

# GÉNESIS Y SIGNIFICADO AMBIENTAL DE LOS CALICHES PLEISTOCENOS DE LA REGIÓN DEL CINCA (DEPRESIÓN DEL EBRO)

C.Sancho (1) y A.Meléndez (1)

(1) Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. 50009 ZARAGOZA.

## RESUMEN

Se estudian diversos perfiles de caliches desarrollados sobre las superficies encajadas de glacis y terrazas del Pleistoceno inferior de la cuenca baja del río Cinca. Las observaciones geomorfológicas (roca soporte y edad relativa de los niveles morfogénéticos), macroscópicas (perfiles y facies) y microscópicas (texturas y micromorfologías) indican un conjunto de procesos de aluvionamiento, encostramiento (carbonatación físico-química, actividad bioquímica y retrabajamiento y consolidación) y meteorización que alternaron en el tiempo. Mientras que en los niveles de glacis y terrazas más modernos los perfiles de caliche presentan escaso desarrollo, la superposición de varias fases edafogénicas sobre las superficies estabilizadas de terrazas y glacis más antiguas dio lugar al desarrollo de perfiles de caliche potentes y muy evolucionados. Todos estos procesos tuvieron lugar en un ambiente árido-semiárido generalizado con oscilaciones periódicas, ya que la sedimentación detrítica se corresponde con períodos más secos y el desarrollo de caliches con otros de mayor humedad.

**Palabras clave:** perfiles de caliche, Pleistoceno inferior, Depresión del Ebro.

## ABSTRACT

In this work we report on the geomorphological, macroscopic and microscopic analysis of several caliche profiles developed on top of the lower Pleistocene glacis-terrace stepped surfaces, which are located in the Cinca lower basin. Alternating processes of alluviation, calichification (physico-chemical carbonation, biochemical activity and reworking and lithification) and weathering are deduced as a result of this analysis. Reduced caliche development is identified on youngest glacis and terrace levels. In contrast, the superimposition of several edaphogenetic stages developed thick and mature-old caliche profiles on the oldest and geomorphologically stabilized glacis-terrace surfaces. All these processes took place under arid-semiarid climatic conditions. Detrital sedimentation was related to drier stages whereas the caliche development corresponded to the wetter ones.

**Key words:** caliche profiles, lower Pleistocene, Ebro basin.

Sancho, C. y Meléndez, A. (1992): Génesis y significado ambiental de los caliches pleistocenos de la región del Cinca (Depresión del Ebro). *Rev. Soc. Geol. España*, 5: 81-93.

Sancho, C. and Meléndez, A. (1992): Genesis and environmental significance of Pleistocene caliche deposits of the Cinca area (Ebro basin). *Rev. Soc. Geol. España*, 5: 81-93.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la cuenca baja del río Cinca las formaciones aluviales del Pleistoceno inferior, modeladas en glacis y terrazas, presentan a techo potentes niveles de caliche de gran extensión superficial. Sin embargo, son escasos los estudios realizados hasta la fecha sobre estos caliches, destacando los trabajos cartográficos de Alberto *et al.* (1984) o más recientemente el análisis de algunos perfiles efectuados por Porta *et al.* (1989).

La existencia de numerosas definiciones, clasificaciones y tendencias genéticas propuestas (Bretz y Horberg, 1949; Netterberg, 1969; Aristarain, 1971; Goudie, 1972; Zuidam, 1976; Watts, 1980; Esteban y Klappa, 1983; Vogt, 1984; Verrecchia, 1987; Gómez-Miguel, 1988) indican el grado de complejidad que presenta el análisis de este tipo de carbonatos. En este artículo se profundiza en los aspectos genéticos relacionados con los caliches de la cuenca Baja del río Cinca, como culminación de trabajos anteriores (Sancho y Meléndez,

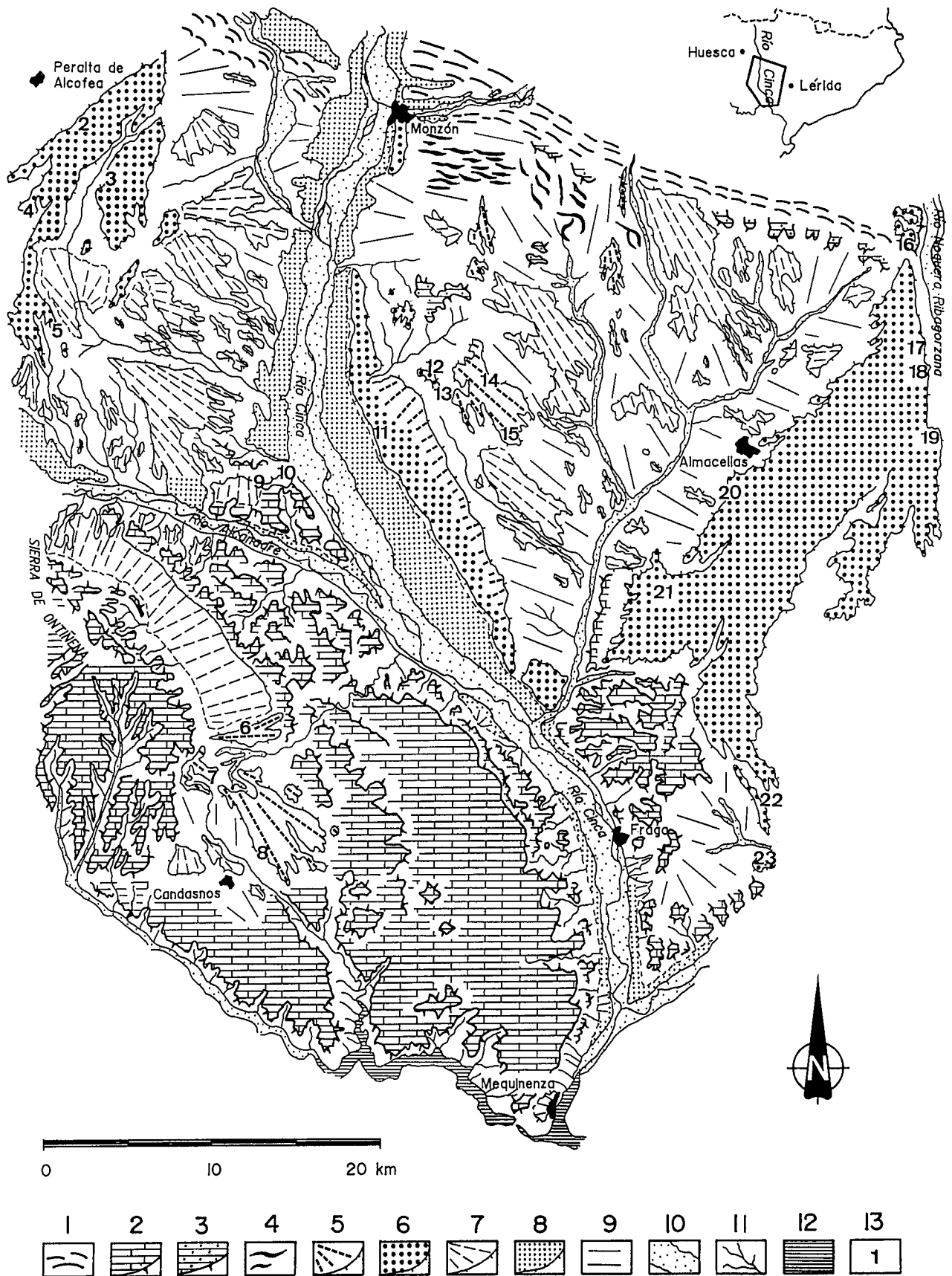


Fig. 1.-Mapa geomorfológico de la cuenca baja del río Cinca y localización de los perfiles de caliche estudiados. 1: "Hog-backs" en areniscas del Oligoceno. 2: Plataformas, cuestras y mesas en calizas del Mioceno. 3: Mesas en areniscas del Mioceno. 4: Paleocanales en areniscas del Mioceno. 5: Glacis del Pleistoceno inferior. 6: Terrazas del Pleistoceno inferior. 7: Glacis del Pleistoceno medio-superior. 8: Terrazas del Pleistoceno medio-superior. 9: Derrames o glacis recientes. 10: Llanura aluvial y valles de fondo plano. 11: Red de incisión lineal. 12: Embalse. 13: Perfil de caliche.

1984; Meléndez y Sancho, 1987; Sancho, 1988). Los objetivos básicos consisten en analizar los diferentes procesos genéticos intervinientes, caracterizar el significado geomorfológico y ambiental de cada uno de ellos y establecer una ordenación temporal y secuencial de los mismos, a partir de las características macroscópicas y micromorfológicas de estos carbonatos.

En la actualidad la interpretación genética de los caliches se realiza de modo complementario, tanto a partir del análisis de las características macroscópicas como de los rasgos micromorfológicos. Desde el punto de vista macroscópico existe una clara relación entre los rasgos morfológicos y el incremento de la acumulación del carbonato, siendo posible establecer una serie de morfologías de diagnóstico (Gile *et al.*, 1966, 1981; Machette, 1985). La interpretación de las características microscópicas de estas morfologías permite diferenciar una serie de estadios genéticos en el desarrollo de los caliches (Esteban y Klappa, 1983), elaborar diferentes secuencias pedoparagenéticas de procesos (Allen y Wright, 1989), enmarcar en un contexto climático-ambiental estos procesos (Fedoroff *et al.*, 1989), así como ordenarlos cronológicamente (Bullock, 1985). Asimismo, es posible enmarcar estos depósitos en un contexto geomorfológico y climático determinado (Blümel, 1982, 1983).

## 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

La cuenca baja del río Cinca se ubica en el sector suroriental de la provincia de Huesca y ocupa la parte centroseptentrional de la Depresión del Ebro. Esta comarca constituye una amplia depresión rodeada por el somontano de Barbastro al norte y las sierras de Sigüenza-Ontiñena al sur, con cotas topográficas que oscilan entre los 100 y 500 m. La red de drenaje principal está definida por el río Cinca y sus afluentes Alcanadre y Clamor, todos ellos en la margen izquierda del Ebro. Desde el punto de vista climático, el área de estudio presenta en la actualidad un régimen semiárido correspondiente a un clima de tipo mediterráneo con marcado carácter continental. La precipitación media anual es de 350-450 mm y la temperatura media anual es de 14-15°C, existiendo fuertes contrastes estacionales.

Desde el punto de vista geológico, en esta región afloran facies continentales típicas de abanicos aluviales procedentes del orógeno pirenaico representadas por las areniscas y lutitas de la Formación Sariñena, que lateralmente se indenta con los niveles carbonatados de la Formación Alcubierre (Quirantes, 1978). En ambos casos se trata de litofacies pertenecientes a ambientes distales de abanicos aluviales y "playa-lake" que se re-

levan espacialmente coincidiendo con el depocentro molásico de la Depresión del Ebro durante el Mioceno (Riba *et al.*, 1983). El ciclo sedimentario del Neógeno superior finaliza con el exorreísmo de la Depresión del Ebro hacia el Mediterráneo. Como consecuencia tiene lugar una intensa erosión que desarrolla en esta región una amplia depresión entre los relieves resistentes del Anticlinal de Barbastro y las Plataformas Centrales Carbonatadas de la Depresión del Ebro. En esta zona deprimida tiene lugar durante todo el Cuaternario la sedimentación de los distintos depósitos ligados al sistema fluvial Alcanadre-Cinca-Noguera Ribagorzana (Fig. 1). En todos estos niveles predominan las gravas masivas o con estratificación cruzada planar o en surco con potencias que oscilan entre los 3 y 8 m. Son frecuentes las intercalaciones arenosas y limoarcillosas. Se diferencian rellenos de morfologías canaliformes, barras longitudinales y superficies de reactivación. Todos estos rasgos son característicos de ambientes fluviales "braided". Geomorfológicamente se desarrollan diez niveles encajados de glacis-terrazas con alturas que oscilan entre los 2-3 m para los niveles más modernos y 190-200 m para los más antiguos. Dichos niveles se articulan dando lugar a tres unidades geomorfológicas con áreas fuente diferentes. Los niveles aluviales relacionados con el río Alcanadre tienen un origen en las Sierras Exteriores pirenaicas. Los pertenecientes al sistema Cinca-Noguera Ribagorzana provienen del Pirineo Axial y, finalmente, el piedemonte de la Sierra de Candanos-Ontiñena arranca de las plataformas calizas neógenas del centro de la Depresión del Ebro.

## 3. MATERIALES Y MÉTODO.

Se han levantado 23 perfiles de caliche (Fig. 1) en los niveles aluviales anteriores distribuidos por toda la región y perfectamente localizados espacial y temporalmente a partir de la cartografía geomorfológica regional a escala 1:50.000 elaborada por Sancho (1991). La diferenciación de horizontes dentro de los perfiles se ha realizado, básicamente, siguiendo los criterios y nomenclatura de Esteban y Klappa (1983) (material soporte, horizonte transicional, caliche pulverulento, caliche noduloso, caliche hojoso, caliche endurecido y suelo). No obstante, se han diferenciado varios tipos de caliche endurecido según la organización externa (Reeves, 1977) (noduloso y acintado) e interna (Esteban y Klappa, 1983) (masivo, laminado, noduloso y brechoide). También conviene indicar que el horizonte transicional se ha designado como gravas encostradas o caliche conglomerático (Goudie, 1983) o como arenas encostradas. Una vez identificados los horizontes existen-

Fig.1.- Geomorphological map of the Cinca lower basin and location of the studied caliche profiles. 1: Hog-backs on oligocene sandstones. 2: Platforms, cuestas and mesas on miocene limestones. 3: Mesas on miocene sandstones. 4: Paleochannels on miocene sandstones. 5: Lower Pleistocene glacis. 6: Lower Pleistocene terraces. 7: Middle-upper Pleistocene glacis. 8: Middle-upper Pleistocene terraces. 9: Recent glacis. 10: Alluvial plain and infilled valleys. 11: Fluvial network. 12: Reservoir. 13: Caliche profile.

tes, se ha caracterizado el grado de evolución del perfil utilizando los estadios morfológicos de Machette (1985) y basados en los que proponen Gile *et al.* (1966, 1981) para caliches elaborados sobre depósitos de gravas. Las observaciones micromorfológicas incluyen análisis con lupa binocular de secciones pulidas, de láminas delgadas con el microscopio petrográfico y con el microscopio electrónico. En las determinaciones micromorfológicas se han utilizado los criterios de Esteban y Klappa (1983) y Goudie (1983), haciendo referencias a la terminología edafológica de Bullock *et al.* (1985) para algunos rasgos pedológicos, ya que ésta presenta problemas para su aplicación generalizada a horizontes petrocálcicos.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Observaciones geomorfológicas

La situación espacial y temporal de los perfiles ana-

lizados se ha efectuado teniendo en cuenta la naturaleza litológica del área fuente y la edad de los niveles morfogénéticos sobre los que se desarrollan los horizontes carbonatados. Estas variables independientes condicionan la potencia y grado de desarrollo alcanzado por los perfiles estudiados.

En la Tabla 1 se representan el conjunto de características de todos los perfiles. Se han distinguido tres áreas fuentes, en las que la proporción de litologías carbonatadas que abastecieron los depósitos detríticos de los niveles de glacis y de terrazas varía significativamente. El Pirineo Axial está representado por las terrazas de los ríos Noguera Ribagorzana y Cinca y la proporción de material carbonatado localizado en las gravas constituyentes es del 65%. Por otro lado el Prepirineo se encuentra representado por las terrazas del río Alcanadre, en las que la proporción de cantos de caliza alcanza el 80%. Por último las Plataformas Centrales de la Depresión están representadas por los niveles de glacis del piedemonte de la Sierra de Sigüenza-Ontiñena y la proporción de material carbonatado alcanza el 95%.

PERFIL NUMERO	POTENCIA (m)	NIVEL MORFOGENETICO	AREA FUENTE	ESTADIO DE DESARROLLO
1. Lagunarrotta	0,50	T 9	SIERRAS EXTERIORES (PREPIRINEO)	II-III
2. Fontanetas	1,10	T 9		V
3. El Tormillo	3,00	T 9		VI
4. Lastanosa	1,50	T 9		V-VI
5. Castelflorite	1,50	T 9		VI
6. Ontiñena	1,10	G 6	PLATAFORMAS CENTRALES EBRO	IV-V
7. Candasnos I	0,70	G 7		V
8. Candasnos II	1,50	G 7		V-VI
9. Alcolea I	0,60	T 7	PIRINEO AXIAL	III
10. Alcolea II	1,00	T 7		IV
11. Albalate	1,10	T 8		V
12. San Salvador	1,50	T 10		IV
13. Monte Julia	0,50	T 10		III-IV
14. Peña Roa	1,10	G 7		V-VI
15. Valonga	0,40	G 7		V
16. Alfarras	0,10	T 8		I
17. Almenar I	0,15	T 7		I
18. Almenar II	0,10	T 6		I
19. Alguaire	0,30	T 8		II-III
20. Souquet	1,00	T 6		IV-V
21. Gimeneils	1,50	T 6		IV
22. Sra. Pedregoso	0,70	T 6		III-IV
23. Sierra Brisa	1,10	T 8		V

Tabla 1.- Algunas características geomorfológicas y macroscópicas de los perfiles de caliche estudiados (Estadios de desarrollo según Machette, 1985).

Table 1.- Several geomorphological and macroscopic characteristics of the studied caliche profiles (Stages of calcrete development after Machette, 1985).

Por otro lado, en la cuenca baja del río Cinca se observa a grandes rasgos una falta de encostramientos por debajo de los niveles morfogenéticos  $G_5$  y  $T_5$  (60 m de cota relativa), incrementándose progresivamente el desarrollo de los caliches con la edad de los glacis o terrazas hasta el nivel  $T_{10}$  situado a 190-200 m de altura en relación con el cauce del río. Entre ellos, el resto de niveles de terraza se distribuyen el siguiente modo:  $T_6=85-90$  m;  $T_7=100-105$  m;  $T_8=115-120$  m y  $T_9=150$  m sobre el cauce actual. No se disponen de datos cronológicos absolutos, pero de modo relativo este conjunto de niveles morfogenéticos encostrados ocupan todo el Pleistoceno inferior (Peña y Sancho, 1988).

Si combinamos estos dos factores se observa como el grado de desarrollo de los perfiles de caliche, indicado por la potencia del mismo y por el estadio morfológico alcanzado, se incrementa lógicamente con la edad del nivel morfogenético y con la cantidad de carbonatos en el área fuente, de tal manera que para una misma área fuente los niveles superiores ( $T_8-T_{10}$  para el Cinca-Noguera Ribagorzana,  $T_8$  para la del Alcanadre y  $G_7$  para el piedemonte de las Plataformas Centrales) presentan el máximo desarrollo de caliches. Por otro lado, para un mismo nivel morfogenético situado en las tres áreas ( $G_7-T_7$ ) el mayor desarrollo de los perfiles corresponde a las Plataformas Centrales Carbonatadas. Como puede observarse en la tabla 1 la mayor potencia y el mayor estadio de desarrollo alcanzado corresponde a los perfiles del nivel  $T_9$  del río Alcanadre (El Tormillo, Castelflorite y Lastanosa) y a los perfiles de los glacis superiores del piedemonte de Ontiñena (Candanos II). En ambos casos casi se alcanzan los 2 m de potencia del encostramiento y se llega hasta el estadio 6 de máximo desarrollo de Machette (1985).

#### 4.2. Análisis de los perfiles

Desde el punto de vista edafológico, estos horizontes con acumulación de carbonato secundario se denotan con un sufijo "k", de tal manera que hablamos de un horizonte Bk (U.S. Department of Agriculture, 1988) denominado horizonte cálcico, que se caracteriza por tener 15 cm de espesor y el 15% de volumen de carbonato. Otros autores diferencian un horizonte que denominan K (Gile *et al.*, 1965) que equivale al horizonte petrocálcico (Km) del U.S. Department of Agriculture (1988). Suele ser un horizonte constituido al menos por un 50% de carbonatos que envuelven granos primarios o aparecen laminados en la zona superior y confieren la morfología al horizonte. En función de estas características se diferencian horizontes K1, K2 y K3.

Ahora bien, si nos centramos en el análisis concreto de estos horizontes K o petrocálcicos a escala de afloramiento es posible observar la distribución espacial y geometría interna de los mismos, así como diferenciar las facies que se exponen a continuación (Fig. 2).

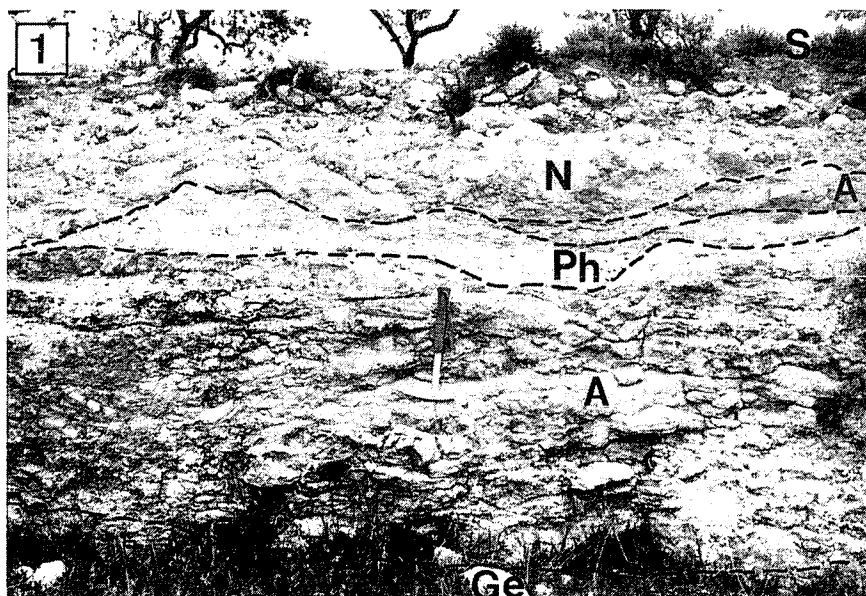
- *Gravas encostradas*. Este tipo de facies suele aparecer en la base de los perfiles, aunque ocasionalmente puede encontrarse en zonas superiores. Constituye cuer-

pos canaliformes con superficies basales irregulares y erosivas. Lateralmente suele pasar a caliches pulverulentos. Internamente presenta una fábrica masiva con extraclastos de composición diversa en función del área madre. A veces pueden encontrarse fragmentos retrabajados de caliches preexistentes (intraclastos) y ocasionalmente algún bioclasto de gasterópodos. Estos elementos se encuentran empastados en una masa de microsparita y micrita. Son frecuentes las envueltas vadosas de los clastos así como los huecos de raíces en la matriz.

- *Caliche pulverulento*. Se encuentra sobre el sustrato detrítico o sobre facies de gravas encostradas aunque también como paso lateral de éstas. Siempre se encuentra asociado a las facies arenosas y lutíticas de las secuencias fluviales. Es un nivel escasamente consolidado con morfología basal irregular y cambios bruscos de espesor. Su estructura general es masiva y está constituido internamente por microsparita y micrita, con clastos dispersos de pequeño tamaño y ooides, aunque a veces puede tener una cierta cementación y estructuración interna, bien hojosa o bien nodulosa. A veces existen intercalaciones de gravas. Son frecuentes los huecos debidos a la actividad de las microrraíces, los restos de pedotúbulos y rizoconcreciones de desarrollo vertical u horizontal y la bioturbación en general.

- *Caliche acintado*. Se desarrolla, principalmente, sobre las facies anteriores y a techo de los perfiles. Geométricamente se trata de cintas o placas de escala centimétrica-decimétrica que se acuñan lateralmente a la vez que se superponen unas a otras. Ocasionalmente se localizan tapizando lechos canaliformes. Internamente es posible diferenciar una parte inferior y otra superior dentro de las cintas. La inferior está formada por clastos empastados en microsparita o por micrita y microsparita masivas con litoclastos de pequeño tamaño y ooides. En este segundo caso, se observa la reestructuración, debida a actividad de raíces, canales de circulación y grietas circumgranulares, que diferencia elementos irregulares. En ambos casos son frecuentes las envueltas vadosas que pueden recubrir totalmente los elementos diferenciados para generar pisolitos o solamente tapizar las zonas inferiores dando lugar a crecimientos basales espeleotémicos. La parte superior del caliche acintado está constituida por micrita laminada, que habitualmente aparece fragmentada y fisurada por estructuras de desecación con numerosas envueltas espeleotémicas y pisolitos vadosos. El caliche acintado constituye un excelente marcador para manifestar deformaciones internas dentro del perfil, habiéndose observado pseudoanticlinales y estrías de deslizamiento cinta sobre cinta.

- *Caliche noduloso*. Constituido por nódulos diferenciados sueltos o cementados. Se trata de un nivel continuo aunque la intensidad de la nodulización puede ser variable. Internamente se diferencian estructuras similares a las observadas en el caliche acintado, de tal modo que es posible establecer una gradación completa entre ambos tipos dependiendo del grado de nodulización.



S: suelo

N: caliche noduloso

A: caliche acintado

P: caliche pulverulento

Ph: c. pulverulento-hojoso

Ge: gravas encostradas

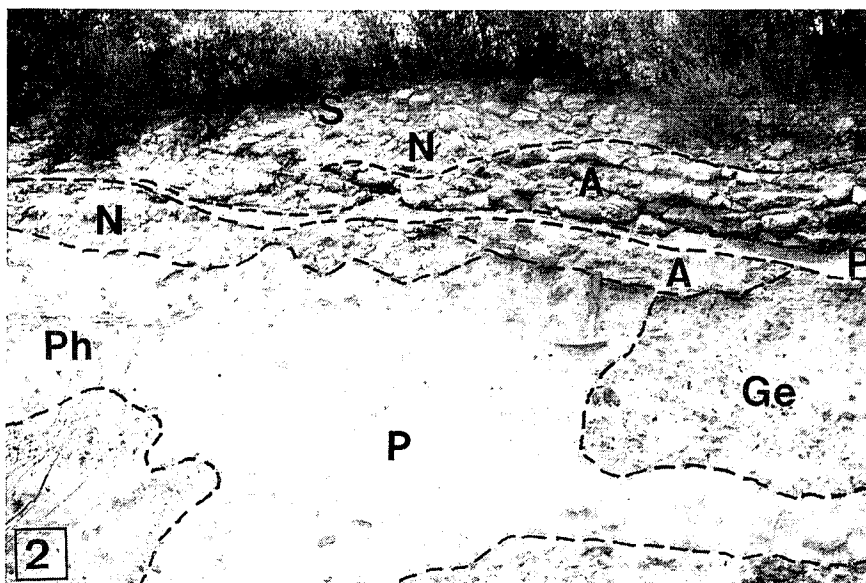


Fig. 2.-Ejemplos de perfiles de caliche y facies diferenciadas. 1: El Tormillo. 2: Gimennells.  
Fig. 2.-Examples of caliche profiles and differentiated facies. 1: El Tormillo. 2: Gimennells.

Por regla general, estas macrofacies se ordenan espacialmente en perfiles que presentan las gravas encostradas y las facies pulverulentas en la base, dando paso a las facies acintadas y nodulosas hacia techo, siendo frecuente la repetición o alternancia de alguna de ellas (Fig. 2). Esta ordenación constituye un perfil tipo ideal para la región (Fig. 4). Sin embargo son frecuentes los cambios laterales tanto de facies como de potencia. Una vez consolidado y litificado el carbonato, el techo de los perfiles se ve truncado por la actividad de canales erosivos rellenos con fragmentos de caliche resedimentados. Se han observado también huellas microkársticas, fisuras y removilizaciones de elementos brechoides de caliche ligados a procesos de meteorización posterior.

#### 4.3. Rasgos micromorfológicos

El análisis microscópico de las facies de caliche anteriores permite diferenciar e identificar distintos tipos de texturas y micromorfologías que son las siguientes (Fig. 3):

- *Flotante*. Textura caracterizada por presentar una matriz de carbonato microesparítico masivo, con algunos parches micríticos que engloba distintos litoclastos con predominio del tamaño limo, naturaleza carbonatada o silíceo y formas angulosas y subangulosas. Estos componentes detríticos aparecen flotando en la matriz y rara vez existen contactos puntuales entre ellos. Cuando la composición es silíceo, son frecuentes las co-

ronas de reacción formadas en torno a ellos y constituidas por cristales fibrosos de calcita que se orientan perpendicularmente a la superficie exterior de los litoclastos (Fig. 3,1), dando a veces contornos irregulares debidos al reemplazamiento del material silíceo por otro carbonatado.

- *Laminada domática*. Es posible diferenciar dentro de esta textura dos componentes principales que aparecen alternantes superponiéndose uno a otro de modo sucesivo. En primer lugar, destacan las bandas irregulares formadas por filamentos orgánicos de color oscuro que empalman lateralmente para dar morfologías domáticas (Fig. 3,2) dentro de un desarrollo general relativamente continuo y horizontal. En estas zonas se han reconocido posibles restos de tejidos vegetales, así como microformas en abanico más o menos abierto formando agrupaciones y compuestas por fibras radiales de calcita. También se han identificado morfologías de *Microcodium* escasas. Por otro lado, el segundo componente de la textura, que aparece intercalado entre los anteriores, está compuesto por bandas horizontales irregulares de microesparita masiva de tonos rojizos que incluye litoclastos fundamentalmente silíceos de tamaño limo. Como rasgo general de la textura se encuentra una porosidad relativamente elevada formada por huecos que se adaptan a los domos o bien presentan morfologías redondeadas y aisladas concentradas por zonas. Son frecuentes también las coronas de reacción en torno a los granos silíceos y el reemplazamiento de elementos detríticos calcáreos.

- *Pisolítica-perlítica*. Suele aparecer relacionada con la anterior. Se caracteriza por la presencia de elementos redondeados de tamaño variable (Fig. 3,3), rodeados de envueltas concéntricas. El núcleo está formado por micrita masiva o microesparita con algún microlitoclasto y peloides, aunque también se han encontrado granos detríticos silíceos y restos de posibles filamentos orgánicos. Por su parte, el cortex presenta un desarrollo simétrico, de poco espesor y está constituido por varias envueltas de filamentos enlazados unos con otros. Sus características son similares a las que presentan los domos de la textura anterior, con peloides y colonias de algas. Estos núcleos con envueltas filamentosas concéntricas se hallan aislados e inmersos en una matriz microesparítica. A veces se encuentran ooides de microesparita sin desarrollo de envueltas. Son frecuentes los rellenos parciales de las fisuras y poros entre los pisolitos, con cementaciones en menisco y desarrollo gravitacional. Asimismo, existen frecuentes coronas de reacción en los granos silíceos.

- *Alveolar*. Se trata de una textura compuesta por material micrítico masivo o con cierta laminación, que se reparte adaptándose a una serie de huecos aislados y redondeados de tamaño variable y debidos posiblemente a raíces, de tal modo que se desarrollan morfologías que contornean e incluso rodean a los poros (Fig. 3,4). Entre estos, los de menor tamaño aparecen totalmente sellados con esparita, mientras que los de mayor tamaño sólo presentan un tapizado interior. A veces, los poros adquieren formas ovaladas e incluso ci-

lindricas de mayor tamaño, superando en ocasiones 1 mm de longitud. Cuando predominan las formas alargadas la textura resultante es de tipo *vermicular*, aunque no es frecuente observarla. El diámetro de los poros vacíos se aproxima normalmente a las 100  $\mu$ .

- *Nodulosa*. Viene caracterizada por una masa general normalmente micrítica masiva o con litoclastos angulosos silíceos de tamaño arena o limo, cuyo rasgo principal consiste en el desarrollo de una malla de grietas y fisuras, frecuentemente horizontales, que individualizan elementos de diverso tamaño y morfología (Fig. 3,5). El conjunto de grietas y fisuras se encuentra tapizado de esparita con frecuentes meniscos y aumento del tamaño de los cristales de calcita hacia el centro de los huecos. No obstante, estos elementos pueden sufrir retrabajamientos o removilizaciones posteriores que tienden a redondear los nódulos iniciales. Son frecuentes las coronas de reacción con los granos de cuarzo, los peloides y las fisuras curvas y circungranulares en algunas zonas. Por otro lado, los elementos individualizados de este modo se pueden rodear total o parcialmente de envueltas con desarrollo diferencial, mayor en la base de los mismos.

- *Grumosa*. Comúnmente descrita en la literatura anglosajona como "*clotted texture*" (Esteban y Klapa, 1983; GOUDIE, 1983). Se trata de una textura muy frecuente en caliches. Viene caracterizada por una individualización de elementos micríticos de formas variables (glóbulos, ooides, peloides, manchas irregulares, etc.) que en conjunto ofrecen un aspecto grumoso, rodeados de microesparita y esparita (Fig. 3,6). Internamente los elementos micríticos pueden presentarse de modo masivo e incluso con pequeños litoclastos. Entre las partículas constituyentes se desarrollan una gran cantidad de huecos que pueden aparecer rellenos por esparita o microesparita de modo total o parcial. En este último caso dominan los desarrollos gravitacionales de cristales en los poros y los meniscos intergranulares. A veces los elementos pueden estar rodeados de envueltas micríticas.

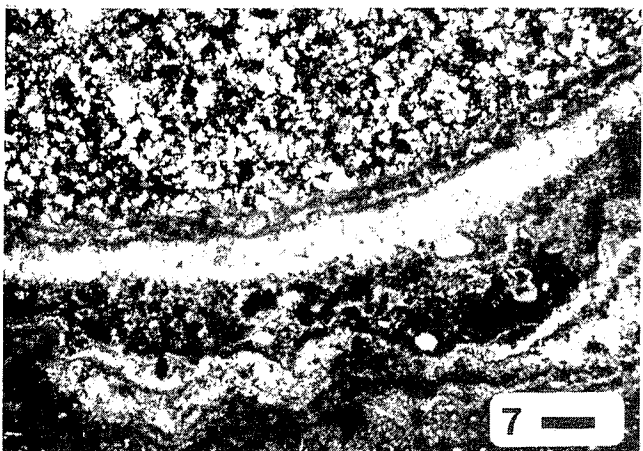
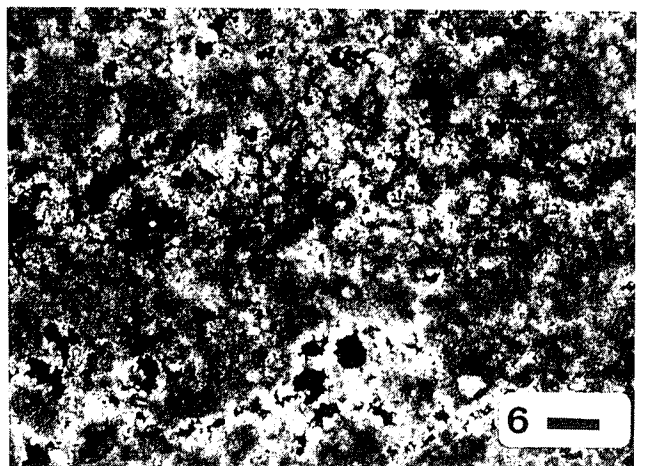
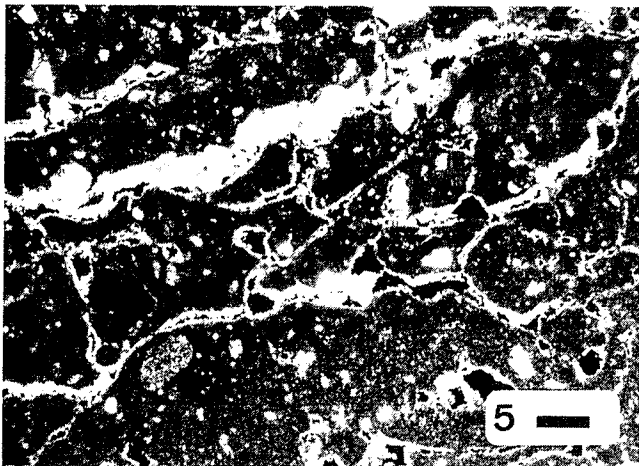
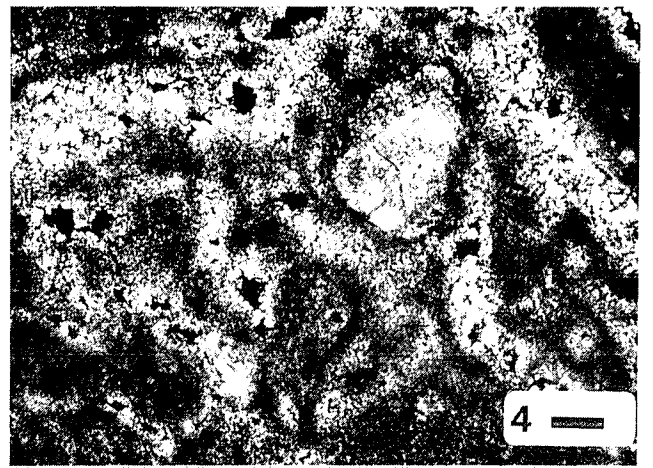
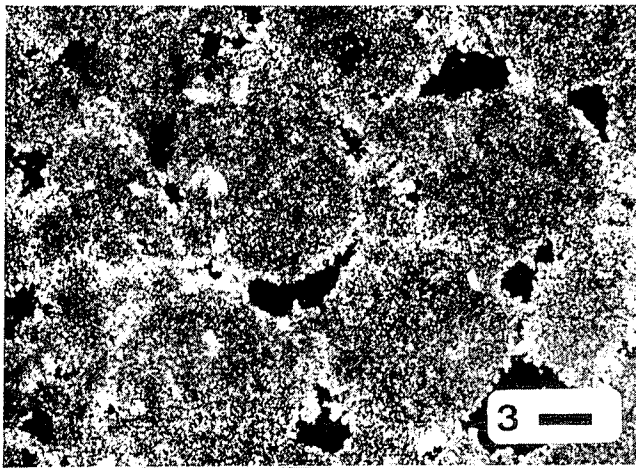
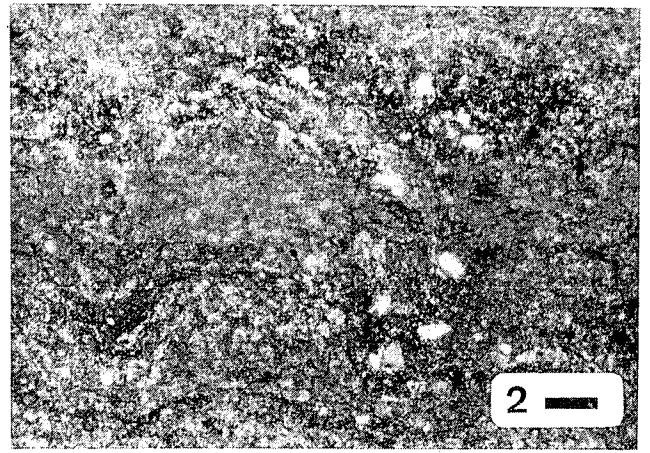
- *Pisolítica-espeleotémica*. Los pisolitos aparecen nucleados alrededor de elementos terrígenos o de elementos retrabajados del propio caliche (Fig. 3,7 y 8). Se caracterizan por una ordenación paralela y alternante, en la base de los elementos anteriores, de láminas de esparita, micrita y bandas de partículas micríticas redondeadas individualizadas. El mayor desarrollo corresponde a la esparita y su crecimiento es radial. Afectan a componentes del caliche individualizados de escala muy variable. Estos crecimientos se deben a las sucesivas fases de circulación y cementación vadosa descendente que han afectado al conjunto del caliche.

En la figura 4 puede observarse una aproximación de la distribución de estas texturas en las facies de caliche anteriormente diferenciadas.

## 5. DISCUSIÓN

Durante el Pleistoceno inferior, para la cuenca Baja







del Cinca pueden distinguirse cinco secuencias morfológicas (Sancho y Benito, 1991) que se caracterizan por presentar un término inferior compuesto por sedimentos fluviales y otro superior constituido por caliches. Morfológicamente dan lugar a los sistemas de glacis-terrazas ligados a la dinámica del sistema fluvial Alcanadre-Cinca-Noguera Ribagorzana. Mientras que estos niveles presentan un progresivo grado de encostramiento con la edad, los niveles más modernos carecen de desarrollo de caliches. Por tanto tenemos cinco eventos sedimentarios culminados por etapas en las que tuvieron lugar fases pedogenéticas con procesos de carbonatación secundaria. En los niveles más antiguos se superponen varias de estas etapas, dando lugar a los perfiles más potentes y evolucionados que llegan a alcanzar el estadio de desarrollo 6 de Machette (1985), siendo posible establecer una ordenación cronológica relativa de los perfiles. En este sentido, Birkeland (1984) presenta una tabla a partir de datos de diversos autores en la que los estadios de máximo desarrollo morfológico de carbonatos aparecen, en SW de Estados Unidos, en suelos relictos elaborados sobre unidades aluviales del tránsito Plioceno-Pleistoceno inferior o más antiguos. Por tanto el aterramiento facilita el desarrollo de cronosecuencias de caliches, de manera que las diferencias en los perfiles se deben únicamente a la edad.

Evidentemente, estos suelos nos indican ambientes de cierta aridez, dentro de un contexto de sucesivos procesos de aterramiento que están ligados a cambios climáticos. En efecto las fluctuaciones climáticas en ambientes semiáridos como estos tienen efectos muy marcados, ya que pequeñas modificaciones climáticas van acompañadas por variaciones marcadas en la vegetación y en la producción de sedimentos (Chorley *et al.*, 1984). Un incremento de la humedad paraliza los procesos de erosión/sedimentación e incrementa la actividad pedogenética, mientras que modificaciones hacia la aridez provocarían actuaciones contrarias. Por lo tanto, es posible establecer una primera relación entre el desarrollo de caliches y fases edafogenéticas con ambientes de mayor humedad dentro de condiciones áridas o semiáridas generales.

De este modo, el análisis de los depósitos de las terrazas y de los perfiles de caliche permite deducir una

serie de procesos genéticos que se organizan en una sucesión de estadios evolutivos que se describen a continuación (Fig. 5):

a) *Sedimentación de secuencias fluviales en un ambiente semiárido*. Durante los períodos de aluvionamiento, para este sector de la Depresión del Ebro, Bommer (1979) señala una eficacia de transporte superior a la actual, dentro de un ambiente frío con una reducción considerable de las precipitaciones. Por otro lado, Mensua (1964) indica que la fase de construcción de los glacis del valle del Ebro se produce dentro de los períodos fríos de un clima subárido con escasez de precipitaciones y retroceso de la vegetación.

b) *Encostramiento*. Tiene lugar una vez que cesa la actividad sedimentaria propiamente dicha y se elabora la superficie morfológica correspondiente a un glacis o una terraza. En este estadio es posible diferenciar varias etapas.

b.1 *Carbonatación físico-química*. Da lugar básicamente a las facies de caliche conglomerático o caliche pulverulento, según que la acumulación de carbonato tenga lugar en gravas o finos de las secuencias fluviales a partir de soluciones descendentes (Gile *et al.*, 1966). También da lugar a la matriz del caliche acintado masivo. La introducción de la calcita dentro del perfil da lugar a las texturas "floating" (Goudie, 1983; Esteban y Klappa, 1983). Se produce la disolución total o parcial de los cantos de caliza y son frecuentes los reemplazamientos de granos de sílex (Esteban y Klappa, 1983). La presión de cristalización genera pseudoanticlinales y estrías (Reeves, 1976; Watts, 1978). Los rasgos de disolución de los cantos de carbonato y la relación clara entre el contenido en carbonato de la roca soporte y el grado de desarrollo y potencia alcanzados parecen indicar que la introducción del carbonato se ha producido a partir de soluciones descendentes que lavan el perfil del suelo. La precipitación del carbonato se realiza por pérdida de H<sub>2</sub>O y/o CO<sub>2</sub> debido a procesos de evaporación. Todas las características relacionadas con la carbonatación físico-química coinciden con los caliches tipo alpha de Wright (1988) que indican un ambiente de cierta aridez aunque puede existir un suelo biológicamente activo. En este tipo de calcretas los rasgos biogénicos son escasos. Esta introducción de carbonato dentro del soporte detrítico abarca los es-

Fig. 3.-Microfotografías de lámina delgada mostrando diversos rasgos de las facies encostradas. 1: Reemplazamiento superficial de granos silíceos por fibras radiales de calcita en una textura flotante. Escala gráfica, 0,25 mm. 2: Textura laminada domática. Básicamente las láminas más claras están formadas por esferulitos fibroradiales de calcita. Escala gráfica, 0,50 mm. 3: Ooides de micrita-microesparita unidos por cemento vadoso en menisco. Escala gráfica, 0,25 mm. 4: Textura alveolar. Los poros irregulares están parcialmente rellenos por cemento de esparita y están separados por una malla de paredes de micrita. Escala gráfica, 0,25 mm. 5: Micrita masiva re trabajada por una malla de grietas y fisuras constituyendo un estadio inicial de textura nodulosa. Escala gráfica, 1 mm. 6: Textura grumosa. Escala gráfica, 0,50 mm. 7: Recubrimientos basales de cementos gravitacionales vadosos alrededor de un elemento detrítico. Escala gráfica, 1 mm. 8: Cemento vadoso microestactítico. Escala gráfica, 1 mm.

Fig. 3.-Thin section photomicrographs showing several features of the caliche facies. 1: Partial replacement of siliceous grains by radial fibers of calcite in a floating texture. Scale bar, 0.25 mm. 2: Domatic laminated texture. Basically the clearer laminae are formed of calcite spherulites. Scale bar, 0.50 mm. 3: Micrite-microsparite forming ooids jointed by meniscus vadose cement. Scale bar, 0.25 mm. 4: Alveolar texture. Irregular pores are partially filled by sparite cement and are separated by a network of micrite walls. Scale bar, 0.25 mm. 5: Massive micrite reworked by a network of microcracks and microfissures making up a initial stage of nodular texture. Scale bar, 1 mm. 6: Clotted texture. Scale bar, 0.50 mm. 7: Basal coatings of gravitational vadose cements around a detrital component. Scale bar, 1 mm. 8: Microstactitic vadose cement. Scale bar, 1 mm.

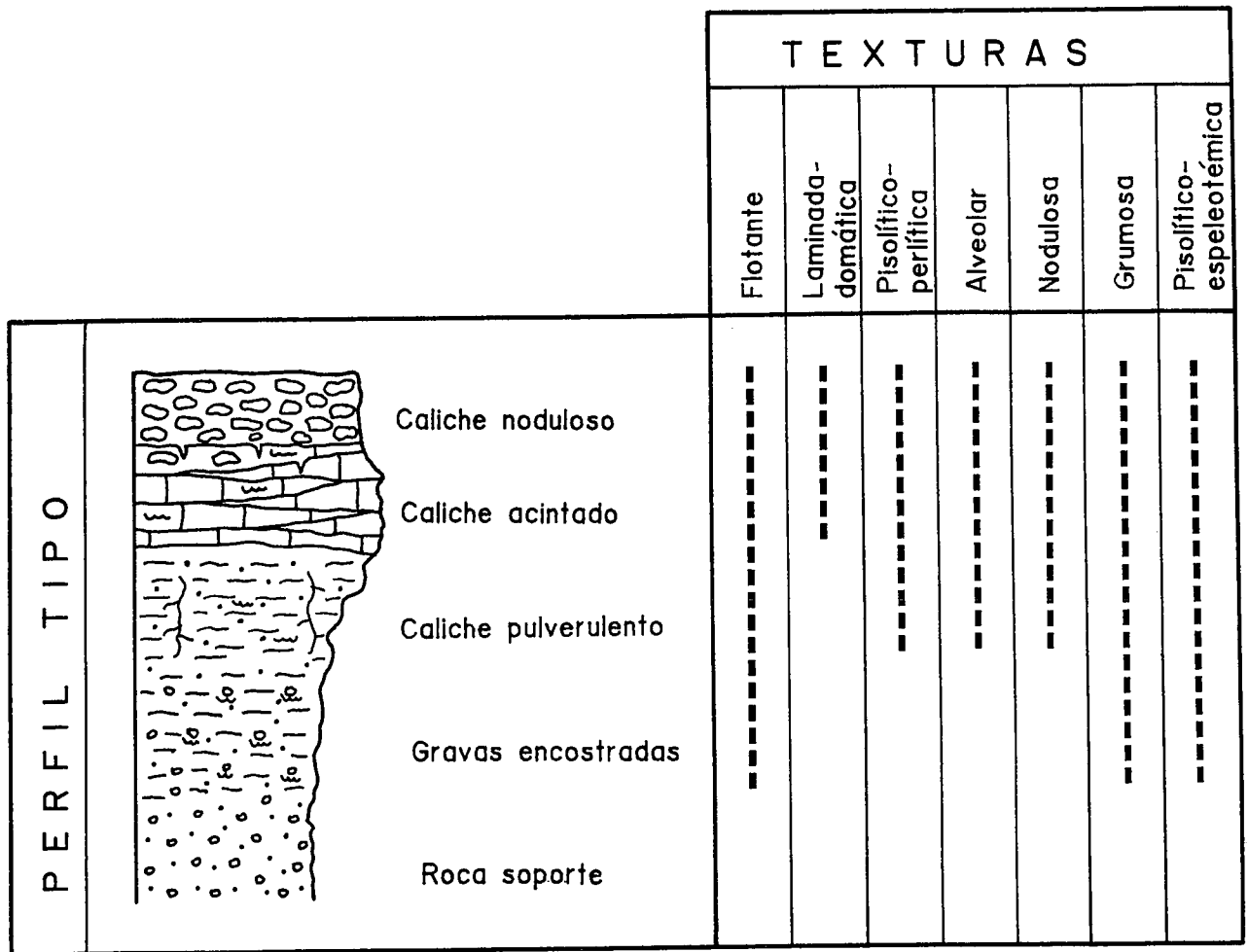


Fig. 4.-Perfil tipo de caliche en la cuenca baja del río Cinca y distribución de los principales rasgos texturales.  
Fig. 4.-Typical caliche profile of the Cinca lower basin and distribution of the main textural features.

tadios I, II y III de Gile *et al.* (1966) y 1, 2, 3 de Machette (1985). De este modo, coincidiendo con las últimas fases de aluvionamiento y debido a una transición hacia condiciones más húmedas comienza el desarrollo de suelos, que permiten la infiltración y descenso de soluciones, con alteración pedogenética más o menos importante.

**b.2 Actividad bioquímica.** Da lugar fundamentalmente al caliche acintado laminado. Se distingue la acción de rizolitos y la de microorganismos asociados a estos rizolitos. Los rizolitos ejercen una acción de tipo químico que da lugar tanto a la acumulación de carbonato por coalescencia de microrraíces que desarrolla la textura alveolar (Esteban y Klappa, 1983) o las mallas de raíces (Wright *et al.*, 1988) como a los pedotúbulos a mayor escala. Por otro lado la actividad microbiológica se traduce en la presencia de micritizaciones que dan lugar a peloides (Purser, 1980) o a envueltas micríticas (James, 1972; Calvet, 1972), así como a texturas perlíticas (Juliá y Calvet, 1983) y laminadas domáticas o estromatolitos de líquenes (Klappa, 1978). En relación con esta actividad microorgánica se han reconocido tejidos de envueltas de resistencia, microfibras calcificadas, agregados fibroradiales (Klappa, 1979)

y *Microcodium* (Esteban y Klappa, 1983). El conjunto de los rasgos microbiológicos analizados coincide con los observados por Wright (1988) para los caliches de tipo beta, cuya génesis está ligada estrechamente a procesos pedogenéticos con actividad biogénica intensa. Birkeland (1984) explica el origen del  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  y los mecanismos de fijación del carbonato en estas condiciones. Toda esta actividad se traduce macroscópicamente en el desarrollo de los estadios IV de Gile *et al.* (1966, 1981) y 4 y 5 de Machette (1985). La aparición de estas características macro y microscópicas indica un mayor grado de humedad que en el caso anterior de carbonatación físico-química y una actividad pedogenética importante.

**b.3 Retrabajamiento y consolidación.** Macroscópicamente, la combinación de estos procesos da lugar al desarrollo de facies nodulosas, hojosas y brechoides, coincidiendo con el estadio morfológico 6 de Machette (1985). Es posible diferenciar dos grupos de procesos que hacen referencia a la reestructuración interna del carbonato o a la cementación del mismo.

En primer lugar, las raíces pueden ejercer una acción de retrabajamiento físico que junto a la desecación (macrofisuración, microfisuras circungranulares)

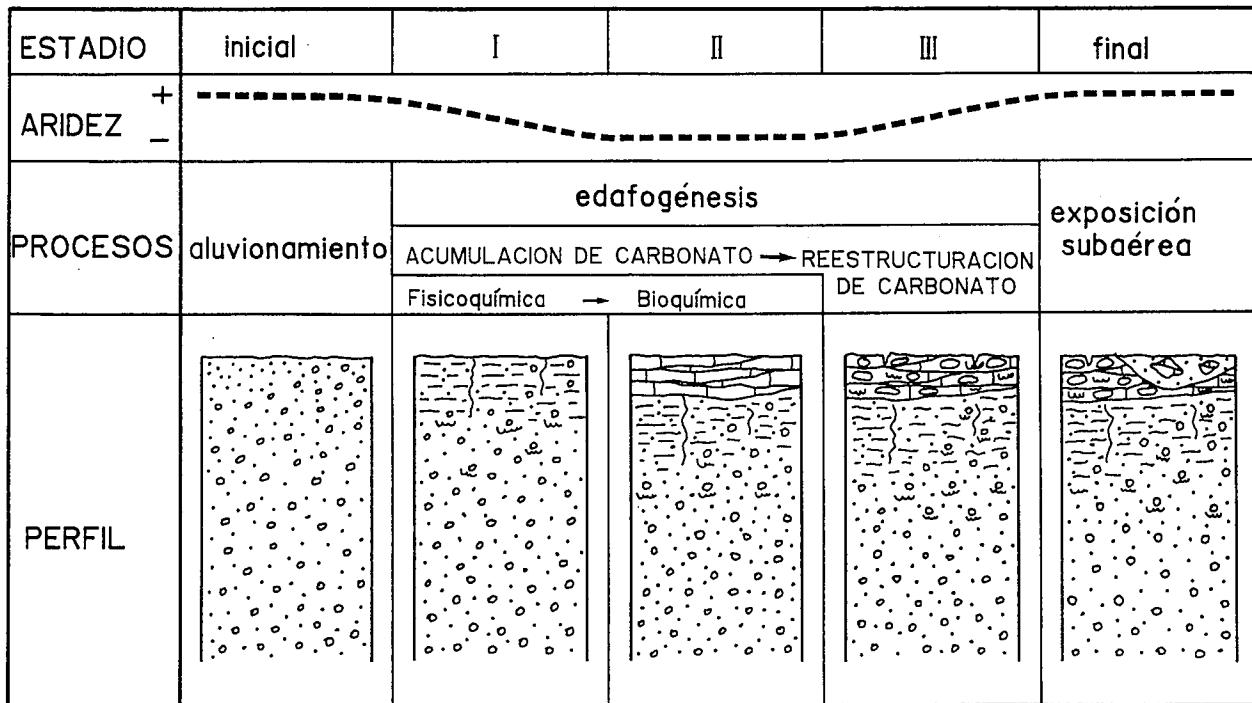


Fig. 5.-Estadios evolutivos, significado climático y procesos en la génesis de los caliches desarrollados sobre los niveles de glacia-terrazas más antiguos en la cuenca baja del río Cinca.

Fig.5.- Evolutionary stages, climatic significance and processes in the genesis of caliche deposits developed on the oldest glacia-terrace levels in the Cinca lower basin.

da lugar a la nodulización y reestructuración interna del carbonato (Freytet, 1984). Por otro lado estas discontinuidades facilitan la circulación de agua y el desarrollo de pisolitos gravitacionales y colapsos. Evidentemente es necesaria una etapa de cierta aridez, al menos estacional, para que tenga lugar la desecación del carbonato.

En segundo lugar, los rasgos principales que denotan los procesos de cementación vadosa son los siguientes: pisolitos vadosos, crecimientos espeleotémicos, cementos gravitacionales, meniscos, coronas fibrosas, cristalarias y rellenos de grietas con crecimiento centrípeto de la talla de los cristales de calcita. Evidentemente estos cementos se asocian con la circulación de soluciones descendentes en ambientes vadosos (Esteban, 1976; Purser, 1980; Goudie, 1983; Esteban y Klappa, 1983). Estos procesos de lavado del carbonato en los horizontes superiores y precipitación por debajo se asocian con condiciones semiáridas.

Se ha podido constatar que estas condiciones de desecación tienen lugar alternativamente después de una etapa de mayor humedad e incremento de la actividad biológica. Concretamente en el caliche brechoide, es frecuente encontrar la repetición de una microsecuencia constituida por tres términos: laminación orgánica, desecación y precipitación de cementos vadosos. La actividad biológica intensa indica condiciones semihúmedas y la repetición de ciclos de disolución precipitación de carbonato indica condiciones áridas-semiáridas (Raghavan y Courty, 1987).

c) *Meteorización y erosión de los perfiles de caliche por exposición subaérea.* Un rasgo frecuente en los perfiles analizados es la existencia, localmente, de canales erosivos que truncan las facies de techo. Estos efectos pueden estar en relación con un incremento de la aridez en zonas áridas y semiáridas, lo que trae consigo la disminución de la actividad biológica, una menor infiltración de agua por el encostramiento y la compactación superficial; todo ello favorece una mayor escorrentía superficial que activa procesos erosivos (Fedoroff *et al.*, 1989). A veces, también son frecuentes los procesos de removilización de fragmentos de la propia costra y los rasgos de disolución ligada a raíces, una vez litificado el carbonato. Por tanto es posible que se produzca la exposición subaérea de estos carbonatos, comenzando los procesos de meteorización representativos de las fases iniciales de generación de nuevos suelos, cuya roca madre es el propio caliche (Alberto *et al.*, 1983).

Ahora bien, esta secuencia de estadios (Fig. 5) se ve interrumpida en el tiempo, ya que funciona de modo discontinuo alternando con las fases de aluvionamiento. Esta alternancia entre períodos de aluvionamiento y de edafogénesis, motivada por oscilaciones climáticas, permite establecer una cronosecuencia en los caliches desarrollados sobre las terrazas del Pleistoceno inferior de la cuenca baja del río Cinca. Durante las etapas de mayor aridez, que coincidieron con las de sedimentación detrítica, no se destruyeron los indicadores de la actividad edáfica debido a la estabilidad geo-

morfológica que presentaba un modelado en terrazas encajadas. Los perfiles de caliche, en esta situación, solamente se ven afectados por procesos poco activos de redistribución y reestructuración del carbonato. Esta disposición facilita la superposición de rasgos edafogénicos que dan lugar a perfiles de caliche de diferente grado de desarrollo en función de la edad. Mien-

tras los niveles de glaciares y terrazas más modernos del Pleistoceno inferior, en la cuenca baja del río Cinca, presentan estadios evolutivos incipientes, los más antiguos han sido objeto de varios ciclos de edafogénesis que dieron lugar al desarrollo de perfiles muy evolucionados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberto, F., Gutiérrez, M., Ibáñez, M.J., Machín, J., Meléndez, A., Peña, J.L., Pocoví, A. y Rodríguez, J. (1983): El piedemonte pliocuaternario en el sector central pirenaico (Huesca y Lérida). *Geographicalia*, 18: 109-126.
- Alberto, F., Gutiérrez, M., Ibáñez, M.J., Machín, J., Peña, J.L., Pocoví, A. y Rodríguez, J. (1984): *El Cuaternario de la depresión del Ebro en la región aragonesa. Cartografía y síntesis de los conocimientos existentes*. Universidad de Zaragoza-Estación Experimental de Aula Dei: 217 p. Zaragoza.
- Allen, J.R.L. y Wright, V.P. (1989): *Paleosols in siliciclastic sequences*. Postgraduate Research Institute for Sedimentology. University of Reading: 98 p.
- Aristarain, L.F. (1971): Clay minerals in caliche deposits of Eastern New Mexico. *Jour. Geol.*, 79: 75-90.
- Birkeland, P.N. (1984): *Soils and geomorphology*. Oxford University Press: 365 p.
- Blümel, W.D. (1981): *Pedologische und geomorphologische Aspekte der Kalkkrustenbildung in Südwestafrika und Südspanien*. Karlsruher Geographische Hefte, Heft 10: 228 p.
- Blümel, W.D. (1982): Calcretes in Namibia and SE Spain relations to substratum, soil formation and geomorphic factors. In: *Aridic soils and geomorphic processes* (H. Yaalon, Ed.), *Catena Supplement*, 1: 67-82.
- Bomer, B. (1979): Les piedmonts du Bassin de l'Ebre (Espagne). *Méditerranée*, 3: 19-25.
- Bretz, J.H. y Horberg, L. (1949): Caliche in southeastern New Mexico. *Jour. Geol.*, 57: 491-511.
- Bullock, P. (1985): The role of micromorphology in the study of quaternary soil processes. In: *Soils and quaternary landscape evolution* (J. Boardman, Ed.), John Wiley / Sons Ltd.: 45-68.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G. y Tursina, T. (1985): *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications: 152 p. Wolverhampton.
- Calvet, F. (1982): Constructive micrite envelopes developed in vadose continental environment in Pleistocene eolianites of Mallorca (Spain). *Acta Geol. Hisp.*, 17: 169-178.
- Chorley, R.J., Schumm, S.A. y Sugden, D.E. (1984): *Geomorphology*. Methuen: 605 p.
- Esteban, M. (1976): Vadose pisolite and caliche. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 60: 2048-2057.
- Esteban, M. y Klappa, C.F. (1983): Subaerial Exposure Environment. In: *Carbonate depositional environments* (P.A. Scholle, D.G. Bubout y C.H. Moore, Eds.), *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 33: 1-55.
- Fedoroff, N., Courty, M.A. y Thompson, M.L. (1989): Micromorphological evidence of paleoenvironmental change in Pleistocene and Holocene paleosols. In: *Proceedings VIII International Meeting on Soil Micromorphology*, San Antonio, Texas (en prensa).
- Freytet, P. (1984): Les sédiments lacustres carbonatés et leurs transformations par émergence et pédogenèse. Importance de leur identification pour les reconstructions paléogéographiques. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 8: 223-247.
- Gile, L.H., Peterson, F.F. y Grossman, R.B. (1965): The K horizon: a master soil horizon of carbonate accumulation. *Soil Science*, 99: 74-82.
- Gile, L.H., Peterson, F.F. y Grossman, R.B. (1966): Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Science*, 101: 347-360.
- Gile, L.H., Hawlwy, J.W. y Grossman, R.B. (1981): *Soils and geomorphology in the Basin and Range area of Southern New Mexico-Guidebook to the Desert Project*. Memoir 39: 222 p. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources.
- Gómez-Miguel, V. (1988): Génesis y morfología de las acumulaciones calizas. *An. Edafol. y Agrob.*, 47: 151-170.
- Goudie, A. (1972): On the definition of calcrete deposits. *Z. Geomorph. N.F.*, 16: 464-468.
- Goudie, A. (1983): Calcrete. In: *Chemical sediments and Geomorphology*, (A. Goudie y K. Pye, Eds.). Academic Press, 93-131.
- James, N.P. (1972): Holocene and pleistocene calcareous crust (caliche) profiles: criteria for subaerial exposure. *Jour. Sed. Petrol.*, 42: 817-836.
- Juliá, R. y Calvet, F. (1983): Descripción e interpretación de las texturas y microtexturas de caliches recientes del campo de Tarragona y Penedés (Catalunya). In: *Libro Jubilar J. M. Ríos, T. III. Contribuciones sobre temas generales*. I.G.M.E.: 61-96.
- Klappa, C.F. (1979): Lichen stromatolites: criterion for subaerial exposure and a mechanism for the formation of laminar calcretes (caliche). *Jour. Sed. Petrol.*, 49: 387-400.
- Machette, M.N. (1985): Calcic soils of the southwestern United States. In: *Quaternary soils and geomorphology of the American Southwest* (D.L. Weide, Ed.). *Geol. Soc. Amer.*, Special Paper, 203: 1-21.
- Meléndez, A. y Sancho, C. (1987): Algunas microfacies características de las costras calcáreas de la depresión del Ebro. *VII Reunión sobre el Cuaternario A.E.Q.U.A. Santander*: 291-294.
- Mensua, S. (1964): Sobre la génesis de los glaciares del valle del Ebro y su posterior evolución morfológica. *XX Congreso Internacional de Geografía Reino Unido*: 191-195.
- Netterberg, F. (1969): The interpretation of some basic calcrete types. *South African Arch. Bull.*, 24: 117-122.
- Peña, J.L. y Sancho, C. (1988): Correlación y evolución cuaternaria del sistema fluvial Segre-Cinca en su curso bajo (Prov. de Lérida y Huesca). *Cuaternario y Geomorfología*, 2: 77-83.
- Porta, J., Boixadera, J., Herrero, J., Bosch, A., Herrero, C., López-Acevedo, M., Roca, J. y Rodríguez, R. (1989): Suelos de

- secano en zona semiárida. *XVI Reunión de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo Lérida*: 91 p.
- Purser, B.H. (1980): *Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents*. Tome I. Publications de l'Institut Français du Pétrole. Société des Editions Technip: 367 p.
- Quirantes, J. (1978): *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de Los Monegros*. Institución Fernando El Católico: 207 p. Zaragoza.
- Raghavan, H. y Courty, M.A. (1987): Holocene and Pleistocene pedo-sedimentary environments in the Thar desert (Didwana, India). In: *Soil Micromorphology* (N. Fedoroff, L.M. Bresson y M.A. Courty, Eds.): 639-646. Association Française pour l'étude du Sol.
- Reeves, C.C. (1976): *Caliche: Origin, classification, morphology and uses* Estacado Books, Lubbock: 233 p.
- Riba, O., Reguant, S. y Villena, J. (1983): Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. In: *Libro Jubilar J.M. Ríos*, Tomo II: 131-159. I.G.M.E.
- U.S. Department of Agriculture (1988): Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. R. E. Krieger Publishing Company: 754 p. Malabar.
- Sancho, C. (1991): *Geomorfología de la Cuenca Baja del Río Cinca*. Tesis Univ. Zaragoza: 743 p. (Inédita).
- Sancho, C. (1991): *Geomorfología de la Cuenca Baja del Río Cinca*. Instituto de Estudios Altoaragoneses: 177 p. Huesca. (Edición microficha).
- Sancho, C. y Meléndez, A. (1984): Las costras calcáreas cuaternarias del Bajo Cinca (Prov. de Huesca). *Bol. Geol.Min.*, 95: 476-483.
- Sancho, C. y Benito, G. (1991): La utilización de secuencias morfogenéticas como criterio de correlación geomorfológica en el sector centro-oriental de la Depresión del Ebro. *II Reunión del Cuaternario Ibérico* (en prensa) Madrid.
- Verrecchia, E. (1987): Le contexte morpho-dynamique des croûtes calcaires: apport des analyses séquentielles à l'échelle microscopique. *Z. Geomorph. N. F.*, 31: 179-193.
- Vogt, T. (1984): Problèmes de genèse des croûtes calcaires quaternaires. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 8: 209-221.
- Watts, N.L. (1978): Displacive calcite: evidence from recent and ancient calcretes. *Geology*, 6: 699-703.
- Watts, N.L. (1980): Quaternary pedogenic calcretes from the Kalahari (southern Africa): mineralogy, genesis and diagenesis. *Sedimentology*, 27: 661-686.
- Wright, V.P. (1988): A genetic classification of ancient and modern calcretes based on microstructure. En: *Abstracts of 9th European Regional Meeting I.A.S.* (R. Swennen, Ed.): 225-226. Leuven.
- Wright, V.P., Platt, N.H. y Wimbledon, W.A. (1988): Biogenic laminar calcretes: evidence of calcified root-mat horizons in paleosols. *Sedimentology*, 35: 603-620.
- Zuidam, R.A. Van (1976): *Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain*. I.T.C. Enschede: 211 p.

Recibido el 10 de septiembre de 1991  
Aceptado el 10 de enero de 1992