

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MORFOLÓGICAS DE LA CRONOSECUENCIA DE SUELOS DEL CURSO ALTO DEL RÍO ARAGÓN EN RELACIÓN CON LOS SEDIMENTOS MORRÉNICOS DE VILLANÚA (HUESCA)

Manuel VIDAL BARDÁN¹
I. SÁNCHEZ-CARPINTERO²
A. PINILLA³
C. ROQUERO⁴
A. LÓPEZ¹

RESUMEN.—Se han estudiado tres perfiles de suelo rojo y uno de color pardo desarrollados sobre los tres niveles de terraza fluvio-glaciar del enterrío formado por el río Aragón y el Aragón Subordán (Huesca). Lo más característico a lo largo de los cauces de estos ríos es un sistema compuesto por tres niveles de terraza (60, 20 y 2-3 m), con suelos rojos el nivel superior y pardos los dos restantes. Sin embargo, en esta situación concreta, los dos subniveles existentes en la de 20 m son también de color rojo.

¹ Escuela Politécnica Superior. E-27002 LUGO.

² Universidad de Navarra. E-31080 PAMPLONA.

³ Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC. E-28006 MADRID.

⁴ ETSI Agrónomos. E-28080 MADRID.

Con este estudio se trata de dar respuesta a este hecho y buscar una explicación en relación con un posible desdoblamiento episódico del interglaciar al que se atribuye la rubefacción de los suelos del nivel superior de terraza. Para ello se realizaron las determinaciones analíticas generales, además de una caracterización granulométrica por medio de tres métodos de dispersión. Para tal fin, se definen unas relaciones texturales tales como la relación arcilla/limo y el porcentaje de arcilla naturalmente dispersa (AcND). Se procedió a un examen pormenorizado de las fracciones ligera y pesada de la arena mediante microscopio petrográfico y SEM. Además de poner de manifiesto unos pseudomorfismos singulares de pirita y otras formas de hierro, la interpretación de los resultados apunta a que el origen de los suelos rojos que coronan los dos subniveles de la segunda terraza tiene un carácter transportado de un área próxima.

ABSTRACT.—Three profiles of red soil and one of brown colour have been studied and all of them have been developed on four different levels of terraces system localized in the inter-fluvial area between the rivers Aragón and Aragón Subordán (Huesca, Spain). The most characteristic along these rivers-course is a compound system made-up by three levels of terraces (60, 20 and 2-3 m), with red soils in the high level and brown colour the other two. Notwithstanding, in this only situation the two existent sublevels in the 20 m terrace are also red colour. This study pretends to explain this fact, and find out any answer in relation to a possible separation into two parts of interglacier to which is attributed the rubefaction of the soils in the high level terrace. General analytical determinations have been carried out for this purpose, beside a granulometric characterization by means of three dispersion methods. For such purpose textural relation and the natural dispersed clay (AcND) relation. An detailed examination of the light and heavy fractions of the sand have been done by petrographic microscope and SEM. Beside finding out some pyrites extrange pseudomorphisms show the transported character from a proximal area for the red soils developed on the two sub-level which belong to the second terrace.

KEY WORDS.—Red soil, dispersion methods, dispersed natural clay, pseudomorphisme and iron forms, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

En el curso alto del río Aragón, comprendido entre las localidades de Villanúa y Puente la Reina de Jaca (Huesca), se localizan el complejo

morrénico de la cabecera y el sistema de terrazas fluvio-glaciares de este río. Concretamente, el enterríos que forman en Ponte la Reina de Jaca (Huesca) el Aragón y su afluente por la margen derecha, el Aragón Subordán, compone un excelente marco donde abordar el estudio de los suelos rojos mediterráneos (Fig. 1).

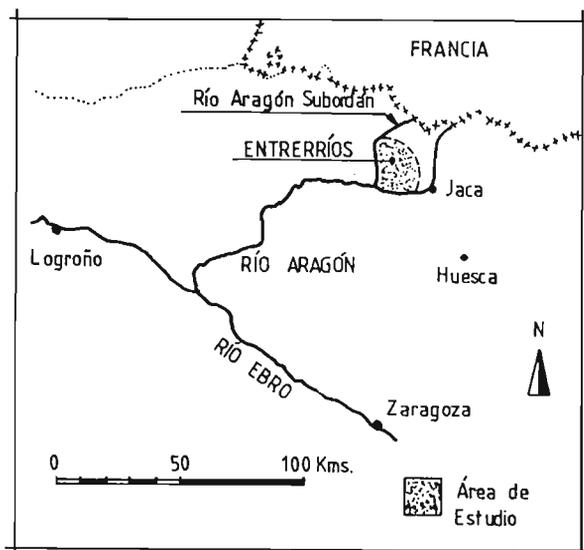


Fig. 1. Mapa de situación de la zona de estudio.

El sistema escalonado de terrazas del río Aragón está compuesto por los niveles de 60 (T_3), 20 (T_2) y 2-3 m (T_1) (Fig. 2), que tienen buena continuidad aguas abajo de la localidad de Jaca. La nota característica de estos niveles de erosión es la presencia de un suelo rojo desarrollado únicamente sobre la terraza de 60 m (VIDAL, 1991) y la existencia de suelos pardos sobre los niveles de 20 y 2-3 m. Sin embargo, la singularidad que puede destacarse en esta área interfluvial y que se presenta sólo en esta situación concreta consiste tanto en el desdoblamiento que experimenta el nivel de terraza de 20 m en dos subniveles diferenciados ($T_{2.2}$ y $T_{2.1}$) por la presencia de un escalón de 1,5 m, como por estar coronadas también ambas superficies por suelos rojos. Este hecho ha sido puesto de manifiesto anteriormente (VIDAL, 1990 y 1995), pero su estudio y su posible rela-

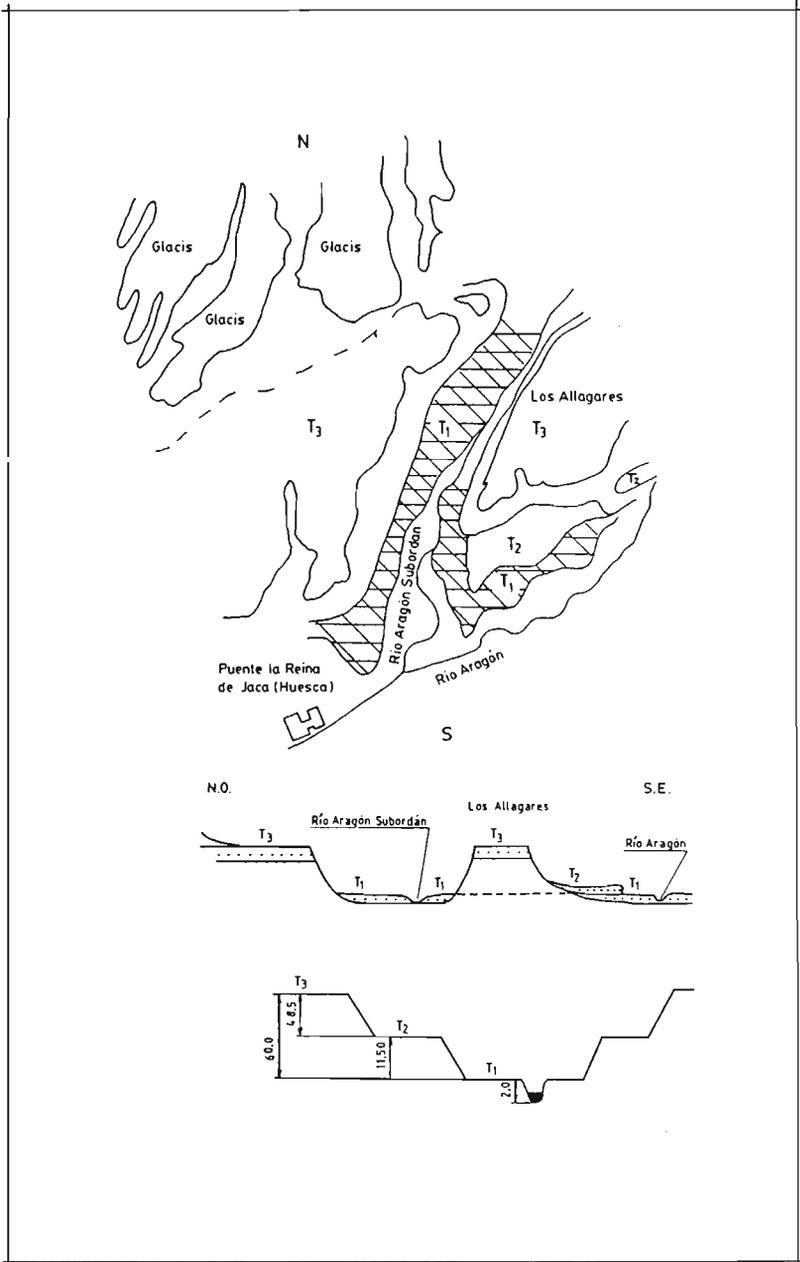


Fig. 2. Sistema escalonado de terrazas y glacis en el enterríos de Puente la Reina de Jaca (Huesca).

ción con un desdoblamiento episódico del interglaciar Mindel-Riss (MARTÍ, 1978), al que se atribuye normalmente la rubefacción de los suelos del nivel T₃ (ALIMEN, 1964), no han sido todavía estudiados en profundidad. El otro elemento que debe ser considerado y relacionado con el sistema de terrazas lo constituye el conjunto de los cinco arcos morrénicos situados entre Castiello de Jaca y Villanúa (Huesca) y denominados, según la terminología empleada por Llopis, M₁, m₁, M₂, m₂ y m₃ (LLOPIS, 1947 y VIDAL, 1990).

El sustrato sobre el que se ha excavado el sistema de terrazas es la marga eocena característica de esta parte de la cuenca del río Ebro; el depósito o manto aluvial de las terrazas está compuesto por cantos de una variada gama litológica, dominando las rocas sedimentarias del tipo de las areniscas del Oligoceno, *flysh* y calizas del Devónico y resultando más esporádicas las efusivas básicas del tipo de la andesita, traquita y diorita, junto con grauvacas y pizarras del Pérmico, pizarras del Devónico o areniscas del Permotriás, procedentes todos estos materiales de la cabecera de la cuenca del río Aragón y del Pirineo axial (BARRÈRE, 1963 y SOLÉ, 1941).

MATERIAL Y MÉTODOS

Para este estudio se seleccionó un total de cuatro perfiles del enterrríos mencionado, uno por cada nivel o subnivel de terraza. Tres de ellos eran de color rojo (color comprendido entre 5YR y 7,5YR), uno en el nivel de 60 m (perfil T₃) y los dos restantes correspondientes a los dos subniveles de la terraza de 20 m (perfiles T_{2.2} y T_{2.1}), y el cuarto perfil de suelo es de color pardo y está situado sobre la terraza inferior (perfil T₁). Por otra parte, se tomaron muestras representativas del material componente de los cinco arcos morrénicos a una profundidad de 40 cm.

La *caracterización granulométrica* se realizó mediante tres modalidades de dispersión: la primera se llevó a cabo únicamente con agua destilada (H₂O), otra con hexametáfosfato sódico (hex.) y la tercera forma consistió en emplear también hexametáfosfato con previa eliminación de los óxidos de hierro con ditionito y citrato (dit) (MEHRA y JACKSON, 1960;

ESPEJO, 1978). La fracción de arcilla naturalmente dispersa (AcND) se estimó mediante la proporción arcilla-H₂O/arcilla-hex (ac-H₂O/ac-hex).

Se determinaron los contenidos de materia orgánica y carbono (WALKEY, 1934), el nitrógeno total (método de Kjeldhal), los carbonatos totales (calcímetro de Bernard), la capacidad de intercambio catiónico (acetato amónico) y los cationes de cambio (fotometría y complexometría).

La *caracterización mineralógica* de las fracciones pesada y ligera de la arena (límite de densidad = 2,9) se realizó tanto en las subfracciones de arena media (0,5-0,2 mm) como en la fina y muy fina (0,2-0,05 mm), empleando bromoformo para la separación. Este análisis se realizó con un microscopio petrográfico al que se adaptó un contraste de fase y para el estudio particular de la fracción pesada se utilizó un SEM equipado con microanalizador.

Por último, se obtuvieron los valores correspondientes de hierro total (Fet) mediante ataque con ácido sulfúrico y fluorhídrico sobre muestra entera de suelo (< 2 mm) y calcinada a 450°C (PRAT, 1965); el contenido de hierro libre (Fed), extraído con ditionito-citrato (MEHRA y JACKSON, 1960), y el hierro amorfo (Feo), mediante oxalato amónico (SCHWERTMANN, 1964). Los contenidos de hierro de los extractos se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica.

La altura relativa de los perfiles se estimó mediante diferencias de paralaje sobre fotografía aérea (E 1/30.000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los regímenes de temperatura y de humedad de los suelos estudiados son de tipo méxico y xérico respectivamente (USDA, 1994). Las tablas I y II recogen los resultados generales del análisis de los perfiles, así como la gama de colores rojos de estos suelos, que queda comprendida entre 5YR y 7,5YR.

En cuanto a los rasgos externos y diferenciadores de los perfiles de estos suelos, todo parece indicar que el *grado de meteorización* alcanzado

| nivel | horizonte | prof. (cm) | color | pH - H ₂ O | pH - ClK | C.I.C meq/100g | Na meq/100g | K meq/100g | Mg meq/100g | Ca meq/100g |
|-------|-----------|---------------|----------|-----------------------|----------|-------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| T1 | A11 | 0-32 | 10YR7/2 | 7,85 | 7,15 | 7,19 | 0,04 | 0,14 | 0,56 | 7,48 |
| T1 | A12 | 32-82 | 10YR7/2 | 8,05 | 7,15 | 5,23 | 0,03 | 0,04 | 0,62 | 6,56 |
| T1 | C1 | 82-120 | 10YR6/2 | 8,15 | 6,95 | 3,49 | 0,02 | 0,01 | 0,57 | 6,71 |
| T2.1 | A | 0-32 | 5YR6/6 | 6,25 | 6,25 | 13,30 | 0,04 | 0,32 | 0,72 | 9,89 |
| T2.1 | Bt | 32-60 | 5YR5/6 | 6,45 | 6,45 | 14,17 | 0,06 | 0,25 | 0,73 | 14,08 |
| T2.1 | CB | 60-90 | 7,5YR6/4 | 6,90 | 6,90 | 6,32 | 0,03 | 0,06 | 0,48 | 8,50 |
| T2.1 | Ck | 90-250 | 10YR6/3 | 6,95 | 6,95 | 4,14 | 0,03 | 0,02 | 0,45 | 7,91 |
| T2.2 | Ap | 0-40 | 7,5YR5/8 | 6,10 | 6,10 | 15,59 | 0,03 | 0,57 | 0,68 | 9,61 |
| T2.2 | Bt1 | 40-70 | 7,5YR5/6 | 6,70 | 6,70 | 16,79 | 0,06 | 0,38 | 0,78 | 15,21 |
| T2.2 | Bt2 | 70-120 | 7,5YR5/6 | 6,85 | 6,85 | 11,88 | 0,05 | 0,21 | 0,62 | 15,71 |
| T2.2 | CBk | 120-160 | 10YR7/3 | 6,90 | 6,90 | 4,47 | 0,02 | 0,04 | 0,45 | 7,99 |
| T2.2 | RII | 160-300 | 2,5Y7/4 | 6,60 | 6,60 | 13,52 | 0,04 | 0,15 | 0,66 | 15,36 |
| T3 | Ap | 0-27 | 7,5YR5/8 | 6,30 | 4,65 | 9,27 | 0,03 | 0,07 | 0,67 | 3,25 |
| T3 | Bt1 | 27-65 | 5YR5/8 | 6,00 | 4,10 | 12,32 | 0,05 | 0,10 | 0,92 | 5,31 |
| T3 | Bt2 | 65-100 | 5YR5/8 | 6,00 | 4,00 | 13,41 | 0,07 | 0,11 | 1,17 | 7,85 |
| T3 | CB1 | 100-141 | 5YR5/8 | 6,35 | 4,45 | 18,97 | 0,09 | 0,21 | 0,96 | 13,31 |
| T3 | CB2 | 141-210 | 5YR5/8 | 7,50 | 6,00 | 21,36 | 0,07 | 0,25 | 0,81 | 19,90 |
| T3 | C | 210-300 | 7,5YR7,2 | 7,95 | 6,55 | 5,23 | 0,03 | 0,01 | 0,44 | 8,81 |

Tabla I. Resultados generales.

| nivel | horizonte | CO ₃ Ca % | mat. org. % | C % | N% | arena-hex. % | limo-hex. % | arcilla-hex. % |
|-------|-----------|----------------------|-------------|------|------|--------------|-------------|----------------|
| T1 | A11 | 39,36 | 1,38 | 0,80 | 0,09 | 27,64 | 18,17 | 13,00 |
| T1 | A12 | 38,42 | 0,59 | 0,34 | 0,07 | 30,13 | 19,02 | 12,33 |
| T1 | C1 | 50,24 | 0,15 | 0,09 | 0,06 | 24,87 | 11,32 | 10,10 |
| T2.1 | A | 0,52 | 1,31 | 0,76 | 0,11 | 31,47 | 33,77 | 28,00 |
| T2.1 | CB | 42,49 | 0,30 | 0,17 | 0,06 | 31,58 | 10,60 | 15,20 |
| T2.1 | Ck | 46,27 | 0,44 | 0,25 | 0,04 | 33,84 | 10,23 | 11,40 |
| T2.2 | Ap | 0,00 | 1,68 | 0,97 | 0,16 | 26,61 | 37,63 | 32,42 |
| T2.2 | Bt1 | 10,37 | 0,86 | 0,50 | 0,10 | 27,59 | 19,87 | 37,10 |
| T2.2 | Bt2 | 28,39 | 0,68 | 0,39 | 0,09 | 27,21 | 11,92 | 31,50 |
| T2.2 | CBk | 47,31 | 0,13 | 0,07 | 0,05 | 29,48 | 10,93 | 16,87 |
| T2.2 | RII | 31,23 | 0,21 | 0,12 | 0,09 | 0,63 | 28,60 | 38,00 |
| T3 | Ap | 0,00 | 1,22 | 0,71 | 0,09 | 30,12 | 44,67 | 19,85 |
| T3 | Bt1 | 0,06 | 0,33 | 0,19 | 0,10 | 34,68 | 30,36 | 31,00 |
| T3 | Bt2 | 0,02 | 0,26 | 0,15 | 0,05 | 35,79 | 28,13 | 33,57 |
| T3 | CB1 | 0,05 | 0,35 | 0,20 | 0,06 | 27,08 | 24,80 | 44,58 |
| T3 | CB2 | 3,83 | 0,41 | 0,24 | 0,09 | 23,56 | 21,13 | 46,25 |
| T3 | C | 52,89 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 15,93 | 15,08 | 15,42 |

Tabla II. Resultados generales (continuación).

en ellos, aunque intenso en el nivel T_3 , no llegó a ser nunca extremado en ninguno de los tres niveles de terraza, como lo revela el estado de alteración en que se encuentran los cantos de grava integrados en la matriz del suelo; no se aprecian situaciones extremas de arenización y desintegración completa de los elementos gruesos, como es posible encontrar en otros niveles más antiguos (HUBSCHMAN, 1975). No obstante, la simple observación permite apreciar una alteración creciente de los cantos con la antigüedad del nivel de excavación de la terraza.

Además, en contraste con lo anterior, se han encontrado al estudiar la mineralogía de las arenas formas no rodadas de pirita o bien pseudomorfismos de ella constituidos por óxidos de hierro. Estos pseudomorfismos son piritoedros, hexaedros simples o maclados y formas framboidales. Además aparecen fósiles no rodados de gasterópodos de tamaño comprendido entre 0,2-0,05 mm. Esto parece indicar que, si bien las cuarcitas y areniscas han resistido bastante, las pizarras, en las que interpretamos existían originalmente estas componentes piríticas, han experimentado una meteorización total, liberando *in situ* estas configuraciones.

En el mismo sentido apuntan los valores de CIC obtenidos, de los que puede deducirse una tipología de la fracción arcilla en la que predomina, como componente mayoritaria, el tipo ílítico o micáceo y el caolinítico, con una tendencia a la aparición de componentes esmectíticos únicamente en el perfil T_3 .

En la tabla III se presentan los contenidos de arcilla obtenidos por los tres métodos de dispersión (ac- H_2O , ac-hex y ac-dit), así como los resultados de algunas relaciones texturales de interés como son la arcilla/limo (ac-hex/l), que nos informa acerca de la vejez de esta fracción (ROQUERO, 1994), y la arcilla naturalmente dispersa o capacidad de iluviación de esta fracción textural (AcND). De estos resultados se desprende que el proceso de iluviación de arcilla parece haber sido intenso en el suelo rojo de la terraza más antigua (perfil T_3), pasando de 29,7% de arcilla desferrificada en el horizonte B_{t1} a 50,5% en el CB_2 , tendencia que se observa igualmente con los valores correspondientes a los dos métodos restantes de dispersión. De igual modo, el grado de iluviación es creciente con la profundidad alcanzada en este perfil; resulta máxima (AcDN = 64,2%) en el

| nivel | horizonte | ac-H ₂ O % | ac-hex. % | ac-dit. % | ac-hex./l | AcND % |
|-------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| T1 | A11 | 7,40 | 13,00 | 15,40 | 0,71 | 56,90 |
| T1 | A12 | 5,60 | 12,30 | 15,00 | 0,65 | 45,50 |
| T1 | C1 | 5,30 | 10,10 | 11,20 | 0,89 | 52,40 |
| T2.1 | A | 16,80 | 28,00 | 27,90 | 0,83 | 60,00 |
| T2.1 | Bt | 17,00 | 31,60 | 32,10 | 1,37 | 53,70 |
| T2.1 | CB | 9,00 | 15,20 | 20,50 | 1,43 | 59,20 |
| T2.1 | Ck | 6,70 | 11,40 | 14,30 | 1,11 | 58,70 |
| T2.2 | Ap | 26,70 | 32,40 | 32,80 | 0,86 | 82,40 |
| T2.2 | Bt1 | 27,50 | 37,10 | 38,70 | 1,86 | 74,10 |
| T2.2 | Bt2 | 22,50 | 31,50 | 30,60 | 2,64 | 71,40 |
| T2.2 | CBk | 8,10 | 16,80 | 16,00 | 1,54 | 48,20 |
| T2.2 | R11 | 28,10 | 38,00 | 38,90 | 1,32 | 73,90 |
| T3 | Ap | 11,80 | 19,80 | 19,50 | 0,44 | 59,50 |
| T3 | Bt1 | 14,10 | 31,00 | 29,70 | 1,02 | 45,40 |
| T3 | Bt2 | 16,80 | 33,50 | 34,80 | 1,19 | 50,10 |
| T3 | CB1 | 24,30 | 44,50 | 48,50 | 1,79 | 54,60 |
| T3 | CB2 | 29,70 | 46,20 | 50,50 | 2,19 | 64,20 |
| T3 | C | 10,00 | 15,40 | 15,70 | 1,02 | 64,90 |

Tabla III. Contenidos de arcilla obtenidos mediante diferentes métodos de extracción.

CB₂, donde se registra el mayor grado de evolución (ac/l = 2,19). Por el contrario, en el perfil T₁ no existe iluviación y la evolución de la mineralogía de la arcilla resulta más moderada. Los perfiles T_{2.2} y T_{2.1} se encuentran en una situación intermedia entre las dos anteriores.

El proceso de *humificación* se manifiesta irrelevante en el conjunto de los suelos estudiados, como lo prueban los niveles de materia orgánica existentes, que oscilan entre el 0,1 y el 1,68%, aunque los valores de la relación C/N prueban que se trata de una componente orgánica evolucionada.

Los resultados del *análisis mineralógico* de las fracciones pesada y ligera de las subfracciones de 0,5-0,2 (FM) y 0,2-0,05 (FFF) mm se recogen en las tablas IV y V. Los porcentajes de minerales pesados opacos se calcularon cuando se habían contabilizado cien cristales transparentes; es

decir, los opacos naturales y los de alteración junto con los fragmentos de roca son los correspondientes a cien minerales transparentes contados. En estas dos tablas se presentan tanto los intervalos de magnitud de los valores encontrados como los correspondientes valores medios (m).

Los resultados de la *fracción ligera* (tabla IV) están en consonancia con el grado de evolución no extremo deducido por los resultados anteriores, como lo prueba el progresivo aumento del valor medio del cuarzo con la antigüedad de la superficie de erosión y, por tanto, del suelo desarrollado sobre ella (valores máximos en los perfiles T₃, T_{2.1} y T_{2.2}). De igual modo se explica que la relación entre los fragmentos de roca encontrados y el cuarzo (Fr/Q), así como el propio contenido de fragmentos de roca (Fr.R.) y la relación entre el porcentaje de feldespatos y el de cuarzo (FI/Q), resulten mayores en el perfil menos evolucionado de los cuatro (perfil T₁). El predominio generalizado de cuarzo sobre los feldespatos

| nivel | fracción | Q | FI | Fr. R. | Fr. R./Q | FI/Q |
|-------|----------|-------|-------|--------|----------|------|
| T1 | FM | 29-46 | 2-8 | 43-67 | | |
| T1 | m | 38 | 6 | 53 | 1,39 | 0,16 |
| T1 | FFF | 36-45 | 3-17 | 42-55 | | |
| T1 | m | 41 | 9 | 47 | 1,15 | 0,22 |
| T2.1 | FM | 43-60 | 2-6 | 33-54 | | |
| T2.1 | m | 55 | 4 | 39 | 0,71 | 0,07 |
| T2.1 | FFF | 52-75 | 11-12 | 10-35 | | |
| T2.1 | m | 66 | 11 | 20 | 0,3 | 0,17 |
| T2.2 | FM | 34-70 | 0-5 | 23-64 | | |
| T2.2 | m | 52 | 2 | 43 | 0,83 | 0,04 |
| T2.2 | FFF | 73-80 | 8-10 | 0 | | |
| T2.2 | m | 77 | 12 | 5 | 0,06 | 0,16 |
| T3 | FM | 32-77 | 1-7 | 18-66 | | |
| T3 | m | 61 | 3 | 23 | 0,38 | 0,05 |
| T3 | FFF | 51-89 | 8-18 | 2-27 | | |
| T3 | m | 63 | 12 | 22 | 0,35 | 0,19 |

Tabla IV. Mineralogía de la fracción ligera.

| nivel | fracc. | óx. Fe | opc. nat. | leucos. | alter. |
|-------|--------|---------|-----------|---------|--------|
| T1 | MF | 51-118 | 5-14 | 0-1 | 0 |
| T1 | m | 53 | 8 | 0,3 | 0 |
| T1 | VFF | 166-308 | 5-59 | 28-40 | 0 |
| T1 | m | 222 | 35 | 32 | 0 |
| T2.1 | MF | 86-130 | 11-39 | 0-1 | 0 |
| T2.1 | m | 105 | 20 | 0,25 | 0,7 |
| T2.1 | VFF | 330-406 | 40-126 | 31-137 | 1-2 |
| T2.1 | m | 376 | 82 | 87 | 0,8 |
| T2.2 | MF | 70-194 | 14-33 | 0-3 | 1-3 |
| T2.2 | m | 112 | 25 | 1,8 | 2 |
| T2.2 | VFF | 267-667 | 51-110 | 112-235 | 0-4 |
| T2.2 | m | 401 | 84 | 156 | 1 |
| T3 | MF | 24-83 | 6-16 | 1-9 | 0-10 |
| T3 | m | 44 | 11 | 3,5 | 2,8 |
| T3 | VFF | 141-415 | 21-130 | 92-150 | 0-4 |
| T3 | m | 255 | 85 | 116 | 1,7 |

Tabla V. Mineralogía de la fracción pesada.

revela claramente la influencia de la composición litológica del depósito o manto aluvial de estas terrazas, fundamentalmente de naturaleza detrítica.

En cuanto a los resultados del análisis de la *fracción pesada*, presentados en la tabla V, se aprecia una cierta relación entre los valores correspondientes a la subfracción de 0,2-0,05 mm (FFF) de los perfiles T₃, T_{2.1} y T_{2.2}, diferentes de los valores del perfil T₁; las diferencias entre los valores de la subfracción 0,5-0,2 mm (FM) son menos significativas. Los intervalos de magnitud encontrados en estos tres perfiles, así como los valores medios de los mismos, correspondientes a la fracción opaca (óxidos de hierro, fragmentos de roca rubificada y opacos naturales), tienen un orden de magnitud muy semejante entre sí y diferente, a su vez, del registrado en el perfil T₁. Lo mismo puede afirmarse en relación con el contenido de alteritas y leucoxenos. En cuanto a la componente de *crista-*

les transparentes, destaca el contenido del cortejo compuesto por turmalina, circón y rutilo en la subfracción FFF de todos los perfiles. La presencia de granate y epidota en los dos subniveles $T_{2.1}$ y $T_{2.2}$, inexistentes en los perfiles T_1 y T_3 , debe interpretarse como una componente anómala en estos dos sedimentos y probablemente de carácter alóctono. También en relación con la fracción pesada, cabe destacar la existencia, predominantemente en los dos subniveles $T_{2.2}$ y $T_{2.1}$, de opacos naturales y de alteración (óxidos de hierro) bajo cuatro formas singulares: microfósiles, formas framboidales, piritoedros y cubos, que corroboran el carácter alóctono del material original de los suelos rojos de estos dos subniveles de la terraza T_2 y, por tanto, la liberación posterior de estas componentes, ratificando el carácter transportado de material.

Para interpretar correctamente los resultados de hierro total, extraído con ditionito-citrato y amorfo, se definieron las relaciones representativas de algunas formas de hierro tales como el hierro libre (Fed/Fet), el hierro cristalino (Fed-Feo)/Fet y la proporción de hierro silicatado (Fet-Fed)/Fet, que han resultado ser válidas como indicadores del grado de alteración experimentado por los materiales y en la diferenciación cronológica relativa de sedimentos cuaternarios y edáficos (ARDUINO y col., 1984, 1986 y 1988; VIDAL, 1994; SÁNCHEZ-CARPINTERO, 1992). Por otra parte, al objeto de establecer relación con los sedimentos morrénicos de Villanúa y el suelo rojo de la terraza de la ciudad de Jaca (Huesca), se han importado aquí los valores correspondientes a estas formas de erosión y presentados en anteriores trabajos (SÁNCHEZ-CARPINTERO, 1992 y VIDAL, 1990).

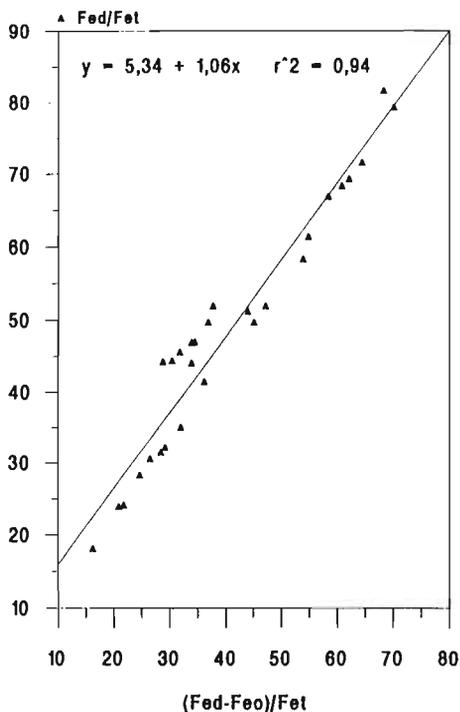
La tabla VI recoge los valores de Fet, Fed y Feo correspondientes a los cuatro perfiles objeto de estudio en este trabajo, así como los valores de las relaciones representativas de tres formas de hierro: libre, cristalino y amorfo frente al libre. En el análisis de estos resultados se desprende, en primer lugar, que la antigüedad del sedimento —proporción de hierro cristalino o (Fed-Feo)/Fet— está directamente relacionada con el contenido de hierro libre o Fed/Fet y con la proporción de Feo/Fed. Por otra parte, la regresión lineal establecida entre los valores de (Fed-Feo)/Fet y Fed/Fet de los cuatro suelos permite visualizar un agrupamiento de puntos muy significativo y en consonancia con las deducciones apuntadas basadas en los datos anteriores. Es decir, los puntos representativos de los horizontes

| nivel | horizonte | Feo/Fed % | Fed/Fet % | (Fet-Fed)/Fet % | Fed-Feo)/Fet % |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------------|----------------|
| T1 | A11 | 13,4 | 30,6 | 69,4 | 26,5 |
| T1 | A12 | 12,8 | 28,3 | 71,7 | 24,7 |
| T1 | C | 12,5 | 23,9 | 76,0 | 20,9 |
| T21 | A | 11,1 | 68,4 | 31,5 | 60,8 |
| T21 | Bt | 7,6 | 58,4 | 41,6 | 53,9 |
| T21 | CB | 9,2 | 32,2 | 67,7 | 29,2 |
| T21 | Ck | 10,5 | 18,1 | 81,9 | 16,2 |
| T22 | Ap | 9,0 | 49,7 | 50,3 | 45,1 |
| T22 | Bt1 | 8,6 | 51,9 | 48,1 | 47,2 |
| T22 | Bt2 | 9,8 | 31,5 | 68,5 | 28,4 |
| T22 | CBk | 9,3 | 24,1 | 75,8 | 21,8 |
| T22 | RII | 8,4 | 35,0 | 65,0 | 32,0 |
| T3 | Ap | 13,9 | 51,2 | 48,7 | 44,0 |
| T3 | Bt1 | 12,7 | 66,9 | 33,1 | 58,4 |
| T3 | Bt2 | 10,1 | 71,6 | 28,4 | 64,4 |
| T3 | CB1 | 10,5 | 69,3 | 30,7 | 62,1 |
| T3 | CB2 | 10,6 | 61,4 | 38,6 | 54,9 |
| T3 | C | 12,6 | 41,5 | 58,5 | 36,2 |

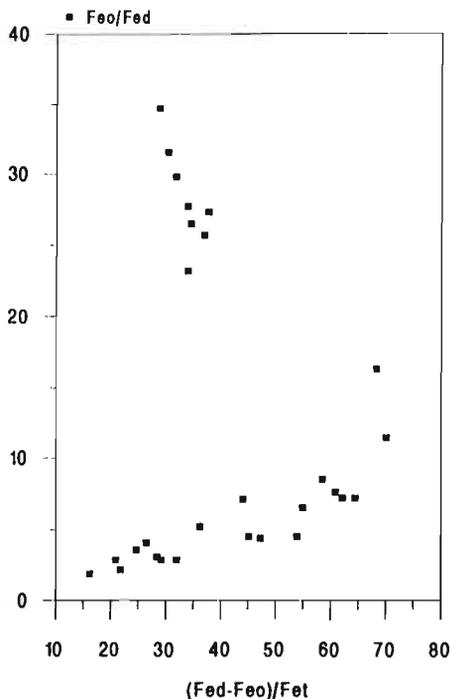
Tabla VI. Relaciones representativas de las diferentes formas de hierro.

del perfil T₃ y los correspondientes al suelo rojo original de la terraza de Jaca (2Btb y 2CBb) se encuentran agrupados y claramente diferenciados de los puntos representativos del perfil T₁. En contra de lo anterior, los horizontes de los perfiles T_{2,2} y T_{2,1} se hallan en una situación intermedia entre las dos anteriores y dispersos todos ellos a lo largo de la recta de regresión.

En la gráfica 1 se muestra la regresión lineal entre los valores de hierro cristalino y libre de los suelos estudiados, perfil de Jaca y sedimentos morrénicos. Los horizontes (A, Cc y 2Ab) que fosilizaron el primitivo suelo rojo de Jaca (VIDAL, 1991) y los cinco arcos morrénicos quedan agrupados estrechamente y se sitúan en posición intermedia entre los dos

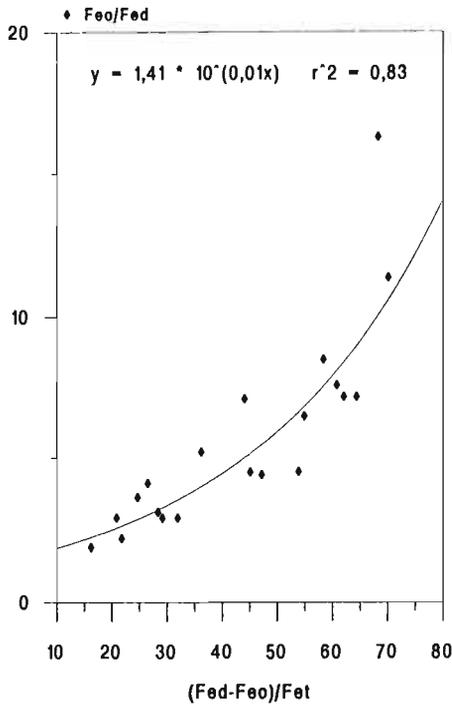


Gráfica 1. Correlación entre valores de $(\text{Fed}-\text{Feo})/\text{Fet}$ y Fed/Fet .

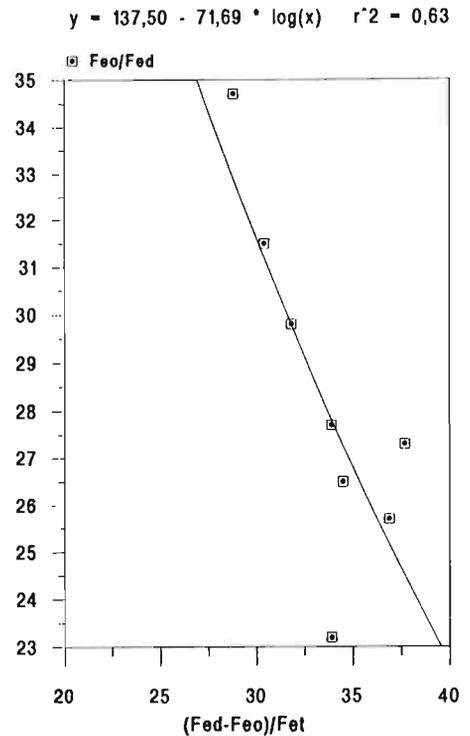


Gráfica 2. Relación entre valores de $(\text{Fed}-\text{Feo})/\text{Fet}$ y Feo/Fed .

extremos definidos por el perfil T_3 y el T_1 . Por otra parte, la relación entre los valores de Feo/Fed y hierro cristalino de todas las muestras consideradas (gráfica 2) permite segregar los puntos definidos por los sedimentos morrénicos y el recubrimiento del suelo de Jaca del conjunto de los suelos estudiados en el enterríos de Puente la Reina de Jaca. Por último, las gráficas 3 y 4 corresponden a las regresiones establecidas entre las mismas relaciones de hierro, bien considerando el conjunto total de muestras excepto las morrenas y el recubrimiento del perfil de Jaca (gráfica 3), bien teniendo en cuenta estas ocho muestras de forma independiente (gráfica 4).



Gráfica 3. Correlación entre valores de $(\text{Fed}-\text{Feo})/\text{Fet}$ y Feo/Fed .



Gráfica 4. Correlación entre $(\text{Fed}-\text{Feo})/\text{Fet}$ y Feo/Fed para las muestras de los sedimentos morrénicos y el recubrimiento del suelo de Jaca.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en relación con la tipología de la fracción arcilla, los valores de la relación ac/l y la proporción de arcilla naturalmente dispersa (AcND), junto con las observaciones relativas al grado de evolución de los cuatro perfiles de estudio, sugieren una estrecha relación entre los perfiles de suelo rojo T_3 , $T_{2,2}$ y $T_{2,1}$. El análisis mineralógico corrobora lo anterior y acentúa el carácter transportado de los suelos rojos del nivel de la terraza de 20 m. De igual modo, las relaciones representativas de hierro libre, cristalino y Feo/Fed prueban la naturaleza alóctona del material de los dos suelos rojos de la terraza T_2 . Los valores de estas relaciones de hierro permiten establecer una diferencia significativa entre el

conjunto formado por los arcos morrénicos y el recubrimiento alóctono, que fosilizó el perfil de Jaca, y el conjunto formado por los cuatro perfiles estudiados del enterríos de Puente la Reina de Jaca. Finalmente, la proporción de hierro libre y cristalino permite diferenciar cronológicamente los cuatro suelos estudiados.

BIBLIOGRAFÍA

- AJMONE, F., 1988. A soil chronosequence in northwestern Italy: morphological, physical and chemical characteristics. *Geoderma*, 42: 51-64.
- ALIMEN, H., 1964. *Le Quaternaire des Pyrénées de la Bigorre*. Éd. Press. Paris.
- ARDUINO, E., 1984. Estimating relative ages from iron-oxide/total-iron ratios of soils in the western Po valley, Italy. *Geoderma*, 33: 39-52.
- ARDUINO, E., 1986. Iron oxides and clay minerals within profiles as indicators of soil age in northern Italy. *Geoderma*, 37: 45-55.
- BARRÈRE, P., 1963. La période glaciare dans l'ouest des Pyrénées franco-espagnoles. *Bull. Soc. Géol. de France*, 7 (5): 516-526.
- ESPEJO, R., 1978. *Estudio del perfil edáfico y caracterización de las formaciones tipo raña en el sector Cañamero-Horcado de los Montes*. Tesis Doct. Univ. Politécnica. Madrid. 469 pp.
- HUBSCHMAN, J., 1975. *Morphogenèse et pédogenèse quaternaires dans le piémont des Pyrénées Garonnaises et Ariégeoises*. Thèse Fac. Toulouse. Éd. Champion. Paris.
- LLOPIS, N., 1947. El relieve del Alto Valle del Aragón. *Pirineos*, 3: 81-166.
- MARTÍ, C. E., 1978. Aspectos de la problemática geomorfológica del Alto Aragón Occidental. *Estudios Geográficos*, 153: 473-493.
- MEHRA, O. P. and JACKSON, M. L., 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clay and Clay Miner.*, 7: 317-327.
- PRATT, P. F., 1965. Digestion with hydrofluoric and perchloric acids for total potassium and sodium. In: C. A. BLACK *et al.* (editors). *Methods of soils Analysis*, I. Agronomy series Nr. 9. *Am. Soc. Agrom.*, Madison, Wisc., 1019-1021.
- ROQUERO, E., 1994. *Relación suelos-geomorfología en el sector centro-meridional de la cuenca del Tajo*. Tesis Doc. Univ. Complutense. Madrid.
- SÁNCHEZ-CARPINTERO, I., 1992. Contribución al conocimiento de los depósitos detríticos pleistocenos de los Montes Vascos-Pirineos Occidentales y su relación con las formaciones edáficas surpirenaicas. *Cuadernos de Sección. Historia* 20: 203-211.

- SCHWRETMANN, U., 1964. Differenzierung der Eisenoxoide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd.*, 105: 194-202.
- SOLÉ, L., 1941. La Canal de Berdún. *Estudios Geográficos*, 7: 113-160.
- USDA, 1994. *Key to soil Taxonomy*.
- VIDAL, M., 1990. Análisis e interpretación de algunas cuestiones que plantea el complejo de morrenas y terrazas del río Aragón (Huesca). *Cuaternario y Geomorfología*, 4: 107-118.
- VIDAL, M., 1991. *Los suelos rojos de la cuenca del Ebro: mineralogía y clasificación*. Serie de Investigación Científica. Instituto de Estudios Altoaragoneses (Diputación de Huesca). 667 pp.
- VIDAL, M., 1994. Relative age estimation of several quaternary deposits based on the iron oxides forms ratios in < 2 mm, silt and clay fractions. *15th World Congress of Soil Science*, Acapulco (México), vol. 8b: 88-89.
- VIDAL, M., 1995. Sequence study of red soils in the high basin of the river Aragón (Huesca, Spain) as representative of evolution conditions. *Third International Meeting on Red Mediterranean Soils*. Chalkidiki (Greece). Summary Papers, 35-38.
- WALKLEY, A., 1934. An examination of the Dejtjareffmethod for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37: 29-38.