

ANÁLISIS E INTERPRETACION DE ALGUNAS CUESTIONES QUE PLANTEA EL COMPLEJO DE MORRENAS Y TERRAZAS DEL RIO ARAGON (HUESCA)

Vidal Bardán, M. (1) & Sánchez Carpintero, I. (2)

(1) E.T.S.I. Agrónomos de Lugo. 27002-Lugo.

(2) Facultad de Ciencias. Universidad de Navarra. 31080-Pamplona

Resumen. El complejo morrénico del valle de Canfranc (Huesca) y las terrazas fluvio-glaciares de la cabecera del río Aragón componen un marco adecuado en donde estudiar las complejas relaciones entre ambos tipos de formaciones. En este trabajo se aporta una perspectiva nueva al estudio geomorfológico de estos depósitos glaciares: el análisis del grado de alteración de los sedimentos con criterio cronológico y de diferenciación. Para ello, sobre muestras recogidas en los cinco arcos morrénicos mejor conservados y dos perfiles de suelo rojo de la terraza superior, se ha efectuado el análisis textural y del complejo de cambio, y la caracterización mineralógica de la arcilla y la fracción arena. Para interpretar los valores del contenido en hierro libre, amorfo y total, se han definido como índices del grado de alteración las relaciones representativas de las proporciones de hierro libre, silicatado y cristalino. Los resultados revelan que el desarrollo de los suelos rojos es anterior a la construcción de los depósitos morrénicos y que, como consecuencia, no existe conexión entre la morrena más externa y la terraza fluvio-glacial de 60 m. A pesar de la meteorización similar experimentada por todos los arcos, el diferente contenido en maghemita y las variaciones en la relación limo/arena gruesa se interpretan como el resultado de dos fases diferenciadas durante la edificación del complejo morrénico.

Palabras claves: morrenas, terrazas fluvio-glaciares, grado de alteración, maghemita, Pirineos occidentales.

Abstract. The morrenic complex of Canfranc valley (Huesca) and the fluvio-glacier terraces at the headwaters of river Aragón make up a suitable frame for the study of the existing complex relationships between both types of formations. This paper contributes a new prospect in the geomorphological study of these glacier deposits, namely the analysis of the alteration levels of sediments as a chronological criterion. For this purpose and by means of a series of samples collected from the best preserved morrenic archways and also from two profiles of red soils, the textural and change complex analysis as well as the mineralogical typification of clay and of sand fraction have been carried out. To interpret the content values in free, amorphous and total iron the representative ratio of free, silicated and crystalline iron is defined as an indicator of the alteration levels. Results reveal that red soil development is clearly previous to the building of morrenic deposits and, as a consequence, there is no possible connection between the most outward moraine and the fluvio-glacier terrace of 60 m. In spite of the similar meteorization experienced by all archways, different content of maghemite and changes in the silt/coarse sand ratio are interpreted as a results of two differentiated phases along the building of the morrenic complex.

Key words: moraines, fluvio-glacier terraces, alteration levels, maghemite, western Pyrenees.

1. Introducción

El complejo de morrenas frontales de la cubeta terminal del río Aragón constituye un marco excelente en donde abordar la problemática glaciár del Pirineo Occidental. Numerosos autores han estudiado estas formaciones con el fin de poder relacionarlas con las terrazas fluvio-glaciares vecinas y, de esta manera, establecer una cronología relativa entre los distintos depósitos (Fig. 1).

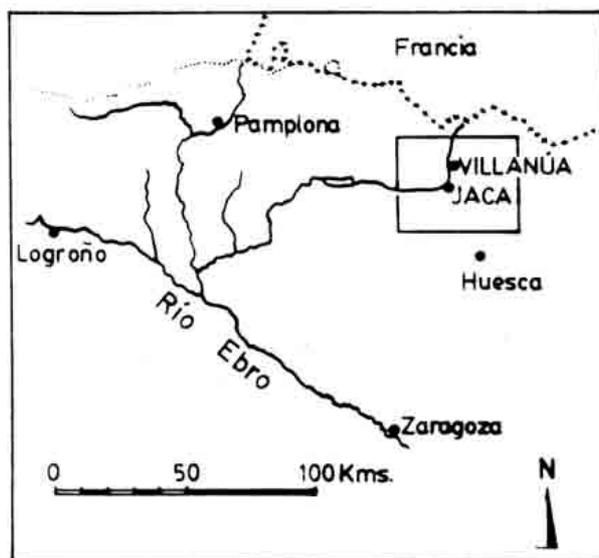


Fig. 1. Mapa de situación
Location map

Se han citado entre cinco y siete arcos frontales, escalonados en una longitud de tres kilómetros aproximadamente, comprendidos entre las localidades de Castiello de Jaca y Villanúa (Huesca). De los cinco arcos mejor conservados en la actualidad, el más externo de todos corresponde al denominado M_1 , según la terminología utilizada por Llopis (1947), y al que le suceden los m_1 , M_2 , m_2 y m_3 , éste último el más interno de la formación (Fig. 2).

Opiniones diversas, no siempre coincidentes, han ido sucediéndose en relación con la cronología de estos depósitos. Así, Panzer (1926), Solé Sabarís (1941) y Llopis (1947) consideran que las morrenas del río Aragón pertenecen a dos glaciaciones diferentes, Riss y Würm, porque enlazan con las dos terrazas fluvio-glaciares de la cabecera del río. Según esta hipótesis, el arco más externo (M_1) estaría asociado con la terraza de 60 m, mientras que los restantes lo harían con la terraza de 15-20 m o inferiores. Por el contrario, Barrère (1963) no refiere la génesis de estos depósitos a dos épocas glaciares sino a momentos distintos de un mismo periodo rissense. Para este último autor no existe verdadero enlace entre la terraza de 60 m y la morrena externa, sino que el glaciar en su progresión vino a apoyarse sobre el borde ya disecado de aquella terraza.

Así como una de las razones importantes para admitir dos periodos glaciares en el complejo morrénico del río Aragón es el posible enlace con dos terrazas diferentes, para Martí (1978) la presencia de suelos rojos coronando la terraza de 60 m constituye un argumento válido para atribuir una edad Mindel a esta terraza fluvio-glaciár. Según este autor, se pueden establecer tres periodos glaciares: el primero, de edad Mindel, lo representan tanto el fluvio-glaciár de 60 m como el arco M_1 al que está asociado, siempre y cuando se admita dicho enlace; el segundo lo constituirían los arcos restantes que enlazan

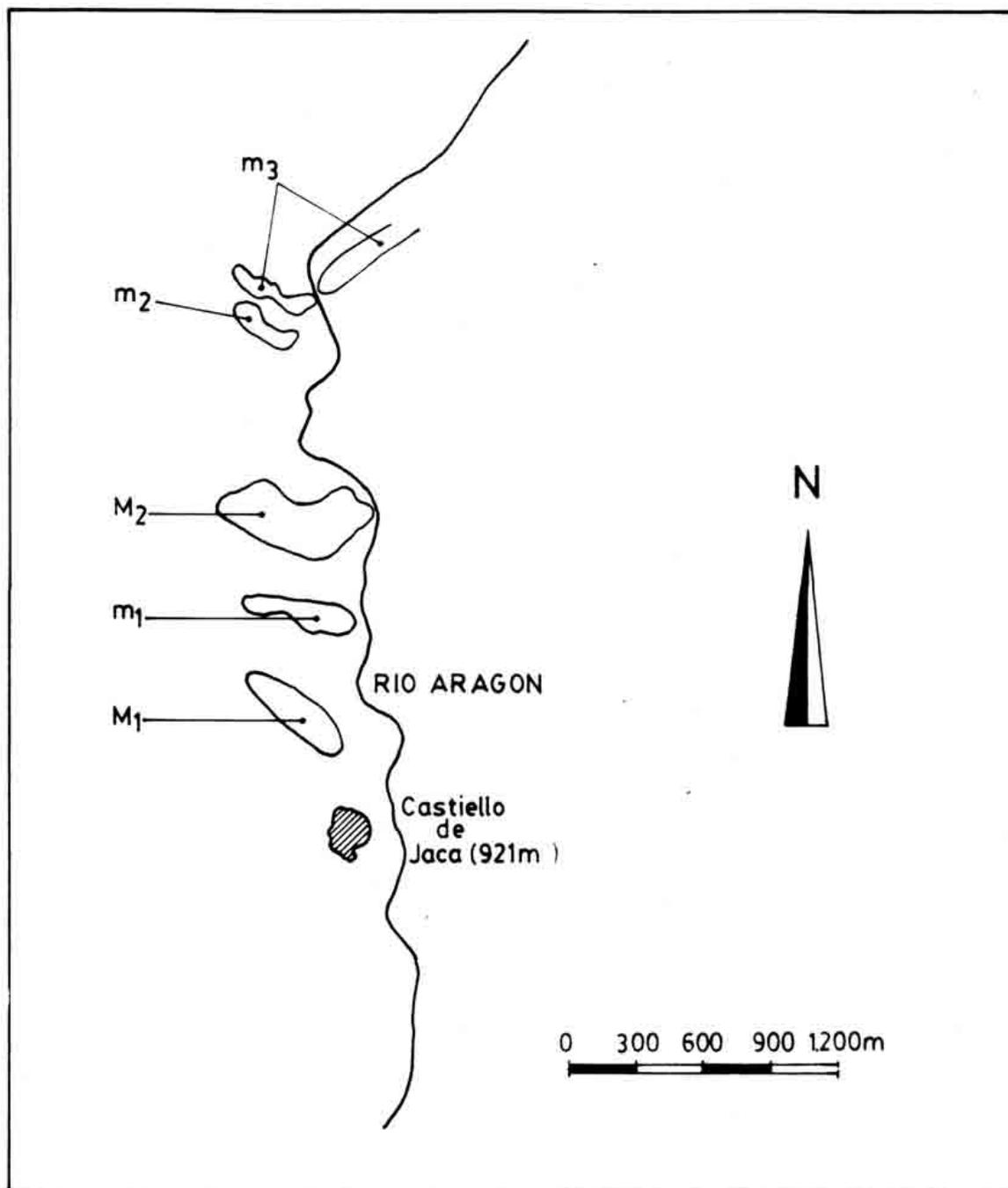


Fig. 2. Localización de los arcos morrénicos estudiados, de acuerdo con la nomenclatura asignada por Llopis (1947)
Location of the studied morainic arcs, according to the terminology given by Llopis (1947)

con el nivel de la terraza de 15-20 m, de edad Riss; y, por último, el Würm, representado por el complejo que dicho autor denomina "morrenas de altitud".

Sin embargo son pocos los autores que han orientado sus trabajos hacia la posible caracterización de los depósitos morrénicos por la alteración de sus constituyentes minerales. Destaca, en este sentido, la aportación de Martí (1973), que estudia los sedimentos morrénicos del valle del Aragón, encontrando algunas diferencias mineralógicas entre los arcos más internos y más externos del conjunto.

El presente estudio pretende contribuir al mejor conocimiento de este complejo morrénico, desde una perspectiva hasta ahora no considerada: la utilización del análisis del grado de alteración de estos sedimentos cuaternarios y su comparación con el que presentan los suelos rojos de la terraza alta, como criterios cronológicos y de diferenciación.

2. Material y métodos

Para la realización de este trabajo se tomaron, por una parte, muestras de los cinco arcos frontales del complejo de Castiello de Jaca-Villanúa, recogidas entre 20 y 30 cm de profundidad y en el punto medio de cada arco, que denominamos, de acuerdo con la simbología establecida por Llopis (1947), M_1 , m_1 , M_2 , m_2 y m_3 . Además se estudiaron dos perfiles representativos del suelo rojo de la terraza fluvio-glacial de 60 m, el S_1 situado en la misma terraza de Jaca (Huesca) y el S_2 localizado en el término de Los Allagares (Berdún, Huesca).

En cada una de las muestras se han realizado las siguientes determinaciones: pH en agua y CIK 1N, análisis textural, carbonatos, capacidad de intercambio catiónico, cationes de cambio y grado de saturación de bases. La caracterización mineralógica se ha realizado mediante difracción de rayos X de agregados orientados de muestras de arcilla, y análisis de las fracciones pesada y ligera de la arena (subfracción de 0.5-0.05 mm). Asimismo, se ha determinado mediante absorción atómica el hierro extractable con ditinito-citratobicarbonato (Mehra & Jackson, 1960), Fe_d ; oxalato amónico (Schwertmann, 1964), Fe_o y finalmente, ataque y descomposición de la muestra con ácido fluorhídrico, Fe_t .

Los cristales transparentes de la fracción pesada de las morrenas resultaron tan escasos en la subfracción analizada que las proporciones están referidas a cien minerales opacos, mientras que en los suelos rojos, al ser más rico el cortejo de minerales transparentes, los opacos se refieren a cien minerales transparentes.

3. Resultados y discusión

En el mapa de la Fig. 3 se refleja la extensión que ocupan los suelos rojos desarrollados sobre la terraza alta del río Aragón, en el sector conocido como La Canal de Berdún; se destaca la ubicación de los perfiles estudiados, así como la posición relativa de los arcos que componen el complejo morrenico.

El suelo S_1 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 $2B_{tb}$) y el frente de alteración (horizonte $2CB_b$). Posteriormente, sobrevino un potente recubrimiento de material alóctono que, dado su espesor (120 cm), logró enterrar y fosilizar el primitivo suelo, contaminándolo, lo que obliga a clasificarlo como un Typic Udorthent. Por el contrario, en el perfil S_2 , clasificado como un Typic Rhodoxeralf, se han conservado los caracteres originales del suelo rojo que se formó sobre la terraza de 60 m.

La tabla 1 recoge los resultados del análisis mecánico y la composición del complejo de cambio de las muestras de suelo y arcos morrénicos. Un primer aspecto a destacar es la eliminación total de los carbonatos en el perfil S_2 . Este hecho se interpreta como el resultado final del largo proceso de decarbonatación que experimentó el material original del suelo, pero al que ha contribuido también la ausencia de contaminaciones superficiales,

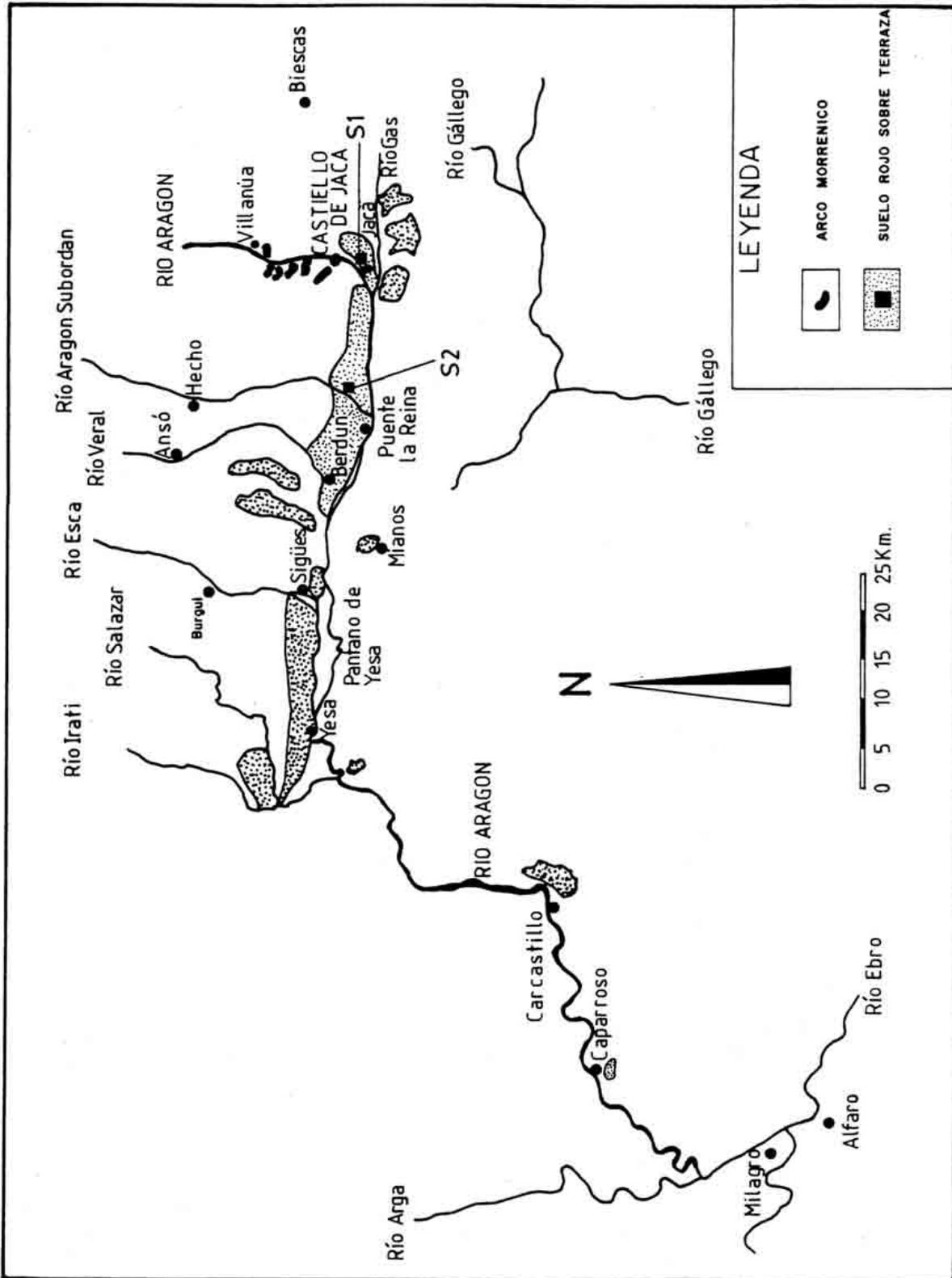


Fig. 3. Localización de suelos (S_1, S_2) sobre la terraza alta del Aragón y arcos morrénicos relacionados
 Location of soils (S_1, S_2) upon the highest terrace of the Aragón river and the related moraine arcs

Tabla 1. Análisis químico y textural de suelos y morrenas
Chemical and textural analysis of soils and moraines

TEXTURA							
	% Arenas	% Limo	% Arcillas	% CO ₃ Ca	Limo/Ar.Gruesa	H ₂ O	CIK
Morrenas							
M ₁	32.3	26.3	23.7	20.3	4.7	6.7	6.0
m ₁	30.5	25.2	22.2	24.8	4.7	5.7	5.5
M ₂	33.7	28.7	33.3	-	5.1	6.1	5.0
m ₂	38.4	33.9	23.5	-	10.3	6.0	4.9
m ₃	23.7	33.4	23.2	22.5	11.2	6.6	5.9
Suelo/Horiz.							
S ₁ A	38.0	40.2	13.8	26.8	50.3	7.4	7.7
Cc	38.5	40.0	15.5	17.1	32.0	7.7	6.7
2A _b	50.7	32.8	14.9	13.5	33.0	7.7	6.5
2B _{tb}	45.7	35.9	23.3	9.3	36.3	7.4	6.0
2CB _b	43.4	30.2	25.3	10.7	23.3	7.7	6.6
S ₂ A _p	60.9	41.6	17.3	-	43.3	5.3	4.8
B _{t1}	51.1	32.0	31.2	-	43.3	5.1	4.3
B _{t2}	50.6	24.0	37.8	-	16.3	5.4	4.5
COMPLEJO DE CAMBIO (meq/100 gr)							
	CIC	Ca	Mg	Na	K	%S/T	A _c NH ₄
Morrenas							
M ₁	10.22	10.86	2.17	0.22	0.56		100
m ₁	9.15	13.03	2.17	0.24	0.29		100
M ₂	15.60	15.20	2.17	0.25	0.37		100
m ₂	9.15	7.60	2.17	0.20	0.22		100
m ₃	8.61	14.11	2.17	0.21	0.26		100
Suelo/Horiz.							
S ₁ A	13.59	15.15	2.02	0.25	0.32		100
Cc	11.50	13.26	1.02	0.13	0.31		100
2A _b	10.46	12.12	2.02	0.10	0.30		100
2B _{tb}	14.12	13.13	3.03	0.13	0.39		100
2CB _b	14.64	18.18	2.02	0.20	0.34		100
S ₂ A _p	8.15	5.61	1.53	0.06	0.12		89.81
B _{t1}	11.71	7.65	2.55	0.09	0.15		89.15
B _{t2}	15.28	10.20	2.55	0.13	0.16		85.34

como la que se refleja en el S₁ donde los valores de CO₃Ca decrecen hacia la base del perfil.

Más difícil resulta la interpretación de los datos del análisis granulométrico. En cualquier caso, los diferentes valores obtenidos de la relación limo/arena gruesa reflejan, de alguna manera, la distinta naturaleza del acarreo y de la sedimentación que experimentaron los materiales constituyentes del suelo y arcos morrénicos. Los valores

altos se registran en los suelos de la terraza y sugieren un origen fluviosedimentario para su material original, mientras que los valores mucho más reducidos que presentan los arcos apuntan hacia un medio de transporte menos selectivo, como es el arrastre glaciario. Incluso los valores de 4,7-5,4 y 10,3-11,2 marcan cierta diferencia en las condiciones del acarreo que generó finalmente los arcos M_1 , m_1 y M_2 respecto de m_2 y m_3 .

Tabla 2. Mineralogía de arenas correspondientes a la subfracción 0.5-0.05 mm de los arcos morrénicos y horizontes 2 CB_b del perfil S_1

Mineralogy of sands corresponding to the class 0.5-0.05 mm of the morainic arcs and 2 CB_b horizon of the S_1 profile

Fracción pesada						
% de:	Morrenas					Suelos S_1
	M_1	m_1	M_2	m_2	m_3	Horizonte 2 CB_b
Fracción pesada	0.14	0.14	0.06	0.17	0.07	1.09
Opacos naturales	42	46	35	59	33	27
Oxidos de Hierro	6	6	15	6	9	70
Hidróxidos de Hierro	30	33	36	25	44	68
Leucóxenos	22	15	14	10	14	139
Turmalina	4	2	-	5	12	42
Circón	9	3	3	14	7	19
Rutilo	3	3	2	9	5	19
Granate	-	-	-	-	-	3
Anatasa	-	-	-	-	-	2
Broquita	-	-	-	-	-	1
Epidota	-	-	-	-	-	2
Apatito	-	-	-	-	-	12

Fracción ligera						
% de:	Morrenas					Suelo S_1
	M_1	m_1	M_2	m_2	m_3	Horizonte 2 CB_b
Fracción ligera	99.86	99.86	99.94	99.83	99.93	98.91
Cuarzo	86	80	90	87	86	87
Feldespatos	11	13	6	10	9	3
Biotita	1	2	3	1	2	1
Alterita	2	5	1	2	3	9

Por otra parte, tanto el lavado como el bajo grado de saturación de bases del complejo de cambio resultan mas acentuados en los suelos de la terraza alta que en las morrenas. La excepción la constituye el perfil de Jaca (S_1), como consecuencia de la contaminación superficial de naturaleza calcárea (horizontes A y Cc), a la que se ha aludido anteriormente.

El análisis de la fracción pesada y ligera de la arena (tamaño 0,5-0,05) (tabla 2) informa acerca de la composición y del contenido de esta fracción, resultando este último más abundante en los suelos que en las morrenas. La correcta interpretación de los resultados requiere tener en cuenta el tipo de recuento o estimación realizado en el análisis ya que las

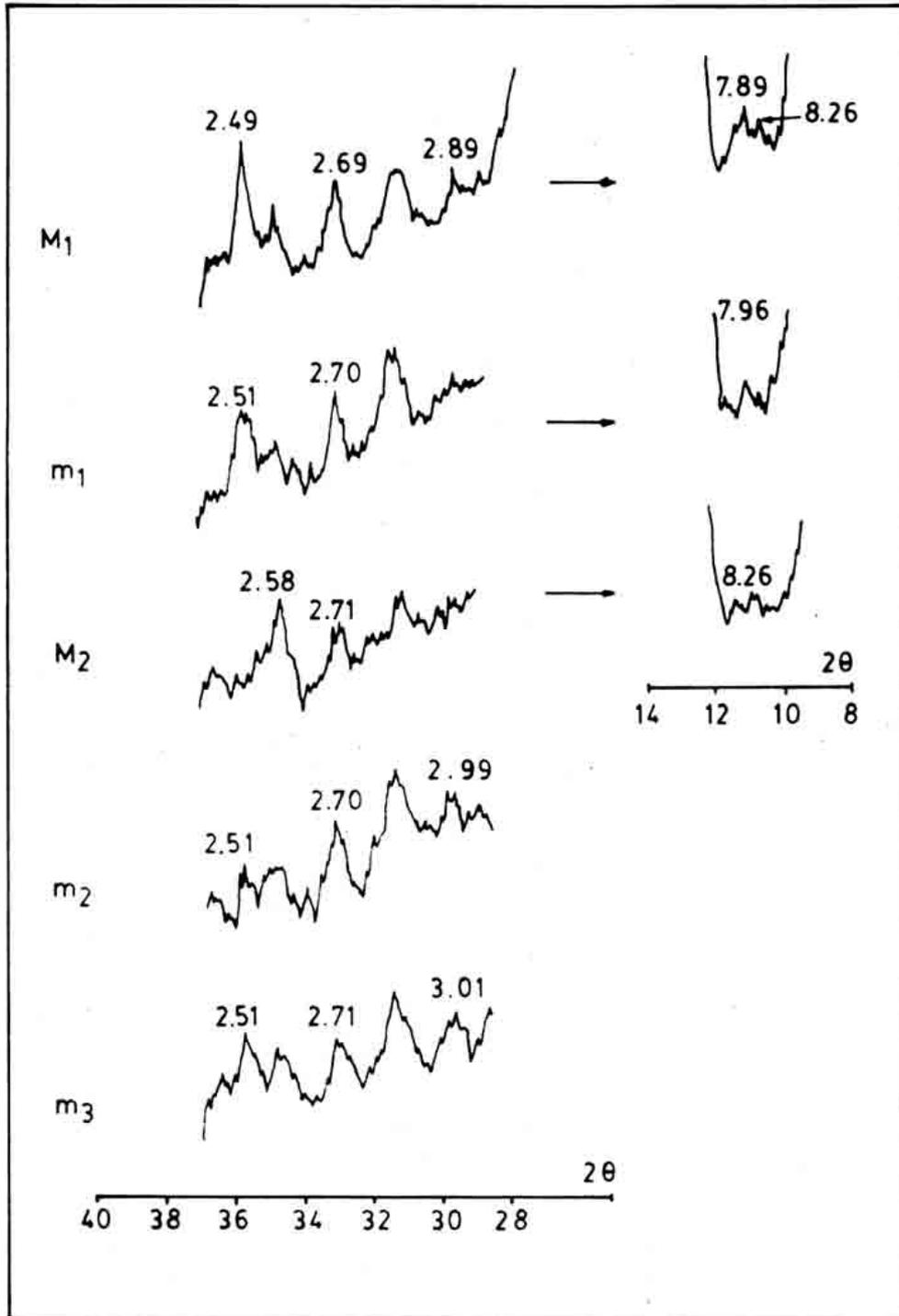


Fig.4. Difactogramas de la fracción arcilla de los arcos morrénicos. Reflexiones expresadas en Å (Difractogrames of the clay fraction of morainic arcs. Reflections expressed in Å)

Tabla 3. Fraccionamiento de las formas de hierro total (Fe_t), libre (Fe_d) y amorfo (Fe_o) expresado como Fe_2O_3 (%)
Fractionation of the total (Fe_t), free (Fe_d) and amorphous (Fe_o) iron forms, expressed as Fe_2O_3 (%)

				Fe_d/Fe_t %	$\frac{Fe_t - Fe_d}{Fe_t}$	$\frac{Fe_d - Fe_o}{Fe_t}$	
Morrena	% Fe_t	% Fe_d	% Fe_o	Fe libre	Fe silicatado	Fe cristalino	
M ₁	4.49	1.98	0.46	44.1	55.9	33.9	
m ₁	4.21	1.87	0.59	44.4	55.6	30.4	
M ₂	5.71	2.84	0.73	49.7	50.3	36.9	
m ₂	4.64	2.41	0.66	51.9	48.1	37.7	
m ₃	3.92	1.84	0.51	46.9	53.1	33.9	
Suelos/hor.							
S ₁	A	3.71	1.64	0.57	44.2	55.8	28.8
	Cc	4.21	1.92	0.58	45.6	54.4	31.8
	2A _b	5.36	2.52	0.67	47.0	52.9	34.5
	2Bt _b	4.29	3.40	0.39	79.3	20.7	70.1
	2CB _b	4.04	3.30	0.54	81.6	18.3	68.3
S ₂	A _p	2.71	1.78	0.32	65.6	34.3	53.8
	Bt ₁	4.7	13.21	0.59	68.1	31.8	55.6
	Bt ₂	3.95	3.75	0.37	94.9	5.0	85.5

proporciones se refieren a cien cristales transparentes o a cien minerales opacos según se trate de muestras de suelo o arcos respectivamente; por esta razón, no se pueden comparar directamente entre sí los valores correspondientes a una misma especie mineral. Sin embargo, como los mantos aluviales y los arcos presentan una composición petrográfica análoga, el contenido y la variedad existente en el cortejo de minerales transparentes de los suelos revelan una alteración más intensa y prolongada que la que experimentaron los materiales de los arcos morrénicos.

La elevada proporción de leucoxenos, óxidos e hidróxidos de hierro que presentan todas las muestras es, en buena parte, el resultado de la erosión de antiguas formaciones ferralíticas, anteriores a los suelos rojos de la zona (Vidal, 1988), que, una vez desmanteladas, fueron heredadas por los materiales originales de los suelos de la terraza alta a modo de edaforelictos, e incluso llegaron a formar parte de los materiales que componen los arcos. Por el contrario, los resultados del análisis de la fracción ligera expresan una composición muy semejante en todas las muestras, con la excepción de los feldspatos y alteritas de los suelos que aparecen en proporciones algo diferentes de las que se encuentran en las morrenas, como consecuencia nuevamente de la meteorización más energética que experimentaron los suelos rojos.

La mineralogía de arcillas muestra también algunas diferencias entre ambos tipos de materiales. Los suelos presentan una asociación mineralógica compuesta fundamentalmente por cuarzo, mica-moscovita, vermiculita y caolinita, con trazas de clorita, interestratificado de illita-clorita y óxidos de hierro del tipo hematites, goethita y maghemita. En los horizontes A y Cc que componen el recubrimiento del perfil S₁ y en los materiales morrénicos, la composición es semejante a la anterior pero más simple: cuarzo, clorita, mica-moscovita, con presencia de algo de hematites y goethita; en este grupo de

muestras, se advierte también una menor proporción de maghemita. Sin embargo, este óxido ferromagnético ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) permite apreciar una diferencia significativa entre los propios arcos que componen el complejo glaciar. La figura nº 4 corresponde a los barridos de 20, comprendidos entre $10\text{-}12^\circ$ y $28\text{-}38^\circ$, de los difractogramas de rayos X de la fracción arcilla de las morrenas. Las reflexiones de $0,249\text{-}0,251$ nm y $0,289\text{-}0,301$ nm junto con los hombros de $0,789\text{-}0,826$ nm son diagnósticos de la maghemita, mientras que el $0,269\text{-}0,271$ nm corresponde a la hematites. Se observa, pues, que la maghemita predomina en los arcos más externos del complejo, es decir, en los M_1 , m_1 y M_2 . Este mineral es, en parte, resultado de la oxidación de los granos de magnetita que contiene la arenisca del Cretácico Superior (Maestrichtiense) (Sánchez-Carpintero, 1972), tan frecuentes en toda la región (Vidal, 1989). Según el contenido relativo en este óxido de hierro, es posible establecer la siguiente ordenación de depósitos morrénicos: $M_1 > m_1 > M_2 > m_2 > m_3$, resultando paralela a la seguida en la construcción de los arcos.

Tabla 4. Distribución de las fracciones de hierro (libre, silicatado y cristalino) e intervalos correspondientes a las proporciones en cada muestra
Distribution of iron fraction and classes corresponding to the magnitudes of each sample

Fracción de hierro	Proporción	Muestra
Hierro libre (Fe_d/Fe_t)	44-52 % 66-95 %	M_1, m_1, M_2, m_2, m_3 ; A, Cc y 2 A_b del S_1 2 B_{tb} , 2 CB_b del S_1 y S_2 completo
Hierro silicatado ($(\text{Fe}_t - \text{Fe}_d)/\text{Fe}_t$)	48-56 % 5-34 %	M_1, m_1, M_2, m_2, m_3 ; A, Cc y 2 A_b del S_1 2 B_{tb} , 2 CB_b del S_1 y S_2 completo
Hierro cristalino ($(\text{Fe}_d - \text{Fe}_o)/\text{Fe}_t$)	29-38 % 54-86 %	M_1, m_1, M_2, m_2, m_3 ; A, Cc y 2 A_b del S_1 2 B_{tb} , 2 CB_b del S_1 y S_2 completo

Los valores de hierro libre (Fe_d), hierro total (Fe_t), y hierro amorfo (Fe_o) se recogen en la tabla 3. Para interpretar correctamente estos resultados, se han definido las relaciones representativas de la proporción de hierro libre (Fe_d/Fe_t), silicatado $(\text{Fe}_t - \text{Fe}_d)/\text{Fe}_t$, y cristalino $(\text{Fe}_d - \text{Fe}_o)/\text{Fe}_t$, como indicadores del grado de alteración de los materiales (tabla 4). Los valores obtenidos son concluyentes en cuanto a la diferente intensidad de meteorización de suelos y morrenas, si se agrupan los valores de cada índice en dos intervalos de magnitud. Se comprueba la hipótesis de que se han alcanzado dos grados de meteorización diferentes: uno, el más intenso, que corresponde al registrado en los suelos rojos de edad Mindel-Riss y el otro, menos enérgico y de corta duración, que está representado tanto en los arcos morrénicos como en el material que recubrió el primitivo suelo de Jaca

Según Hubschman (1975), los depósitos anterissiensis del Pirineo Central francés presentan proporciones de hierro libre superiores al 50%, e inferiores, si se trata de formaciones del Riss o Würm. Teniendo en cuenta este criterio y los niveles de hierro libre representados en la figura 5, no parece aventurado afirmar que la totalidad del complejo morrénico y el recubrimiento del perfil S_1 corresponden a construcciones de edad rissienne o posteriores.

4. Conclusiones

Del conjunto de resultados obtenidos se deduce, en primer lugar, que no parece existir un enlace claro entre el arco más externo (M1) de la cubeta terminal del valle de Canfranc y la terraza fluvio-glaciaria de 60 m del río Aragón. Las diferencias encontradas en el fraccionamiento de las formas de hierro, el grado de saturación de bases del complejo de cambio, así como el contenido y variedad de la fracción pesada de la arena son, entre otras, pruebas que confirman la separación en el tiempo entre ambos tipos de formaciones. Por otra parte, si se atribuye a los suelos rojos de la zona una edad Mindel-Riss, ninguno de los arcos frontales del complejo exhibe el grado de alteración necesario para poderlo asociar con una glaciación más antigua que la del Riss.

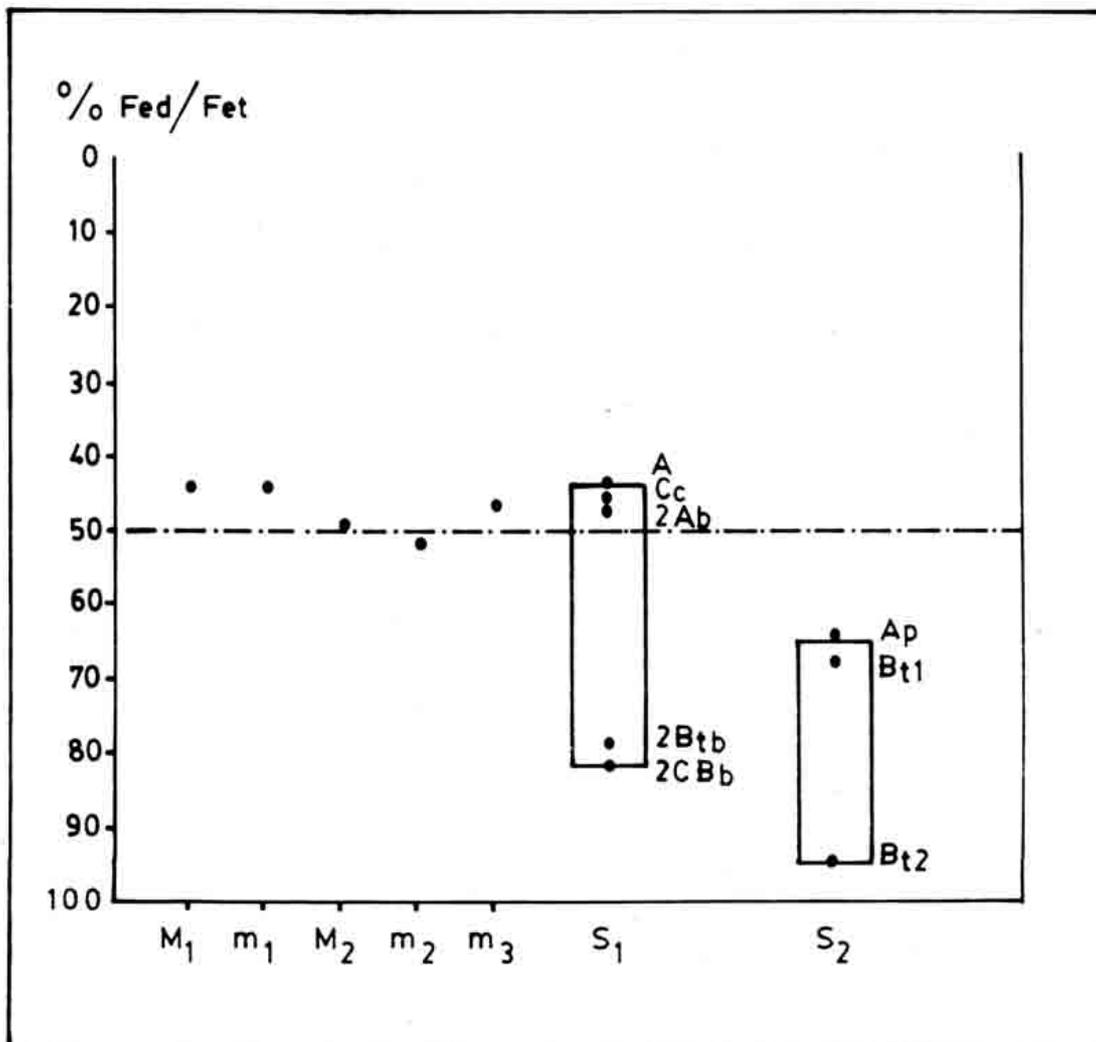


Fig. 5. Niveles de hierro libre en arcos morrénicos y suelos
Free iron levels in morainic arcs and soils

Sin embargo, aunque estos depósitos morrénicos presentan un nivel de alteración semejante, los contenidos en maghemita y los valores de la relación limo/arena gruesa marcan ciertas diferencias y permiten establecer dos grupos de formaciones afines: el compuesto por M_1 , m_1 , M_2 , y el formado por m_2 , m_3 . Las divergencias apreciadas entre ambos conjuntos abonan la hipótesis acerca de la existencia de dos períodos diferenciados durante la construcción del complejo « rrénico, sensiblemente distanciados en el tiempo, durante los que prevalecieron condiciones distintas de transporte y acarreo de materiales.

Por último, la comparación de resultados sugiere, también, que el recubrimiento que fosilizó el primitivo suelo rojo de Jaca fuera contemporáneo con la edificación del complejo de Villanúa-Castiello de Jaca.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Dra. Aleixandre Campos por su inestimable colaboración en el análisis de la mineralogía de arenas.

Referencias bibliográficas

- Barrère, P. 1963: La période glaciare dans l'Ouest des Pyrénées franco-espagnoles. *Bull. Soc. Géol. de France*, 7(5):516-526.
- Hubschman, J. 1975: *Morphogenèse et pédogenèse quaternaires dans le piémont des Pyrénées Garonnaises et Ariégeoises*. These Fac. Toulouse. Ed. Champion. Paris.
- Llopis, N. 1947: El relieve del Alto Valle del Aragón. *Pirineos*, 3:81-166.
- Martí, C.E. 1973: Nota sobre los sedimentos morrénicos del río Aragón. *Pirineos*, 107:39-43.
- Martí, C.E. 1978: Aspectos de la problemática geomorfológica del Alto Aragón Occidental. *Estudios Geográficos*, 153:473-493.
- Mehra, O.P. & JACKSON, M.L. 1960: Iron oxido removal from soils and clays by a dithionitecitrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay and Clay Miner.*, 7:317-327.
- Panzer, W. 1926: Talentwicklung und eiszeitklima in nordostlichen Spanien. *Abh. der Sencken. Natur. Geseellschaft*, 39(3). Trad. esp. en *Estudios Geográficos*, 30:79-130.
- Sánchez-Carpintero, I. 1972: *Estudio Geológico de las sierras de Leyre y Navascués. Contribución al conocimiento estratigráfico*. Tesis Doct. Fac. de Ciencias. Univ. de Navarra, 331 p.
- Schwertmann, U. 1964: Differenzierng der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Losung. *Zeitschpflanzernern. Bodenkde*, 105:194-202.
- Solé Sabarís, L. 1941: La Canal de Berdún. *Estudios Geográficos*, 7:113-160.
- Vidal, M. 1988: *Los suelos rojos de la Cuenca Alta del Ebro: génesis, mineralogía y clasificación*. Tesis Doct. U.P.M., 667 p.
- Vidal, M. 1989: Aspectos geoquímicos y mineralógicos de la alteración de algunos materiales fluvio-glaciares de los ríos Gallego y Aragón. *Boletín Geológico y Minero*, 100:112-117.