites y granos de cuarzo corroídos. Los fragmentos fósiles de núcleos acorazados aparecen a la altura del nivel de erosión villafranquiense de la sierra de Alaiz (Navarra) y en la vertiente sur de la sierra de Leyre, siempre a más de doscientos metros sobre el cauce actual.

El cortejo mineralógico de la arcilla presenta una composición a base de minerales micáceos, responsables de los espaciados de 1'0 nm, proporciones reducidas de caolinita e interstratificados de estas dos especies. Una alteración moderada de naturaleza fersialítica en estos suelos justificaría la asociación mineralógica anterior.

El carácter de paleosuelo de estas formaciones y las perturbaciones que experimentaron en estadios posteriores hacen de por sí difícil esclarecer los procesos imbricados en su génesis. Sin embargo, existen pruebas que insinúan la existencia de un proceso de naturaleza fluviosedimentaria para el material original del suelo; material que, por otra parte, resulta difícil de precisar tanto en composición como su naturaleza inicial y, más aún, predecir el momento en el que se arrastra y deposita sobre el manto de grava que integra el depósito fluvial y fluvio-glaciario.

Los diferentes mecanismos y fases que concebimos en la génesis de estos suelos, así como su posterior evolución, quedan representados en las figuras n.º 2 y 3.

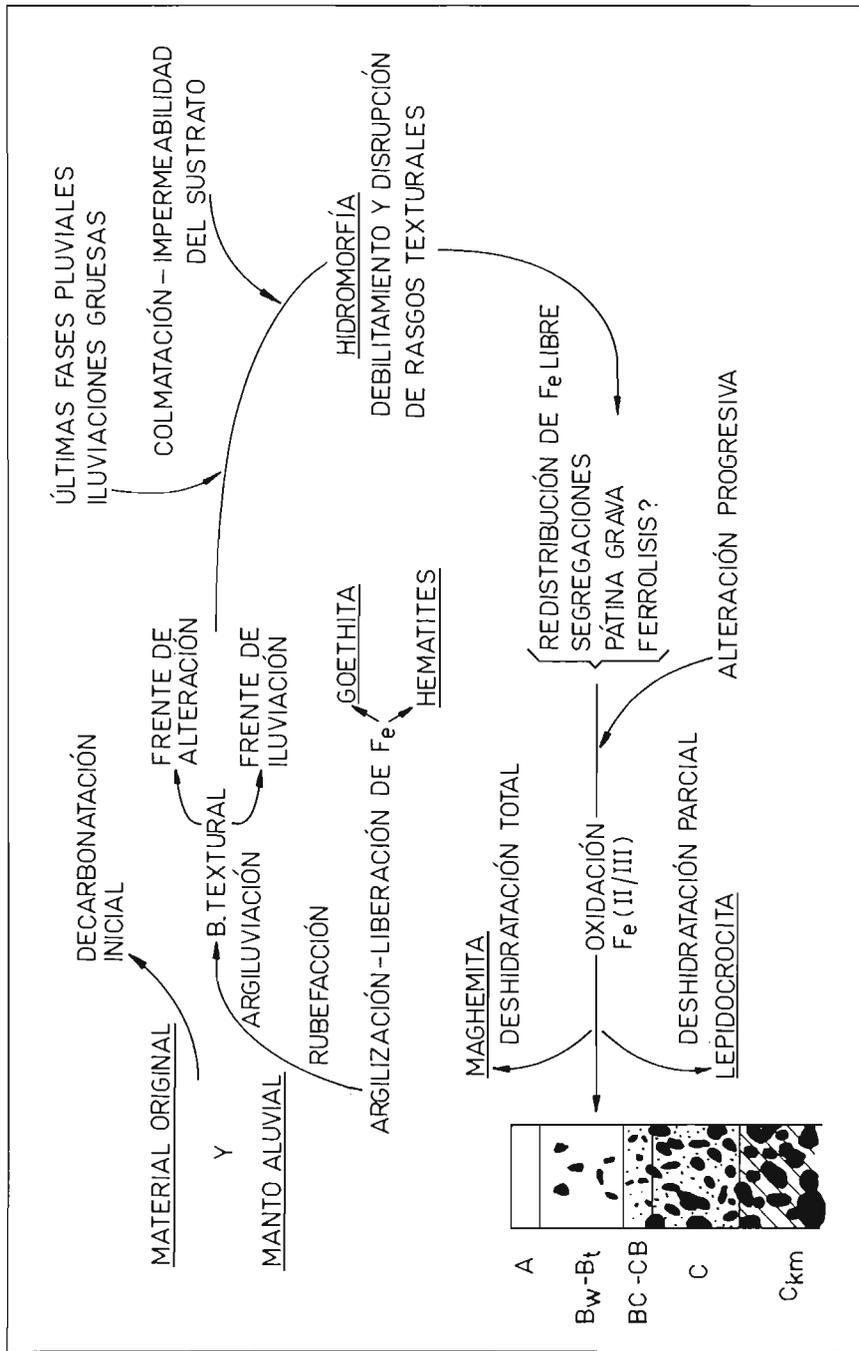


Fig. 3. Procesos edáficos.

La fase inicial de la génesis de estos suelos iría acompañada de una fase de herencia mecánica de las formaciones preexistentes (relieve residual de Berdún, Coronas y hombros de erosión villafranquiense). En el mismo sentido apunta la diferente alteración que muestran algunos cantos englobados en la matriz del suelo; este carácter es para ALIMEN (1964) propio de la sedimentación Mindel-Riss registrada sobre las formaciones de la vertiente francesa de los Pirineos.

El análisis textual y, particularmente, los valores de la relación limo/arena muy fina permiten confirmar la supuesta fase sedimentaria. Primero, se advierte una cierta semejanza entre los valores correspondientes a los horizontes de un mismo perfil y, en segundo lugar, los valores menores se registran en la cabecera (perfiles A1 y A2) y van progresivamente creciendo aguas abajo, al disminuir la competencia de la corriente y aumentar simultáneamente el nivel de excavación del río.

Parecen existir también pruebas acerca de un segundo proceso constructivo de estos suelos y que se articularía con aquella fase inicial. En este caso, se trata de fenómenos de recubrimiento que afectaron a algunas superficies de esta región. En el perfil A2 se advierte una contaminación superficial que llegó a fosilizar el suelo primitivo. En este caso, los 120 cm de espesor de enterramiento aislaron edáficamente al suelo rojo desarrollado en la base de la formación. La textura del material que lo compone es de tipo franco-limosa y con un contenido de  $\text{CO}_3$  Ca superior al 20%. Además de estas señales, los resultados analíticos, junto con las diferencias mineralógicas que se aprecian en las fracciones de arena y arcilla respecto al suelo rojo enterrado, nos permiten establecer un cambio de material dentro del perfil. Este depósito contiene entre los 80 y 120 cm de profundidad abundantes nódulos de acreción en los que se observan hasta cuatro bandas de desarrollo de naturaleza ferruginosa, originadas probablemente bajo condiciones de humectación y secado. El límite agudo que existe entre este tipo de nódulos y el resto de la masa basal, que, a su vez, presenta una contextura de birrefringencia de tipo cristalítica, sugiere un origen arrastrado y por tanto heredado para este tipo de rasgos hipocristalinos.

En cuanto a los procesos edáficos se refiere, suponemos que el material original depositado sobre el sustrato de grava de estas formaciones experimentó una decarbonatación progresiva, al tiempo que avanzaban tanto la neoformación de arcilla como la liberación de pequeñas cantidades de hierro, en forma de göethita y de hematites. En este estado inicial y a medida que progresaba la argilización del material, se crearon relaciones estables entre los componentes de arcilla y de hierro y, simultáneamente, se produjo la traslocación inicial del material fino responsable de los rasgos de iluviación, a los que corresponde la micromasa roja. Muchos de estos rasgos se perdieron o se debilitaron a causa de las perturbaciones edáficas, a las que aludimos anteriormente, o por efecto del mismo envejecimiento. Esta argiluvación inicial dependió, en primer lugar, del grado de decarbonatación alcanzado en el material original y, por tanto, del estado de dispersión de la arcilla.

Por otra parte, la variada tipología de nódulos de hierro existentes en estos suelos, así como las complejas formaciones de maghemita de crecimiento epitaxial (VIDAL, 1988) sobre cristales de cuarzo y la abundante proporción de opocas naturales y de alteración en la fracción pesada de la arena, prueban la superposición de dos procesos de alteración de distinto grado y separados en el tiempo. El primero, más severo que el de carácter fersialítico, hizo posible la disolución de la sílice y la precipitación masiva de compuestos ferruginosos, precursores de las acumulaciones y núcleos acorazados de hierro.

## CONCLUSIONES

Los suelos aquí estudiados se desarrollaron sobre la terraza de 60 m del río Aragón, de carácter fluvio-glaciar en el tramo conocido como la Canal de Berdún. Se trata de suelos rojos de edad Mindel-Riss. Las edafoturbaciones de distinta naturaleza y diferente grado que experimentaron estos suelos son la razón de que aparezcan bajo distintos modelos de organización edáfica: suelos erosionados, enterrados, y suelos removidos con síntomas de reordenamiento edáfico posterior.

Concebimos el material original del suelo y la zona superficial del manto de grava como los elementos que componen dos frentes dentro del perfil: uno de iluviación y otro de alteración, si bien cada uno de ellos ha contribuido en grado distinto, aunque de manera simultánea, al desarrollo del suelo rojo.

Se clasifican estas formaciones como paleosuelos policíclicos, por haber experimentado una sucesión de procesos en el tiempo independientes entre sí: acarreo y deposición de un material inicialmente grosero; recarbonatación, génesis, rubefacción y traslocación de los minerales de la arcilla; iluviaciones gruesas; fenómenos de hidromorfía, perturbación y fosilización edáficas, y, por último, la aparición en algunos casos de contaminaciones superficiales de naturaleza calcárea.

Estos suelos han experimentado una alteración de tipo fersialítico con una fase previa de carácter moderadamente ácido. Estas condiciones iniciales indujeron tanto la neoformación de caolinita como la movilidad del hierro y de pequeños contenidos de aluminio libre. El esquema de filiaciones de los minerales arcillosos está compuesto por procesos de transformación debidos a la alteración de la mica moscovita original, responsables de la presencia de vermiculita; herencia directa de mica y parte de clorita, así como una pequeña neosíntesis de clorita a partir del reducido elemento ferromagnesiano. La formación de göethita y hematites está ligada con la rubefacción inicial del suelo y es independiente y asincrónica de la asociación lepidocrocita-maghemita, que parece estar relacionada, más bien, con las nuevas condiciones edafoclimáticas que imperaron en el suelo al surgir en éste los fenómenos de hidromorfía.

Se detecta la superposición de dos procesos de alteración distintos y separados en el tiempo: uno fersialítico y otro anterior, más intenso y largo, como lo delata la presencia de edaforrasgos de contextura con carácter de lito y edaforrasgos, fragmentos de grava hematítica, granos de lencoxeno, etc.; algunos de estos caracteres fueron heredados sobre el actual suelo rojo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALIMEN, H., 1964. *Le quaternaire des Pyrénées de la Bigorre*. Ed. Press. Paris.
- BARRERE, P., 1975. Terrasses et glacis d'érosion en roches tendres dans les montagnes du Haut-Aragón. *Étud. Géograph.* 1975: 29-42.
- BULLOCK, P., 1985. *Handbook for soil section description*. Londres.
- MARTÍ, C. C., 1978. Aspectos de la problemática gomorfológica del Alto Aragón Occidental. *Est. Geogr.* 153: 473-493.
- MEHRA, O. P. y JACKSON, M. L., 1960. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay and Clay Miner.* 7: 317-327.
- SILVAN, L., 1983. Terrazas y glacis del Aragón en Berdún. *Actas VII Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos*, Jaca, 5: 149-159.
- SOLÉ, L., 1940. La Canal de Berdún. *Est. Geogr.* 7: 118-223.
- VIDAL, M., 1990. *Los suelos rojos de la cuenca del Ebro: génesis y clasificación*. Serie de Investigación Científica (microfichas). Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca.
- WALKLEY, A., 1934. An examination of the Dejtjareffmethod for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid tritiation method. *Soil Sci.* 37: 29-38.