

# Estudio de los suelos forestales de la Depresión Central Catalana.

Victoriano Ramón Vallejo Calzada

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

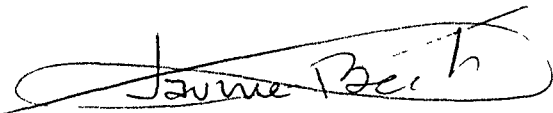
UNIVERSIDAD DE BARCELONA

FACULTAD DE BIOLOGIA

ESTUDIO DE LOS SUELOS FORESTALES  
DE LA  
DEPRESION CENTRAL CATALANA

Vº Bº

EL DIRECTOR,

A handwritten signature in black ink, reading "Jaime Bech", is written over a horizontal line.

Tesis presentada por  
Victoriano Ramón Vallejo Calzada  
para optar al grado de Doctor.  
Dirigida por el Profesor  
Dr. D. Jaime Bech Borrás.

Barcelona, curso 1982-83.



A la Montse, a qui aquesta tesi  
pertany tant com a mí.



## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. J. Bech, por haberme dirigido, estimulado y asistido continuamente; por la cuantiosa bibliografía que ha puesto a mi disposición, y por haber posibilitado el presente trabajo con su interés y esfuerzo por el desarrollo de la Edafología en la Facultad de Biología.

Al Dr. A. Caballero que me ha brindado sus profundos conocimientos sobre el funcionalismo de los suelos, así como por haber sido el fundador y mantenedor durante muchos años de los estudios edafológicos en Cataluña.

Al Dr. P. Bottner del Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques Louis Emberger de Montpellier, por la crítica y consejos aportados.

A R. Josa, del Laboratorio de Suelos de la Escuela de Ingenieros Técnicos Agrícolas, que me ha mostrado el lado geológico de los suelos y con el que he tenido un provechoso intercambio de experiencias.

A A. Hereter, del grupo de Edafología, por la ayuda prestada en la realización de análisis.

A E. Ballbé, del Departamento de Edafología de la Facultad de Farmacia, por su ayuda en la interpretación de los difractogramas de arcillas.

A L. Tapia, del Departamento de Fisiología Vegetal, por la creación del programa "Edatra" para esta tesis, y por las diversas ayudas prestadas en el trabajo con ordenador.

A los compañeros del grupo de Edafología: A. Escuredo, C. Arribas, M. Campdepadrós, F. Canalias, M. Jorba, R. Pons y J. M<sup>a</sup> Vidal, por su ayuda en incontables ocasiones.

A los compañeros del Laboratorio de Fisiología Vegetal y en especial a R. Simonneau que ha hecho posible el funcionamiento continuado del instrumental científico del Departamento.

Al Dr. R. Masalles, del Departamento de Botánica de la Facultad de Biología, que me ha ayudado en la identificación de plantas y en el comentario de los aspectos relacionados con la vegetación.

Al Dr. F. Calvet, del Dep. de Petrología de la Fac. de Geología, por su colaboración en el reconocimiento de las rocas y su denominación.

Al Dr. J. Ocaña, de la Cátedra de Bioestadística de la Fac. de Biología, por su ayuda en la elección de métodos estadísticos.

Al Dr. J. J. Pueyo, del Laboratorio de Geoquímica de la Fac. de Geología, que me ha ayudado en el reconocimiento de los yesos.

Al Dr. J. Calvet, del Dep. de Geomorfología de la Fac. de Geología, por su colaboración en los aspectos geomorfológicos.

Al Dr. A. Travería, del Servicio de Difractometría de la Fac. de Geología, que ha posibilitado el estudio por rayos X de los minerales de arcilla. También a Tomás Moriel que ha pasado las muestras y obtenido los difractogramas.

A las Dras. M. Baucells, G. Lacort y M. Roura del Servicio de Espectroscopía de la Universidad de Barcelona, por las facilidades prestadas en la realización de análisis de absorción atómica y fotometría de llama.

A M. Berbel, del Dep. de Fisiología Vegetal, por la ayuda prestada en el manejo del ordenador.

A C. Ruíz-Altaba que ha realizado la clasificación de los gasterópodos.

A F. Fort que ha colaborado en la distinción de las mas miceliarias.

A P. Rovira por la realización de los dibujos de la presente memoria.

A J. Saña, del Dep. de Química de la Escuela de Ingenieros Técnicos Agrícolas, por la colaboración prestada en la metodología del humus.

A I. Márquez por su colaboración mecanográfica.

A M. Vall que, además de mecanografiar y componer la tesis, ha tenido que descifrar los manuscritos.

A Iván Vallejo, por la paciencia y comprensión demostradas.

La presente tesis se ha realizado en el Departamento de Fisiología Vegetal de la Facultad de Biología.





A C. Ruíz-Altaba que ha realizado la clasificación de los gasterópodos.

A F. Fort que ha colaborado en la distinción de las masas miceliales.

A P. Rovira por la realización de los dibujos de la presente memoria.

A J. Saña, del Dep. de Química de la Escuela de Ingenieros Técnicos Agrícolas, por la colaboración prestada en la metodología del humus.

A I. Márquez por su colaboración mecanográfica.

A M. Vall que, además de mecanografiar y componer la tesis, ha tenido que descifrar los manuscritos.

A Iván Vallejo, por la paciencia y comprensión demostradas.

La presente tesis se ha realizado en el Departamento de Fisiología Vegetal de la Facultad de Biología.



## I N D I C E

INTRODUCCION . . . . .	1
OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO . . . . .	11
EL MEDIO FISICO . . . . .	15
- Delimitación geográfica . . . . .	15
- Clima . . . . .	19
- Geología . . . . .	29
- Vegetación . . . . .	37
ESTUDIO DE LOS SUELOS . . . . .	43
- Métodos . . . . .	45
- Identificación de los minerales de arcilla . . . . .	55
- La clasificación de los suelos . . . . .	57
- Resultados . . . . .	63
. Suelos fersialíticos . . . . .	63
. Suelos carbonatados . . . . .	95
. Suelos yesíferos . . . . .	111
. La actividad biológica . . . . .	117
- Síntesis de la tipología y la génesis de los suelos estudiados . . . . .	122
- Las relaciones entre los suelos y las especies arbó- reas . . . . .	127
ESTUDIO DE LA MATERIA ORGANICA . . . . .	129
- Los horizontes orgánicos . . . . .	129
- El perfil orgánico . . . . .	137
- Extracción y fraccionamiento de la materia orgánica .	183
- Tipificación del humus . . . . .	223
CONCLUSIONES . . . . .	229
BIBLIOGRAFIA . . . . .	235
ANEXO I. TABLAS DE RESULTADOS. SUELOS FERSIALITICOS SOBRE CALIZAS . . . . .	275
ANEXO II. TABLAS DE RESULTADOS. SUELOS FERSIALITICOS PAR- DOS SOBRE ARENISCAS CALCAREAS . . . . .	377

ANEXO III. TABLAS DE RESULTADOS. SUELOS CARBONATADOS SOBRE	
ARENISCA CALCAREA . . . . .	403
ANEXO IV. TABLAS DE RESULTADOS. SUELOS CARBONATADOS SOBRE	
MATERIAL MARGOSO . . . . .	435
ANEXO V. TABLAS DE RESULTADOS. SUELOS CARBONATADOS SOBRE	
CALCARENITAS . . . . .	547
ANEXO VI. TABLAS DE RESULTADOS. SUELOS YESIFEROS . . . . .	583

## I N T R O D U C C I O N

Desde Dokuchaev, se reconoce la dependencia de las propiedades y evolución de los suelos de cinco factores principales (Yaalon, 1960): clima, tipo de material parental, topografía, factores biológicos y tiempo.

Este esquema es aplicable asimismo a la descomposición de la materia orgánica en general y a la humificación y mineralización en particular (Kononova, 1961; Duchaufour, 1977).

En la actualidad, aún no resuelto completamente el conocimiento estructural del humus, hay opiniones aparentemente contradictorias sobre los mecanismos de la humificación y la importancia relativa de los diferentes factores.

A partir de los estudios consultados, se describen a continuación las principales ideas sobre los factores de formación del humus.

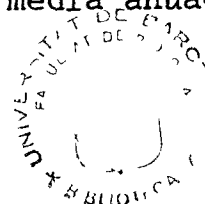
### El factor clima

La acción directa del clima sobre la descomposición de la materia orgánica se puede dividir en dos elementos (Duchaufour, 1977): 1) las condiciones climáticas generales y 2) los factores locales que modifican las condiciones climáticas regionales, como son la exposición, presencia de nivel freático superficial y las características del suelo, como aireación, conductividad térmica, régimen hídrico interno, etc..

Existe también la influencia indirecta del clima sobre el humus a través de la vegetación.

Volobuev (citado por Kononova, 1961, 1975) relaciona la cantidad de humus en el suelo con un factor determinado empíricamente a partir de la precipitación y temperatura media anuales:

$$Hf = 43.2 \log P - T$$



Aplicando este factor a los suelos rusos, establece una distribución zonal de las reservas de humus con un máximo en climas intermedios (chernosems), y mínimos en los extremos frío y seco.

Pouget (1980) constata a escala regional (Argelia) la disminución en el contenido de materia orgánica de los suelos con la aridez. Bottner (1982) atribuye estas variaciones en zonas áridas y semiáridas a la diferente producción vegetal existente.

Kononova (1961, 1975) a partir de contajes de microorganismos en suelos de la Unión Soviética, concluye que la actividad de los microorganismos aumenta en el sentido norte sur, siendo máxima en la zona árida (en la URSS) de los serosems. De la comparación de la actividad microbiana y el contenido en humus, observa que los máximos de humus corresponden a una actividad biológica moderada, en la medida que la acumulación es la diferencia entre la formación y la descomposición de las sustancias húmicas.

Hay un incremento de la actividad microbiana de 0°C hasta 35°C; a temperaturas superiores hay una supresión de la descomposición microbiana de la materia orgánica (Kononova, 1961).

La misma autora afirma que la actividad de los microorganismos se inicia para contenidos en humedad extremadamente bajos. Según Stanford y Epstein (1974), la máxima mineralización de nitrógeno se produce entre potenciales matriciales de 1/3 a 0.1 bar.

Kononova (1961, 1975) concluye lo siguiente: la mayor intensidad en la descomposición de la materia orgánica se observa a temperaturas de 30°C y humedad del 60-80% de la capacidad máxima de retención de agua; un aumento, o disminución, simultáneo de temperatura y humedad, reduce la intensidad de descomposición de la materia orgánica; con el incremento de uno de los factores y la simultánea disminución del otro, el proceso de descomposición está controlado por el factor limitante.

Un elemento climático que ha recibido particular atención es la sucesión de períodos de humedad contrastada que, según Kono-

nova (1961, 1975) y Duchaufour (1977), favorecen la maduración del humus, es decir, su polimerización y estabilización, tipificadas en los suelos de estepa (chernosems). Sin embargo, Duchaufour (1977) especifica que los contrastes climáticos favorecen la descomposición de la materia orgánica poco evolucionada.

Del estudio de muestras incubadas y en condiciones naturales, Agarwal et al. (1971) afirman que el desecado y rehumectación provocan un aumento en la mineralización del C y N; las causas que consideran son la exposición de superficies frescas de materia orgánica por el desecado y la alteración por el calor de materia orgánica poco biodegradable.

En cuanto a los factores locales, a parte de los conocidos efectos de la hidromorfía y de la exposición en los suelos de montaña, destacan los trabajos de Miderman (1960) que atribuyen al régimen de humedad del suelo el papel preponderante en el desarrollo de mull y mor en suelos ácidos estudiados en Holanda. Cabidoche (1979) resalta la importancia del tipo de circulación hídrica en suelos del Pirineo, condicionante básico en la formación de mull o moder/mor.

En los estudios sobre landas en Bretaña, Gloaguen et al. (1980) observan la mayor descomposición en las zonas de pendiente con entrada lateral de agua y, en función de ello, la desaparición de la hojarasca de Calluna vulgaris más rápida que la de Ulex spp.

#### Papel del medio mineral

El sustrato litológico interviene en la descomposición de la materia orgánica a través de su expresión en el desarrollo del suelo. Así, en los primeros estadios de edafogénesis hay una relación directa entre los restos orgánicos y la roca madre.

De entre las propiedades del medio mineral, cabe destacar (Duchaufour, 1977): la reacción del suelo, la saturación de bases y el tipo de catión dominante, la proporción de arcillas y

su naturaleza, la presencia de hierro activo, de caliza activa y de alúmina amorfa.

De manera general, la humificación es más activa, al igual que la actividad microbiana, a pH neutros o poco ácidos que en suelos muy ácidos (Duchaufour, 1977). Stott et al. (1983) observan una mayor mineralización (pérdida de  $\text{CO}_2$ ) en suelos neutros y alcalinos que en los ácidos.

Según Ghosh y Schnitzer (1980), los materiales húmicos son químicamente menos reactivos entre pH de 5.0 y 6.5, así como para altas concentraciones de electrolitos; estos hechos explicarían en parte la estabilidad del humus en los suelos. También relacionan la estructura de los AH y AF con la concentración de muestra, pH y concentración de electrolitos: para baja concentración de humus, pH no excesivamente ácido y concentración de sales neutras moderadas (0.050 M), las moléculas húmicas son coloides lineales flexibles. En los suelos son comunes estas condiciones.

Kononova (1961, 1975) relaciona el papel del calcio con la regulación que ejerce sobre el pH. Para suelos ricos en sodio, distingue los casos en que la concentración no es excesiva, donde el efecto dispersante del Na favorece la degradación del humus y los casos en que la alcalinización se desarrolla fuertemente (solonetz) en los que la degradación de la estructura consiguiente inhibe la evolución de la materia orgánica.

Según Gallali (1980), la humificación es lenta en suelos salinos.

La importancia de la fracción mineral coloidal se explica por la fijación de la materia orgánica por las arcillas que limita su degradabilidad por los microorganismos (Kononova, 1975).

Las sustancias húmicas generalmente enlazan con las arcillas a través de cationes metálicos polivalentes (Schnitzer y Kodama, 1977); el proceso depende de la geometría y química de la superficie de arcilla, el pH del sistema y el contenido en agua.



Los mismos autores citan la adsorción interlaminar de AF y AH de bajo peso molecular en arcillas expansibles.

Vintila et al. (citados por Kononova, 1975), establecen una relación directa entre los contenidos en arcillas y humus en suelos de cultivo de Rumania. En el mismo sentido, Pouget (1980) relaciona el contenido de materia orgánica de los suelos del sur de Argelia con la textura.

Duchaufour (1977) destaca el papel catalítico de las arcillas expansibles en la biosíntesis de compuestos húmicos poli-condensados muy estables. Según Mortland y Halloran (1976), las esmectitas férricas, por su carácter oxidante, comportan la polimerización de benceno y fenoles adsorbidos.

Young y Spycher (1979) explican la poca extractabilidad del humus ligado a arcillas por la posición de éstas en el plasma edáfico, en el interior de los microagregados, y por tanto, poco accesibles a los microorganismos.

En suelos ácidos, la presencia de hierro amorfo ligado a la superficie de arcillas puede orientar la humificación hacia mull, por insolubilización de los precursores solubles ácidos (Vedy y Jacquín, 1972; Toutain, 1974).

La caliza activa, finamente dividida, tiene un papel preponderante en la humificación (Toutain, 1974; Chouliaras et al., 1975). El modo de actuación se concreta en dos vías: la insolubilización de los precursores solubles, y el recubrimiento de la materia orgánica fresca o poco descompuesta por una película protectora de caliza que dificulta su transformación ulterior. El resultado es una acumulación importante de materia orgánica.

La alúmina amorfa (Duchaufour, 1977), de gran reactividad, provoca la insolubilización y estabilización de la materia orgánica (andosols).

## El factor vegetación

Velasco (1975) realiza una revisión del papel de la vegetación en los procesos edáficos.

Kononova (1961, 1975), distingue tres características de los residuos vegetales en cuanto a su participación en la formación del humus: la naturaleza de la vegetación, la cantidad de aporte y su modo de incorporación al suelo.

Duchaufour (1977) sintetiza la acción de la vegetación en su contribución a la nutrición nitrogenada de los microorganismos edáficos. Dos propiedades expresan dicho papel: la cantidad y naturaleza de las sustancias hidrosolubles y el contenido en nitrógeno (relación C/N). En función del C/N, clasifica las hojarascas, y las especies de que provienen, en: mejorantes, C/N < 25; intermedias, C/N 30-45 y acidificantes, C/N > 60. El contenido en nitrógeno de las hojas también depende de la riqueza del mismo en el suelo y la edad de la hoja (Lousier y Parkinson, 1978). Los hidrosolubles tienen un comportamiento paralelo al C/N (Jung et al., 1968); en las especies acidificantes, los fenoles solubles tienen una acción secuestrante de las proteínas (Handley, 1961). Gallardo et al. (1975) observan la mayor degradabilidad de los hidrosolubles de Fagus sylvatica respecto a los de Calluna vulgaris. Bruckert y Dommergues (1966) atribuyen los efectos inhibidores de la descomposición en humus mor a la acidez y la toxicidad de los polifenoles. Según Bauzon et al. (1969), las hojarascas de coníferas inhiben la actividad microbiana. Por el contrario, Del Cura y Polo (1981), a partir de estudios de incubación, atribuyen una mayor capacidad de mineralización a los hidrosolubles de enebro que a los de encina.

Bailly et al. (1975, 1977) obtienen la formación por microorganismos edáficos de sustancias para-húmicas en cultivos de fenoles simples.

Según Witkamp (1966), la característica esencial de la vegetación en la humificación es la proporción entre polisacáridos,

ligninas y proteínas.

Kononova y Alexandrova (1973) distinguen dos fases: 1) en las primeras etapas de la humificación, intervienen prioritariamente los componentes más lábiles de las plantas; 2) en estadios posteriores, son los tejidos lignificados más importantes, pero son los productos de la degradación profunda de las ligninas los que forman parte de los AH y no grandes fragmentos de las mismas.

Algunos autores centran la importancia de la vegetación en el contenido en ligninas de los aportes al suelo (entre ellos, Martin et al., 1980; Stott et al., 1983).

El efecto (negativo) en la humificación producido por la sustitución de la vegetación de frondosas por Coníferas, Ericáceas o por otras comunidades de degradación, ha sido abundantemente señalado (Albareda y Velasco, 1965; Velasco, 1968; Bauzon et al., 1969; MacLean y Wein, 1978; González, 1980; Velasco y Del Río, 1980).

Singh y Gupta (1977) refieren la mayor descomposición de caducifolios respecto a Coníferas a los bosques de zonas templadas.

De la comparación de los perfiles orgánicos de suelos bajo encinar, garriga y Brachypodium ramosum, Bottner (1970) sólo encuentra diferencias en los horizontes de superficie de los dos primeros casos respecto a la vegetación pratense de degradación, siendo básicamente equivalentes en profundidad.

Velasco (1968) señala la mejora del humus forestal por la introducción de pratenses en el sotobosque.

Según Faille (1975), la influencia del aclareo del bosque en la evolución del humus depende de la capacidad del suelo en mantener una vegetación herbácea.

Como caso aparte, Bachelier (1977) detecta ritmos en la humificación a temperatura y humedad constantes, no relacionados con variaciones en factores como la luz, presión atmosférica, mi-

croflora o parámetros químicos. El autor aventura las hipótesis de que se relacionan con la acción indirecta de la actividad solar o con fenómenos de origen eléctrico, ligados a la ionización del aire.

### El efecto combinado de los factores de la humificación

De la consideración conjunta de los factores de formación del humus, Duchaufour (1962, 1977) concluye que, salvo en los casos extremos de presencia de caliza activa o alúmina amorfa, la vegetación es el elemento determinante en la humificación. Según dicho autor, lo anterior se demuestra por: 1) la evolución convergente de los humus formados bajo una misma vegetación y sobre rocas madres diferentes (suelos análogos de Pallmann), 2) por el contrario, la influencia degradante que ejercen las comunidades vegetales secundarias, de substitución de la climax, sobre el humus.

Según Gallardo y García (1973), en las primeras fases de la evolución del suelo, los factores dominantes en la humificación son la mineralogía de la roca madre, el clima general y la naturaleza de la vegetación; en fases más avanzadas, el suelo substituye al material parental como factor de humificación y se hace preponderante el clima edáfico. En los estudios realizados en el oeste español, dichos autores destacan la importancia del material original sobre el resto de factores en la humificación.

Gloaguen et al. (1980), a partir de trabajos sobre landas de Bretaña, destacan la mayor importancia de las características del medio respecto a la especie vegetal en la descomposición de la materia orgánica.

Del estudio de la mineralización de N en el chaparral californiano, Marion et al. (1981) atribuyen el papel dominante al contenido en ligninas y/o al efecto inhibitor de la actividad microbiana por fitotoxinas, restando importancia a la relación C/N.

Bech et al. (1982) y Escuredo et al. (1982) en estudios

sobre suelos forestales del Montseny y Garraf-Collserola respectivamente, concluyen que para las condiciones climáticas relativamente constantes elegidas, el medio mineral tiene una influencia superior al tipo de vegetación en la humificación.

De la revisión bibliográfica expuesta, una primera observación que se puede extraer es que un proceso multivariable como la humificación, difícilmente se puede explicar en base a uno o dos factores, según un esquema de validez universal.



## OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

El presente trabajo aborda, en primer lugar, la caracterización de los suelos forestales de la Depresión Central Catalana como paso previo a la tipificación del humus y al estudio de sus factores de formación.

El término "suelos forestales" se ha tomado en sentido amplio, es decir, suelos que soportan arbolado o matorral alto (maquia) aunque sea de forma fragmentaria. Los perfiles siempre se han realizado bajo la zona de influencia directa (en cuanto a aporte de restos orgánicos) de la especie vegetal en cuestión.

Para el estudio de los factores de formación del humus, se han seleccionado los perfiles cubriendo al máximo las siguientes variables: condiciones climáticas, roca madre y tipo de vegetación forestal.

La topografía se ha procurado mantenerla constante, muestreando situaciones culminales para evitar aportes actuales. La variable "edad del suelo" no se ha podido considerar a priori pues es en parte una incógnita, aunque hayan hipótesis documentadas al respecto.

La primera variable se refiere a las condiciones climáticas y está estrechamente ligada a la situación geográfica, dentro de un marco relativamente homogéneo como es la Depresión Central Catalana. A partir de una prospección primaria que intenta cubrir toda la cuenca (sólo áreas culminales), se ha muestreado sobre las rocas madres existentes en cada zona y bajo las especies forestales o arbustivas más importantes en extensión; en algún caso se ha muestreado los horizontes superficiales bajo tipos de hojarasca diferente, para un mismo tipo de suelo y localidad. El estudio del factor vegetación lo concretamos en los aspectos cuantitativos y cualitativos de los aportes de restos vegetales epigeos como fuente más importante de materia prima en la humificación. No tenemos en cuenta los aportes de materia

orgánica a partir de las raíces, dado que requeriría toda una serie de técnicas específicas y que por otra parte, no parecen ser cuantitativamente muy importantes en estos sistemas forestales de sotobosque generalmente pobre. Tampoco se controlan otros efectos indirectos de la vegetación como su papel en el microambiente y dinámica del agua etc.. No todas las combinaciones de las citadas variables existen en la depresión. Por ejemplo, la variable vegetación es dependiente del clima. Asimismo, la litología tampoco presenta una distribución aleatoria, aunque su condicionante en este caso sea la historia geológica (ver en los capítulos correspondientes la distribución de los tipos de vegetación y de roca).

Puesto que las variaciones climáticas no son excesivas, exceptuando quizás las localidades extremas, el trabajo se centra en la comparación de las variables "composición y cantidad del aporte vegetal" y "roca madre" en cuanto a la tipología del humus. El tipo de humus se definirá tanto por su composición bioquímica, según el fraccionamiento clásico, como por el perfil orgánico, tipo de horizontes, relación C/N y reserva total en materia orgánica.

En función de los objetivos expuestos, el plan de trabajo consta de los siguientes apartados:

- 1º. Elección de las zonas de muestreo.
- 2º. Descripción macromorfológica de los perfiles y recogida de muestras.
- 3º. Estudio analítico de los suelos con especial atención a la distribución de los carbonatos. Las determinaciones analíticas se han seleccionado de acuerdo con las peculiaridades de cada tipo de suelo.
- 4º. Caracterización y clasificación de los suelos siguiendo los criterios de la Soil Taxonomy (1975) y C.P.C.S. (1967).
- 5º. Extracción y fraccionamiento de la materia orgánica co-



mo elemento básico en la tipificación del humus.

El número total de perfiles estudiados es de 71.

El presente trabajo se inscribe en la línea de estudio de las relaciones entre la tipología de los humus forestales y los factores de formación, iniciada en las tesis de licenciatura de Hereter (1981) y Escuredo (1982), y los trabajos de Bech et al. (1982) y Escuredo et al. (1982).



## E L M E D I O F I S I C O

### DELIMITACION GEOGRAFICA

El término Depresión Central Catalana se ha usado de forma distinta, según la especialidad de los diversos autores. En un sentido estratigráfico, los materiales depositados en la cuenca terciaria del Ebro se extienden, en su sector oriental, hasta la Sierra Transversal. El extremo norte se ha incorporado al edificio de los Pre-pirineos, lo cual hace que Riba (1979) establezca el límite de la Depresión en dicha zona prepirenaica, basándose en criterios tectónico-estratigráficos. De esta manera, la Depresión Central queda constituida por los sedimentos continentales de final del Eoceno y Oligoceno, añadiéndose los marinos eocénicos de la Plana de Vic, área de Manresa y Conca d'Òdena.

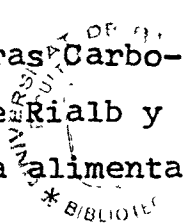
Desde un punto de vista más geográfico y biogeográfico (Braun-Blanquet y Bolós, 1957) hay dos elementos básicos que aconsejan restringir el área de la Depresión Central Catalana:

- Parte de la zona descrita arriba, es drenada en la actualidad por ríos que desembocan directamente al Mediterráneo (Llobregat, Ter, Francolí, etc.).
- Hay una cierta unidad climática y biogeográfica, limitada aproximadamente por la divisoria de aguas entre el Ebro y los ríos que fluyen directamente al mar.

Para el presente trabajo, hemos creído oportuno acogernos a esta última opción por representar una relativa homogeneidad en los factores edafogenéticos.

La Depresión Central Catalana así definida, comprende las tierras delimitadas por los siguientes relieves:

Al norte, los materiales mesozoicos de las sierras Carbonera, Sant Mamet y Montsec. Más al este, las sierras de Rialb y de Oliana y estribaciones de la Sierra de Querol que ya alimenta la cuenca del Cardener.



Hacia el sur, la Sierra de Llobera constituye la divisoria de aguas que sigue en la Dorsal de La Segarra. Las sierras del Tallat y Villauví separan la Conca de Barberà de la Depresión Central. Más al sur, la Sierra de la Llena y el Montsant nos llevan al Ebro, que a esta altura se abre paso a través de la Sierra Prelitoral por el Congost de Vinebre. Al SW, prácticamente sólo queda la depresión de Gandesà, entre la Prelitoral, que alcanza las estribaciones mesozoicas de los Ports de Beseit, y la línea divisoria con Aragón. Dicha divisoria constituye el límite occidental de la Depresión Central Catalana.

El territorio descrito comprende total o parcialmente las siguientes comarcas: Solsonès, Noguera, Anoia, Segarra, Segrià, Conca de Barberà, Garrigues, Ribera d'Ebre y Terra Alta.

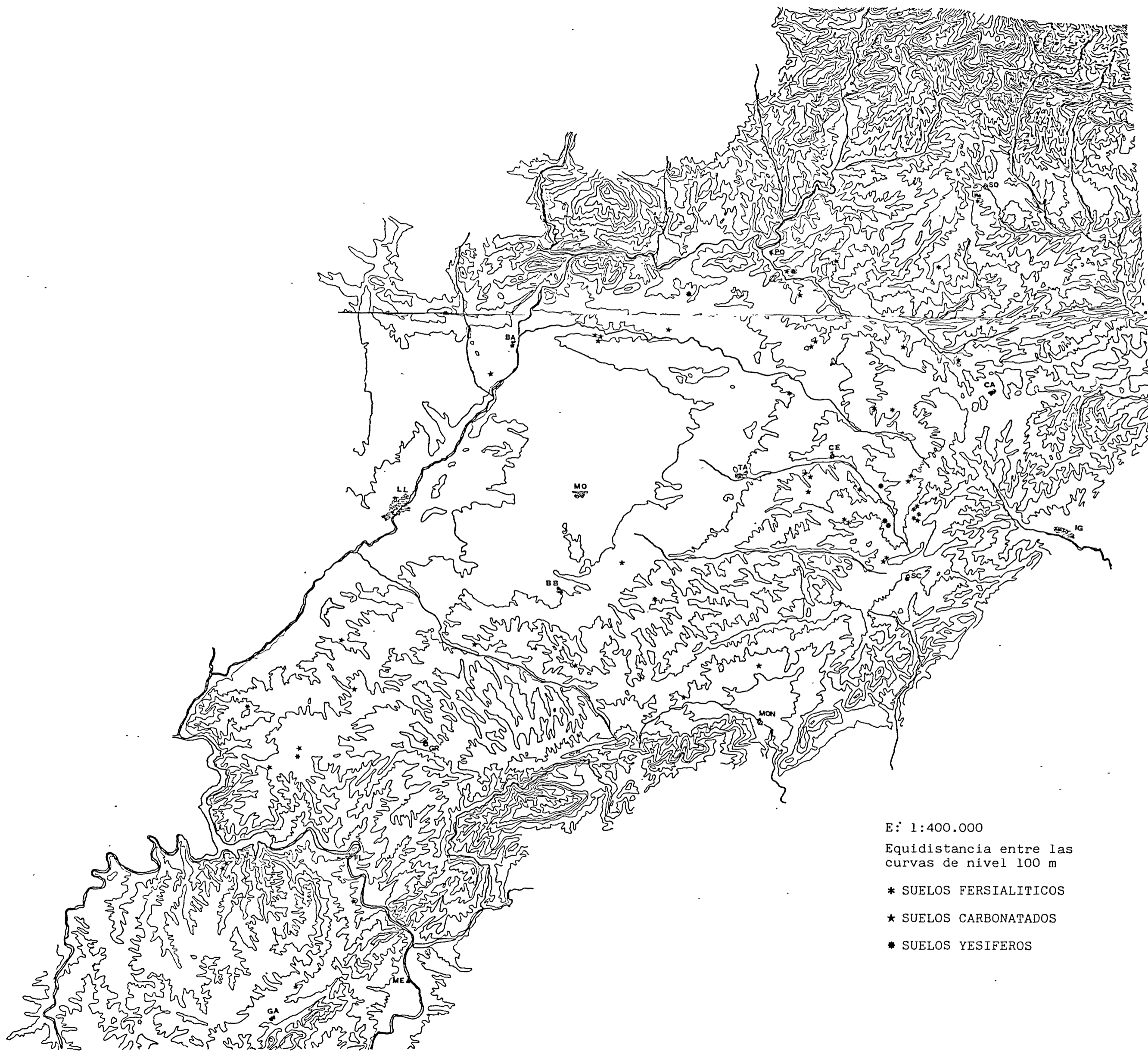


FIGURA nº 1.- Localización de los perfiles estudiados.

EL CLIMA

Las características climáticas de la Depresión del Ebro han sido estudiadas por Liso y Ascaso (1969). De este trabajo se extrae la información básica para la estimación del régimen de humedad de los suelos.

En la Depresión Central Catalana se dan las siguientes características climáticas:

- Una Aridez generalizada, con déficits hídricos estivales y hasta primaverales, que se acentúa de forma concéntrica hacia el W y S. La pluviometría varía de unos 750 mm. anuales en el extremo NE del área (estación de Solsona) hasta los 350 mm. del extremo SW en las proximidades de Soses. La evapotranspiración potencial, calculada por la fórmula de Thornthwaite, varía desde 700 mm. de Solsona a los 890 mm. de Soses.
- La temperatura aumenta de N a S, entre una media anual de 12°C de Solsona a los 16°C de Flix. Al norte de la comarca de Les Garrigues y Urgell, las temperaturas medias de los tres meses de invierno no son menores de 5°C, coincidiendo aproximadamente con la isoterma 13°C. Este parece ser un límite en la distribución de algunas especies vegetales termófilas.
- Los tipos de clima según la clasificación de Thornthwaite son (Liso y Ascaso, 1969): Subhúmedo-mesotérmico I para el extremo NE (estación de Solsona); Seco-subhúmedo-mesotérmico I, aureola a la altura de Ponts y hacia el Este; más cálido que el anterior: Seco-subhúmedo-mesotérmico II, aureola que desde Camarasa recorre el margen de la depresión en dirección al Altiplano de la Segarra, y que hacia el sur sigue el límite de la cuenca (estación de Vimbodi); Semiárido-meso-

térmico II que ocupa la parte central de la depresión y la mayor extensión, quedando dos enclaves de aridez máxima y temperaturas más elevadas: Semiárido-mesotérmico II, localizado en las áreas de Flix-Mora d'Ebre y Soses-Aitona respectivamente.

### El clima edáfico

Las características del suelo así como la topografía modifican las condiciones generales del clima a nivel local. Interesa pues una estimación del clima edáfico, como factor primordial en la edafogénesis y en la ecología vegetal. La inexistencia de medidas directas de humedad y temperatura del suelo, nos obliga a calcularlas a partir de los datos meteorológicos.

Se siguen los criterios de la Soil Taxonomy (1975) en la clasificación de los regímenes de humedad y temperatura. De acuerdo con dichos criterios, la sección de control de humedad se considerará totalmente seca cuando el suelo haya almacenado menos de 25 mm. de su humedad inicial, es decir, cuando P-ETP acumulada no llegue al citado valor. Si el suelo es superficial y tiene C.A.U. menor de 25 mm., se considerará totalmente seco cuando P-ETP acumulada sea menor a su C.A.U.. Estará "húmeda en alguna parte", cuando P-ETP acumulada esté entre 25 y 75 mm.. Es de destacar que para suelos con C.A.U. menor de 25 mm., no existe la situación de sección de control húmeda en alguna parte. Estará "húmeda en todas partes" cuando la reserva de agua supere los 75 mm. de la humedad inicial.

Se supone que el suelo no se deseca nunca más allá del punto de marchitez permanente (tensión de 15 bars).

Para el cálculo de la capacidad de agua utilizable (C.A.U.) se ha seguido la fórmula propuesta por Billaux (1978):

$$\text{C.A.U. del suelo \% volumen} = \text{C.A.U. de la tierra fina en peso} \times \frac{\% \text{ t. f.}}{100} \times D_a \text{ del suelo.}$$

en la que se supone despreciable el agua utilizable de las frac-

ciones de tamaño superior a 2 mm..

La C.A.U. de la tierra fina en peso se ha estimado por comparación a las medidas realizadas en otros suelos de propiedades equiparables de Cataluña, tomándose como valor promedio un 12%.

En cuanto a las densidades aparentes de la tierra fina, se han determinado los valores para unas muestras tipo: Horizontes  $A_0$ , horizontes minerales arcillosos poco carbonatados, limosos carbonatados, arenosos y yesíferos.

Se nos plantea un problema respecto a la estimación de las épocas en que la temperatura del suelo a 50 cm. de profundidad es de  $8^{\circ}\text{C}$  ó  $5^{\circ}\text{C}$ , a partir de los datos meteorológicos. Estos valores que suponen un umbral en la actividad de la raíz, son determinantes en la definición de los regímenes de humedad xérico y arídico que son precisamente los que interesan a la zona de estudio. Sabemos que, debido a la inercia térmica del suelo, la temperatura a 50 cm. en los meses de invierno será superior a la del aire. El incremento vendrá condicionado por la conductividad térmica del suelo, la presencia de hojarasca, cubierta vegetal, etc.. En este estudio hemos adoptado el incremento medido en los Campos Experimentales de la Facultad de Biología de Barcelona que es de aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$  en el mes más frío (enero).




En el comentario a cada perfil edáfico estudiado, se expone el régimen de humedad estimado a partir de un método gráfico basado en los propuestos por la Soil Taxonomy (1975) y por Billaux (1978). A modo de ejemplo, en las figuras nos 2 y 3 se presentan cuatro casos representativos.

Todos los suelos estudiados tienen un régimen arídico o xérico.

El régimen de temperatura del suelo, según la sistemática americana, es en la mayor parte del área estudiada de tipo térmico. Sólo para las estaciones de Cervera, Ponts y Solsona es méxico.



Leyenda de las gráficas de los regímenes de humedad del suelo

- P Precipitación.
- ..... ETP Evapotranspiración potencial según la fórmula de Thornthwaite.
- • T Temperatura media mensual.
- CAU Capacidad de agua utilizable del suelo.
- E Exceso de agua que, teóricamente, percola. Corresponde a  $P - ETP$  cuando la diferencia es mayor que 0 y la CAU está saturada.
- U Utilización de la CAU a partir de la época en que  $ETP > P$ .
- D Déficit: Momento en que se agota toda la reserva de la CAU y ETP se mantiene superior a P.
- R Recarga: Época en que  $P > ETP$  y el contenido en agua del suelo va creciendo, hasta que se llena toda la CAU.
-  Período durante el cual la sección de control de humedad está húmeda en todas partes.
-  Período en el que la sección control está parcialmente seca (o húmeda).
-  Período en el que la sección control está seca en todas partes.

Los valores de P, ETP y P se ha representado en el punto correspondiente al día 15 de cada mes y la grafía del régimen hídrico se ajusta proporcionalmente a la misma representación.

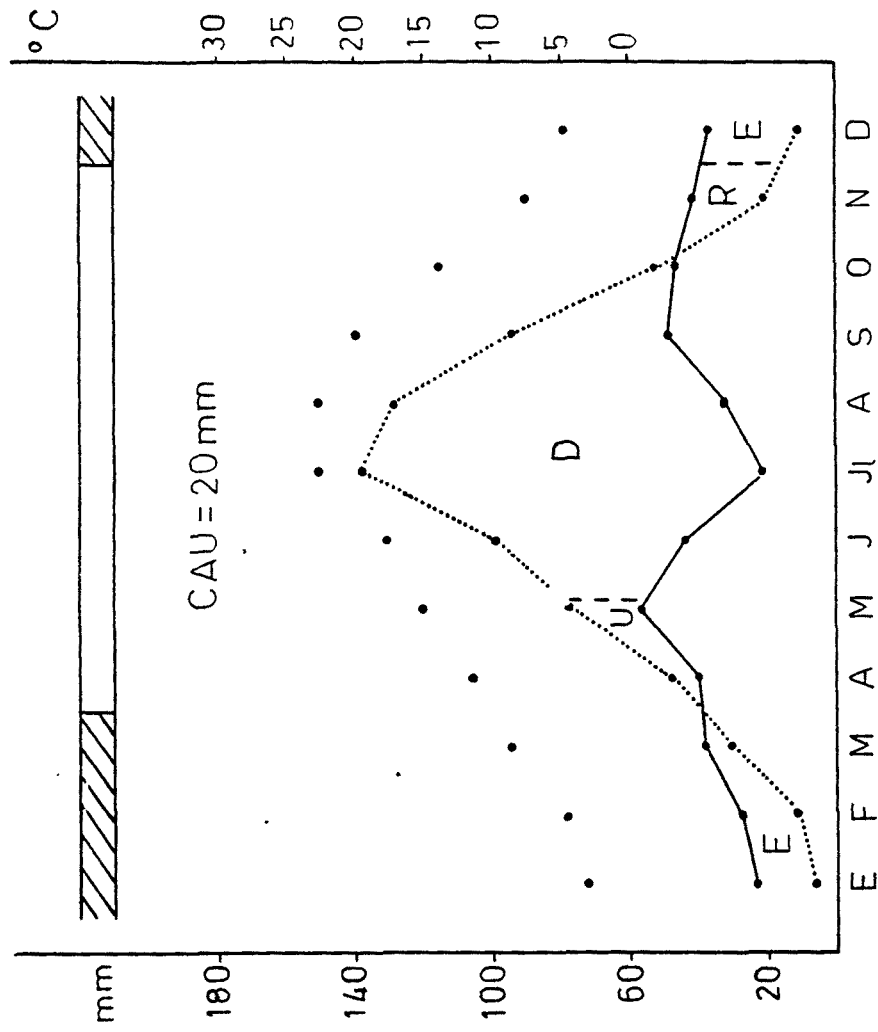
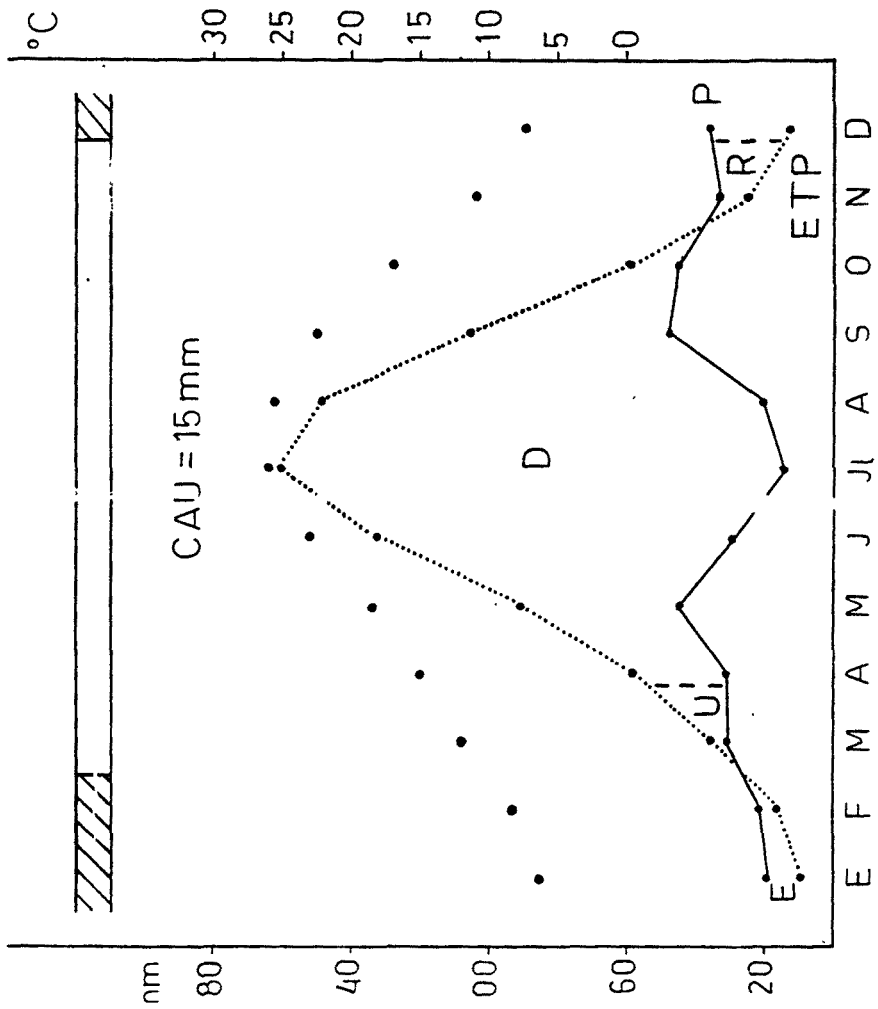


FIGURA nº 2.- Regímenes de humedad arídicos. A la izquierda, datos del perfil F8022 y estación meteorológica de Flix, corresponde al concepto central de arídico. A la derecha, datos del perfil F7962 y estación de Cervera, es régimen arídico próximo a xérico.

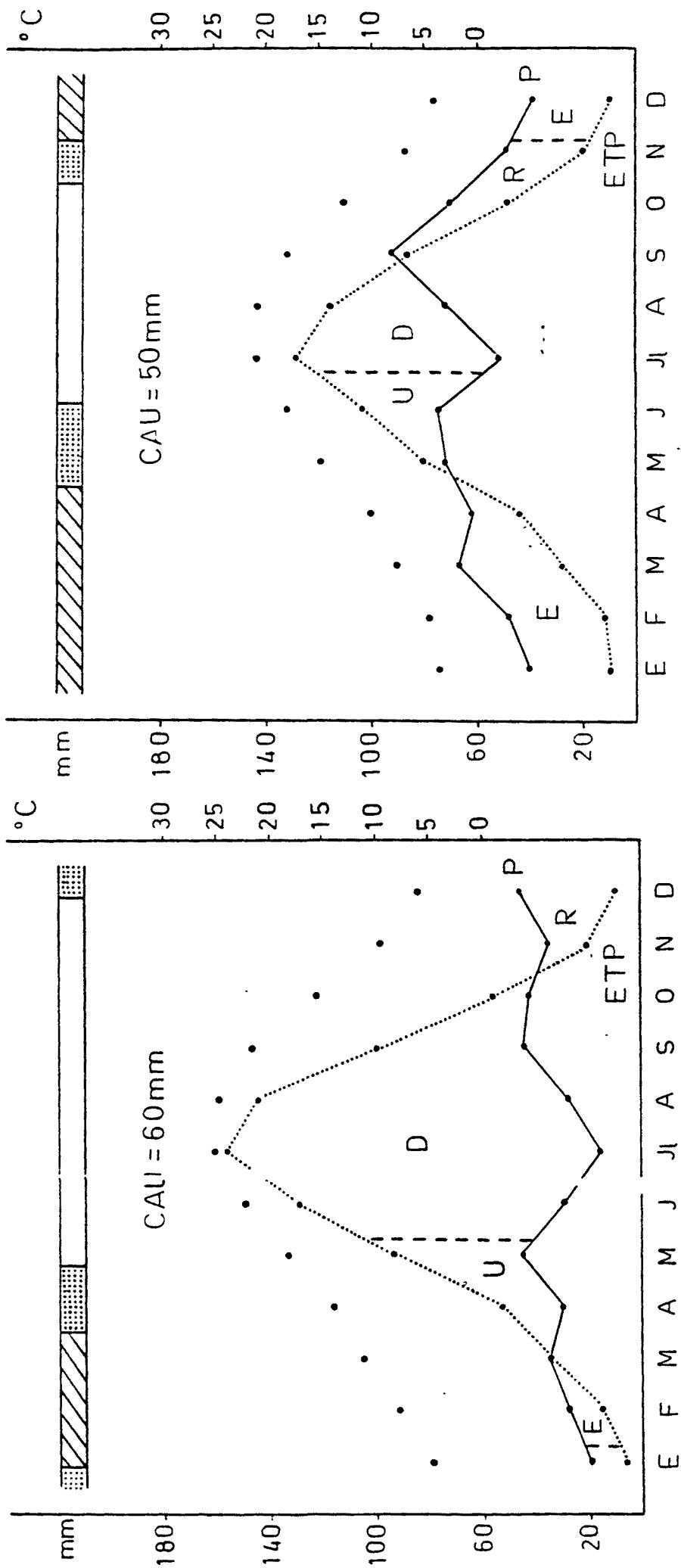


FIGURA nº 3.- Regímenes de humedad xérico. A la izquierda, datos del perfil F8102 y estación meteorológica de Utxesa; la relativamente alta CAU de este suelo amortigua la aridez climática. A la derecha los datos corresponden al perfil F8200 y la estación de Solsona; en este caso el clima determina totalmente el régimen de humedad.

La distribución de los regímenes de humedad arídico y xérico

Para la zona estudiada y a partir de los registros climáticos existentes, el límite entre los regímenes de humedad del suelo arídico y xérico viene condicionado por dos grupos de factores: 1) La capacidad de reserva de agua utilizable del suelo (C.A.U.), 2) la relación existente entre la época en que la  $T_{\text{s}}$  del suelo a 50 cm. es superior a  $8^{\circ}\text{C}$  y la diferencia  $P\text{-ETP}$ .

En principio, en las áreas de mayor déficit hídrico ( $\text{ETP}-P$ ), estimado a partir de los datos climáticos, será necesaria una superior capacidad de reserva de agua para la existencia de régimen de humedad xérico. Así tenemos que en el extremo húmedo del área, estación de Solsona, por pequeña que sea la capacidad de reserva de agua, sólo es  $\text{ETP} > P$  durante cuatro meses y por tanto no es suficientemente seco para régimen arídico. Por el contrario, en la gran parte de la depresión son necesarias capacidades de reserva de agua disponible superiores a 50 mm. para que el régimen sea xérico.

En las zonas de invierno frío, en que sólo a partir de marzo la  $T_{\text{s}}$  a 50 cm. supera  $8^{\circ}\text{C}$ , este período de actividad biológica coincide enseguida con la época en que  $\text{ETP} > P$  y por tanto, para que se cumpla el requisito de régimen xérico, será necesaria una mayor capacidad de agua que para los suelos de invierno más cálido para  $P$  equivalentes. Así tenemos que, por ejemplo, en el área de las estaciones de Borges Blanques y Balaguer se precisa una mayor capacidad de agua que en la de Flix o Utxesa para régimen xérico, aunque éstas últimas tienen mayor déficit hídrico anual.

En la tabla nº 1 se exponen los valores mínimos de C.A.U. y de profundidad del suelo necesarios para un régimen de humedad xérico correspondientes a cada estación meteorológica. Dichos valores se han calculado para hacer que la sección de control de humedad esté húmeda o parcialmente húmeda durante 90 días conse

cutivos, cuando la  $T_a$  del suelo a 50 cm. es superior a  $8^{\circ}\text{C}$ . La capacidad de agua utilizable y profundidad del suelo se han calculado suponiendo suelos poco pedregosos, un % C.A.U./tierra fina = 12% y una  $D_a = 1'2$ .

REGIMEN HUMEDAD XERICO

ESTACION	C.A.U. mínima mm.	Prof.mínima suelo cm.
Solsona	-	-
Ponts	46	35
Balaguer	76	55
Cervera	55	40
Borges Blanques	68	50
Aitona - Utxesa	50	35
Flix	58	45
Gandesa	44	35

TABLA nº 1. Valores mínimos estimados de C.A.U. y profundidad del suelo necesarios para la existencia de régimen de humedad xérico.

Hay un hecho paradójico y es que dentro del régimen arídico, en la zona más árida (estaciones de Borges Blanques, Utxesa y Flix), los suelos con capacidad de reserva de agua utilizable muy baja están en el límite con el régimen xérico y en cambio los de capacidad algo superior (próxima a 25 mm.) tienen totalmente seca la sección de control  $3/4$  del tiempo en que la  $T_a$

## La distribución de los regímenes de humedad arídico y xérico

Para la zona estudiada y a partir de los registros climáticos existentes, el límite entre los regímenes de humedad del suelo arídico y xérico viene condicionado por dos grupos de factores: 1) La capacidad de reserva de agua utilizable del suelo (C.A.U.), 2) la relación existente entre la época en que la  $T_{\pm}$  del suelo a 50 cm. es superior a  $8^{\circ}\text{C}$  y la diferencia  $P\text{-ETP}$ .

En principio, en las áreas de mayor déficit hídrico ( $\text{ETP}-P$ ), estimado a partir de los datos climáticos, será necesaria una superior capacidad de reserva de agua para la existencia de régimen de humedad xérico. Así tenemos que en el extremo húmedo del área, estación de Solsona, por pequeña que sea la capacidad de reserva de agua, sólo es  $\text{ETP} > P$  durante cuatro meses y por tanto no es suficientemente seco para régimen arídico. Por el contrario, en la gran parte de la depresión son necesarias capacidades de reserva de agua disponible superiores a 50 mm. para que el régimen sea xérico.

En las zonas de invierno frío, en que sólo a partir de marzo la  $T_{\pm}$  a 50 cm. supera  $8^{\circ}\text{C}$ , este período de actividad biológica coincide enseguida con la época en que  $\text{ETP} > P$  y por tanto, para que se cumpla el requisito de régimen xérico, será necesaria una mayor capacidad de agua que para los suelos de invierno más cálido para  $P$  equivalentes. Así tenemos que, por ejemplo, en el área de las estaciones de Borges Blanques y Balaguer se precisa una mayor capacidad de agua que en la de Flix o Utxesa para régimen xérico, aunque éstas últimas tienen mayor déficit hídrico anual.

En la tabla nº 1 se exponen los valores mínimos de C.A.U. y de profundidad del suelo necesarios para un régimen de humedad xérico correspondientes a cada estación meteorológica. Dichos valores se han calculado para hacer que la sección de control de humedad esté húmeda o parcialmente húmeda durante 90 días conse

cutivos, cuando la  $T_a$  del suelo a 50 cm. es superior a  $8^{\circ}\text{C}$ . La capacidad de agua utilizable y profundidad del suelo se han calculado suponiendo suelos poco pedregosos, un % C.A.U./tierra fina = 12% y una  $D_a = 1'2$ .

REGIMEN HUMEDAD XERICO

ESTACION	C.A.U. mínima mm.	Prof.mínima suelo cm.
Solsona	-	-
Ponts	46	35
Balaguer	76	55
Cervera	55	40
Borges Blanques	68	50
Aitona - Utxesa	50	35
Flix	58	45
Gandesa	44	35

TABLA nº 1. Valores mínimos estimados de C.A.U. y profundidad del suelo necesarios para la existencia de régimen de humedad xérico.

Hay un hecho paradójico y es que dentro del régimen arídico, en la zona más árida (estaciones de Borges Blanques, Utxesa y Flix), los suelos con capacidad de reserva de agua utilizable muy baja están en el límite con el régimen xérico y en cambio los de capacidad algo superior (próxima a 25 mm.) tienen totalmente seca la sección de control  $3/4$  del tiempo en que la  $T_a$

del suelo a 50 cm. es superior a  $5^{\circ}\text{C}$  y por tanto, representan el concepto central de arídico, o sea que son más secos que los anteriores de menor C.A.U.. Por último, en suelos de alta C.A.U. (60 mm.), el régimen pasa a ser xérico pues esta agua de reserva mantiene al suelo parcialmente seco parte de la primavera. Esta distinción entre tipos de régimen arídico tiene importancia sistemática a nivel de subgrupo en la Soil Taxonomy.





## GEOLOGIA

La Depresión Central Catalana constituye el sector oriental de la Depresión del Ebro. Está formada por depósitos terciarios continentales (tal como se ha delimitado en el presente trabajo).

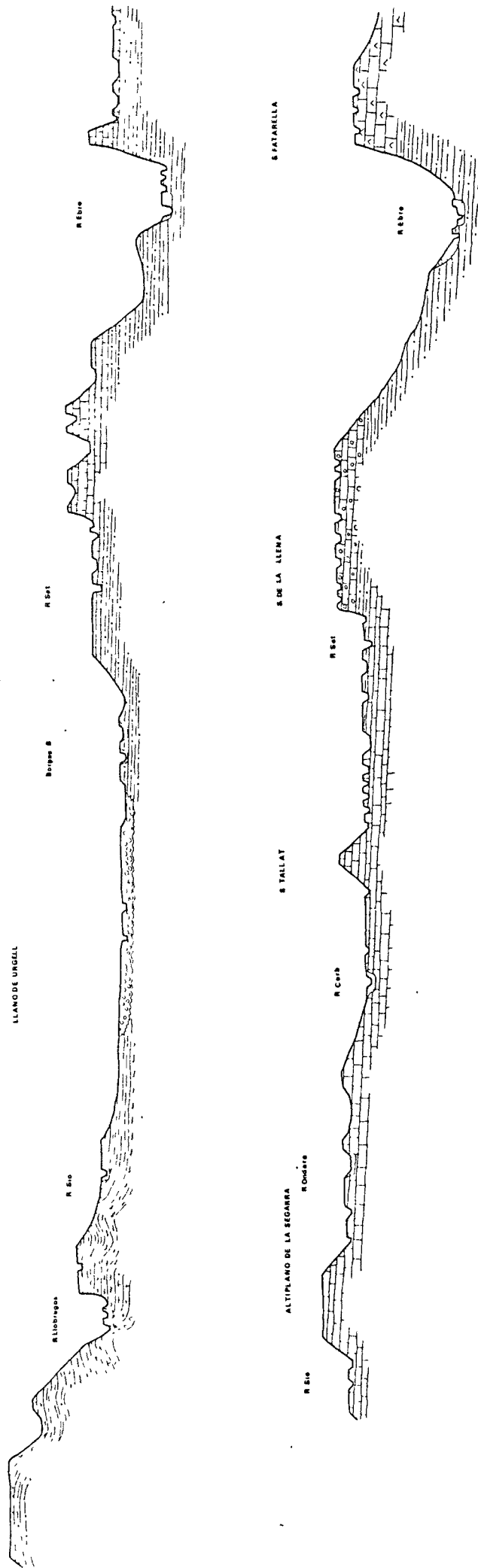
En el margen NE de la cuenca afloran materiales eocénicos (yesos, margas, areniscas) en los anticlinales de Sanaüja y Vilanova. El resto de la depresión corresponde a depósitos oligocenos, exceptuando pequeños enclaves miocenos (proximidades de Maials).






En la mayor parte de la depresión, las capas son horizontales o con una ligera inclinación hacia el oeste. Sólo en el norte se encuentran plegamientos de la orogenia alpina, relacionados con materiales plásticos subyacentes. Este sistema de pliegues consta de anticlinales estrechos con un núcleo yesífero y sinclinales muy amplios (Solé Sabarís, 1972). Los anticlinales de Sanaüja, Vilanova y Ponts-Cubells con afloramientos de yesos, empalman hacia el oeste con la alineación Balaguer-Barbastro. En conjunto constituyen la formación yesos de Barbastro (Riba, 1975). Los sinclinales dan lugar a altiplanos estructurales ligeramente basculados (Sierra de Llobera) que apenas rompen la unidad morfológica general del sector septentrional de la depresión.

### Litología

La litología de la depresión presenta una simetría respecto a su eje central que vendría a estar situado en la línea Calaf-Cervera-Maials. De forma concéntrica a este eje, abierta al oeste, se encuentran en la aureola exterior los conglomerados (Montserrat, Sant Llorenç de Munt, La Llena, Montsant), después las areniscas alternando con margas (molasses) y en el centro las calizas lacustres y margas (y facies evaporíticas más allá del Ebro).

Los materiales detríticos de la depresión tienen una procedencia doble que da lugar a las dos provincias petrográficas de



-  Aluviones y coluviones calcáreos indiferenciados. Cuaternario
-  Depósito coluvial calcáreo. Cuaternario
-  Calizas y yesos. Mioceno
-  Calizas. Stampiense
-  Arcillas y areniscas. Stampiense





-  Arcillas y areniscas. Sannoisiense
-  Arcillas y areniscas. Sannoisiense
-  Yesos. Sannoisiense
-  Calizas. Sannoisiense

FIGURA nº 4.- Cortes geológicos NE-SW de la Depresión Central Catalana. Arriba desde Solsona y abajo desde Calaf; ambos convergen en la Sierra de La Fatarella. La escala longitudinal es aproximadamente 1:400.000. La escala altitudinal se ha exagerado (E: 1:20.000). Los datos geológicos se han extraído de los mapas del IGME 1:200.000.

finidas por Pinilla (1966): La Provincia Norte formada por materiales de procedencia pirenaica, en que las coloraciones dominantes son claras, amarillentas (Formación molasa de Solsona). Los minerales pesados característicos son la Epidota, Granate y otros minerales metamórficos derivados de macizos graníticos y paleozoicos del Pirineo. Las areniscas son de grano silíceo y por tanto el contenido total en carbonatos es bajo.

La Provincia Sur, cuyos materiales tenían su origen en las Cordilleras Costero Catalanas e Ibérica, en la que dominan los colores rojizos, producto de la abrasión de antiguos suelos ricos en sesquióxidos. Se caracterizan estas rocas por la presencia de Zircón y Turmalina. Las areniscas son de grano predominantemente calcáreo, con lo que el contenido total en carbonatos es muy elevado.

En la parte central de la cuenca se mezclan los materiales de ambas procedencias.

Hay una serie de características generales en la composición de las rocas de la depresión:

- Todas ellas son carbonatadas.
- La salinidad es elevada, sobre todo en la fracción margosa (Riba, 1971).
- En cuanto a los minerales de arcilla, según Pinilla (1966) la especie dominante es la illita. En la provincia petrográfica sur y en las facies calcáreas, también aparece la sepiolita-attapulgita.

### Tipificación de las rocas

Desde un punto de vista edáfico, interesa la clasificación de las rocas que mejor refleje sus propiedades en cuanto material parental de los suelos.

En las rocas carbonatadas son fundamentales las siguientes propiedades:

- Contenido total en carbonatos.

- Naturaleza mineralógica de los carbonatos: calcita, aragonito, dolomita.
- Porosidad de la roca.
- Textura.
- Características del residuo insoluble: granulometría, relación  $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$ , mineralogía (Čirič, 1967).

Las clasificaciones existentes sobre el complejo grupo de las rocas carbonatadas utilizan criterios fundamentalmente descriptivos o genéticos (Ham, 1962).

En este trabajo utilizamos aproximadamente la clasificación de Leighton and Pendexter (1962), basada en la proporción de los componentes texturales y su naturaleza.

Se consideran rocas calizas en general, aquellas que contienen más del 50% de minerales carbonatados.

En las rocas estudiadas a penas se ha encontrado dolomita. Dentro de las rocas calizas, tenemos los siguientes tipos:

- Calizas duras grises, de la Formación Tárrega, clasificadas como calizas micríticas. La micrita es un material carbonatado de tamaño arcilla y de origen químico, mecánico, o biológico como es creencia más extendida en la actualidad (F. Calvet, comunicación personal). Son poco porosas y contienen más del 90% de carbonatos. En las descripciones de los suelos se han denominado simplemente calizas, pues son mucho más abundantes que los dos grupos siguientes.
- Calizas blancas, porosas y blandas, tipo creta ("chalk"). Estas rocas ocupan poca superficie en la depresión; sólo las hemos encontrado en afloramientos de edad miocena entre Maials y Almatret.
- Calcilutitas esqueléticas ("packstone") que son calizas fosilíferas en que los elementos fósiles están empaquetados por material micrítico. El contenido en carbonatos es muy elevado (95%) y la dureza es menor que la de las

calizas grises. Sólo hemos muestreado sobre este tipo de roca en las proximidades de Albí (Les Garrigues), dentro de la Formación calizas de Tárrega.

- Calcilutitas detríticas que contienen más del 50% de las partículas carbonatadas de tamaño limo y arcilla. La textura de estas rocas en la depresión es dominantemente limosa, siendo la fracción mayoritaria el limo fino. Corresponden aproximadamente con el concepto, más laxo, de margas (Jung, 1963 citado por Callot, 1972). Estas rocas son blandas, fácilmente disgregables y de coloración diversa. El contenido en carbonatos es muy variable, no habiéndose podido detectar en el marco de este trabajo, pautas regionales al respecto.
- Calcarenitas detríticas, constituidas por granos de tamaño arena y un cemento cristalino, ambos de naturaleza calcárea. En la zona estudiada el grano es preferentemente arena fina. El contenido en carbonatos varía entre un 70 y un 90%. Estas rocas forman parte de las molasas de la provincia petrográfica sur de la depresión, definida por Pinilla (1966).
- Calciruditas detríticas, constituidas mayoritariamente por granos de tamaño grava, de naturaleza caliza, al igual que el cemento.

En el grupo de las rocas que contienen menos del 50% de carbonatos, distinguimos los siguientes tipos:

- Arcillas calcáreas; rocas detríticas de residuo insoluble formado por limos y arcillas. Entran dentro de los conceptos marga y marga arcillosa. El contenido en carbonatos es variable. Las muestras tomadas tienen de un 20 a un 45%. Estas rocas presentan una gradación sin solución de continuidad con las calcilutitas detríticas, de las que no son distinguibles en el campo. Frecuentemente se las denomina a todas ellas bajo el nombre ge-

nérico de margas.

- Areniscas calcáreas, de grano silíceo y cemento calizo. El contenido total en carbonatos en los casos estudiados es del orden de 30-40%. Se localizan en la provincia petrográfica norte de Pinilla (1966).

Los yesos en general son de tipo nodular y muy frecuentemente están englobados en materiales margosos con carbonatos y arcillas. Dichas margas yesosas presentan valores de carbonatos muy variables, entre un 5 y un 45%. El contenido en yeso oscila entre un 75% y un 20%.

nº perfil y localidad	% CaCO <sub>3</sub>	tipo de roca
F8102 Maials	95.4	caliza micrítica
F8100 Almatret	89.1	caliza tipo creta
F8029 Albí	95.0	calcilutita esqueletica
F8010 Talavera	73.7	calcilutita detrítica
F8018 Oliola	59.7	calcilutita detrítica
F8015 Montgai	45.7	arcilla calcárea
F7954 Granyanella	23.4	arcilla calcárea
F8034 Granadella-Torrebeses	84.2	calcarenita detrítica
F8004 Solsona	43.5	arenisca calcárea
F7957 Biosca	5.9	marga yesífera

TABLA nº 2. Ejemplos representativos de las rocas estudiadas.

## Geomorfología

Como ya se ha dicho al comienzo del capítulo, la Depresión Central Catalana está muy poco tectonizada. Por ello, dominan los relieves estructurales en los que es factor esencial la litoestratigrafía.

Los afloramientos de calizas alternando con margas, dan lugar a extensos relieves tabulares o en cuesta, estos últimos con ligera inclinación hacia el oeste. Lógicamente, el relieve está soportado por los niveles duros de calizas y los materiales margosos sólo afloran en los rellanos intermedios de los frentes de cuesta y situaciones similares. La potencia de los tramos margosos es en general unas 5 o más veces superior al de las calizas que es del orden de 40 cm. (Calvet, 1977).

Las areniscas se caracterizan por formar bancos de espesores irregulares (paleocanales) y de superficie generalmente reducida que dan lugar a relieves tabulares muy entrecortados. Estas formas son características de las aureolas marginales de la depresión.

La red hidrográfica se caracteriza por valles de fondo plano, poco funcionales en la actualidad, que son heredados del Cuaternario (Calvet y Gallart, 1979). Los ríos Ondara y Corb quedan prácticamente difuminados al llegar al llano de Urgell.

Hay glaciis no muy abundantes, de naturaleza limosa que enlazan los pies de los relieves estructurales con los valles fluviales.

En cuanto a la erosión, hay una destacable diferencia entre las zonas más áridas (Les Garrigues y Segrià principalmente) y el resto de la depresión. En estas zonas son frecuentes los suelos desnudos, el rebajado de suelo entre grupos de plantas, las formas de erosión laminar y en arroyada y los en-







## LA VEGETACION

De manera general, las comunidades vegetales de la Depresión Central Catalana se distribuyen en función de la continentalidad y por tanto de sus dos parámetros principales: la sequedad y el contraste de temperaturas.

La vegetación potencial de la depresión comprende los siguiente dominios climáticos (Folch, 1981):

- Los bordes N y E se incluyen dentro del dominio de los robledales secos (Violo-Quercetum fagineae).
- La zona central, ocupando la gran parte de la cuenca, corresponde al dominio del carrascal, Quercetum rotundifoliae, en particular la subasociación rhamnetosum infectoriae; en la zona de contacto con los robledales, el carrascal se enriquece en especies, dando lugar al Quercetum rotundifoliae buxetosum.

En el extremo sur, cubeta de Gandesa, hay una incisión del dominio del encinar litoral.

- En el límite árido de la zona, al SW de la comarca del Segrià, aparece el coscojar continental: Rhamno-Quercetum cocciferae.

La vegetación actual presenta un aspecto diferente de la potencial. En general, la influencia humana ha reducido la superficie forestal. En el llano de Urgell ha desaparecido todo bosque, por su gran viabilidad agrícola, y en otras zonas se han exacerbado probablemente los efectos de la sequedad, haciéndose escasa hasta la vegetación de maquia, como es el caso del límite occidental de la depresión (gran parte de la comarca del Segrià). Salvando estas áreas, en prácticamente toda la cuenca se encuentran retazos de arbolado o de matorral alto.

En el área del robledal seco, caracterizada en el norte



FIGURA nº 5.- Esquema de la distribución de las especies estudiadas sobre los cortes topográficos de la figura nº 4.

por la abundancia de Buxus sempervivens, aparecen los pinares de Pinus nigra, especialmente bien desarrollados en las zonas de pendiente. En el extremo septentrional del área (proximidades de Solsona), aparece Quercus pubescens.

Al sur del río Llobregós, hacia la dorsal de la Segarra, y hasta la cuenca del río Corb, el robledal seco de Quercus faginea, alternando con Pinus nigra, se mantiene sin Buxus sempervivens y aparece progresivamente hacia el sur Pinus halepensis, aumentando la presencia de Quercus coccifera.

En el dominio teórico del carrascal, se distinguen claramente dos zonas, separadas por la isoterma de 13°C aproximadamente:

La primera, al norte de les Garrigues, en la que la carrasca es abundante y en alguna zona la especie forestal casi exclusiva (altiplanos al NW de Cervera, hasta el anticlinal de Sanatja). Salvo en contadas excepciones, los carrascales están en forma fragmentaria, residual, muy interpenetrados por matorral bajo y ocupando las costeras marginales de los campos de cultivo. Cuando alcanzan mayor extensión, suele ser en los altiplanos calizos, de suelo muy superficial y pedregoso, difícil de labrar. No obstante, en estos últimos años hemos podido observar la desforestación y roturación de alguno de estos bosques.

En la segunda zona, al sur de la anterior, la encina carrasca es rara y domina la coscoja junto con Pinus halepensis, apareciendo especies termófilas como Erica multiflora, Pistacia lentiscus y Globularia alypum. Asimismo, son más frecuentes las superficies de suelo desnudo de plantas superiores, colonizado por líquenes o colonias de Nostoc. En esta área hay alguna excepción destacable en que se encuentran Quercus rotundifolia, como el altiplano de Maials.

El matorral bajo que ocupa importantes extensiones en toda la zona del carrascal, pertenece a la alianza Rosmarino-Ericion.

Las claras diferencias en el paisaje vegetal de estas dos zonas no parece justificable únicamente por la acción humana que por otra parte, tomando como indicador la densidad de poblaciones, sería inversa a la relación de abundancias Pinus halepensis/Quercus rotundifolia.

Probablemente, el elemento determinante sea el clima y en particular el binomio sequedad-temperaturas mínimas. Según Font Quer (1954), las inversiones de temperatura invernales del altiplano, provocarían mínimas insoportables para el pino.

Hay una cierta coincidencia entre la distribución de la encina carrasca y los relieves tabulares o en cuesta sustentados por calizas duras que además desarrollan suelos bien particulares. Estos relieves se extienden en la zona centro-norte de la depresión y los altiplanos antes citados al SE del Segrià. En estos altiplanos, parece que en principio serían las condiciones climáticas inducidas por la topografía el factor dominante más que el tipo de suelo.

Hay muy poca coincidencia de suelos sobre calcarenitas y robledales o carrascales, debido, creemos, a la distribución meridional de dicha roca.

Como caso particular, tenemos la vegetación que vive sobre yesos. En la Depresión Central Catalana son importantes en cuanto a extensión, los yesos del anticlinal de Sanaüja que se alinean en dirección aproximadamente E-W hasta más allá del Segre, y los afloramientos entre La Panadella y Cervera, de dirección N-S. Estos yesos están entre los dominios climáticos del Quercetum rotundifoliae y Violo-Quercetum fagineae. Soportan en general un matorral gipsícola correspondiente al Erico-Thymelacetum tinctoriae, subsoc. ononidetosum tridentatae y en los puntos culminales, directamente sobre el suelo desarrollado in situ a partir del estrato yesífero, comunidades del Gypsophilion. En estas formaciones yesosas, suele haber algún árbol más o menos disperso y raquítico que busca las laderas o los cambios de pendien-

te, donde hay un cierto coluvionamiento y una disminución paralela en el contenido de yeso en el suelo. Hemos observado alguna repoblación de pinos en la zona, realizada directamente sobre margas yesíferas que ha fracasado por completo.



E S T U D I O   D E   L O S   S U E L O S

Los estudios de suelos en la Depresión Central Catalana son muy escasos y prácticamente no hemos podido disponer de datos analíticos previos al presente trabajo.

Las publicaciones en que se incluye la Depresión Central son las cartografías 1:250.000 (Albareda et al., 1960-61) y 1:1.000.000 (Guerra et al., 1968). Hay sendos trabajos, de carácter agrícola, dedicados a las comarcas de La Segarra y Les Garrigues, de los que sólo se han publicado hasta la fecha pequeñas síntesis (Porta et al., 1981).

De entre los estudios que pueden tener una relación próxima con el presente, cabría citar el realizado por Bottner (1972) sobre la edafogénesis en medio calizo del sur de Francia, y los trabajos de Alias et al. (1973, 1974, 1977) sobre suelos forestales de la Sierra de La Pila (Murcia).





## METODOS

### Trabajo de campo

- Realización de las catas. Aproximadamente el 90% de los perfiles se han abierto en fosa para evitar las modificaciones laterales. En los casos en que se han aprovechado trincheras, se han rebajado 20 cm. externos. Se ha muestreado cuantitativamente la hojarasca existente encima del perfil (previo a su apertura lógicamente), tomando una superficie de 25 x 25 cm<sup>2</sup>.
- Descripción macromorfológica. Se ha seguido de forma aproximada la guía de campo de O.R.S.T.O.M. (1969) y su lenguaje normalizado. El color en seco y húmedo se ha determinado por el código Munsell. La nomenclatura de los horizontes se ajusta a los criterios de la C.P.C.S. (1967). La profundidad de los horizontes orgánicos ( $A_{00}$  y  $A_0$ ) se expresa en valores negativos a partir de la superficie del suelo mineral.

### Análisis de laboratorio

Los resultados analíticos se expresan referidos a peso seco al aire de la tierra fina (menor de 2 mm.).

- Tamizado. La desagregación de las muestras y su tamizado por la malla de 2 mm. se ha realizado generalmente a mano. Se ha desechado el uso de tamizadora trituradora en los siguientes casos:
  - a) En los horizontes muy orgánicos ( $A_0$  y algunos  $A_1$ ), para evitar la fragmentación de los restos orgánicos.
  - b) En suelos con piedras blandas, tipo yeso o margas, para no crear partículas minerales artefactuales.

c) En los suelos fersialíticos, más o menos descarbonatados, que casi siempre son ricos en piedras y gravas de naturaleza caliza, al objeto de evitar contaminación de carbonatos que sin duda produce el triturado mecánico y que en estos suelos puede ser relativamente importante.

Por otra parte, el tamizado a mano ha permitido la separación de la fracción "restos orgánicos" (excluidas las raíces vivas) que hemos contabilizado.

- Análisis Granulométrico por el método de la pipeta. Hemos seguido el protocolo propuesto por Dupuis (1969) que utiliza como dispersante 50 ml. de solución de hexametáfosfato sódico (nosotros añadimos  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), y 1 ml. de amoníaco para mantener el pH de la suspensión superior a 9'0. Este método es especialmente adecuado para suelos ricos en carbonatos, obteniéndose dispersiones significativamente superiores que con menor cantidad de dispersante y sin amoníaco como es de uso frecuente.

Las fracciones separadas son:

arena gruesa (AG)	de 2	a 0'2	mm.
arena fina (AF)	de 0'2	a 0'05	mm.
limo grueso (LG)	de 0'05	a 0'02	mm.
limo fino (LF)	de 0'02	a 0'002	mm.
arcilla (A)	menor de	0'002	mm.

Las arenas se obtienen por tamizado. El resto de las fracciones, por sedimentación.

Aunque la materia orgánica se trata con agua oxigenada con el fin de eliminarla, ésto no se consigue totalmente por la existencia de sustancias húmicas y ligninas resistentes. Este hecho provoca en los horizontes muy orgánicos un abultamiento, fundamentalmente, de la fracción arcilla, observable a simple vista por la coloración oscura de las alicuotas desecadas.

Los restos orgánicos de tamaño arena, no oxidables por  $\text{H}_2\text{O}_2$ , son eliminados cuidadosamente por decantación.

El análisis mecánico así realizado, con determinación directa de todas las fracciones, permite calcular la pérdida de muestra respecto del peso inicial. Esta pérdida será igual a la suma de: materia orgánica oxidada, fragmentos orgánicos decantados y error de manipulación. En los suelos que contienen algo de yeso, como suele ser necesario un lavado previo para evitar su efecto floculante, también existe una pérdida de peso debida al yeso. En el apartado referente a la materia orgánica, se comenta la relación entre el valor de "pérdida en el análisis mecánico" y el contenido total en materia orgánica.

No se ha realizado la granulometría de los horizontes excesivamente orgánicos (algunos  $A_0$ ) por ser poco significativos. Tampoco se han podido analizar de forma completa las muestras con elevado contenido en yeso (C de margas yesíferas) por ser impracticable su eliminación.

Se ha representado gráficamente la granulometría en función de la profundidad, de forma histográfica. Si bien el resultado del análisis se supone un promedio del horizonte y no un valor homogéneo en su profundidad. Hemos preferido no hacer la presunción de que el incremento de valor medido va en uno u otro sentido, pues en la mayoría de los casos no tenemos indicios concluyentes que justifiquen dicha hipótesis.

- Carbonatos totales. En general se ha utilizado el método acidimétrico (U.S.D.A., 1973). Este método tiene un error inherente, de sobrevaloración, dado que se basa en la determinación volumétrica de los cationes. Dicho error es apreciable en las muestras sin carbonatos, pero saturadas de bases, en las que ofrece valores positivos. Este es el caso fundamentalmente de los horizontes  $A_0$  y  $A_1$  de suelos fersialíticos, muy ricos en  $Ca^{+2}$ . También es el caso de las muestras sobre yesos, en que ha habido una pérdida del anión sulfato y una extraordinaria abundancia de calcio. En este último tipo de muestras hemos empleado el calcímetro de Bernard (Allison and Moodie, 1965). Para los

horizontes C yesíferos, se obtienen valores equiparables por ambos métodos.

La determinación manométrica del calcímetro, tiene un error por defecto, debido a la solubilidad del  $\text{CO}_2$  en el  $\text{HCl}$  (U.S.D.A., 1973).

Los resultados se expresan como  $\text{CaCO}_3$  equivalente.

- Carbonatos de las fracciones granulométricas (Dupuis, 1975). Se determinan por acidimetría los carbonatos totales de cada fracción extraída en el análisis mecánico.

En el caso de las arenas, se valora la cantidad total existente en cada muestra pesada para el análisis granulométrico. De los limos y arcilla es analizada la cantidad respectiva de muestra presente en la alícuota de dicho análisis.

Además de la utilidad de este análisis en el estudio de la dinámica de los carbonatos, presenta un interés en la estimación de la cal activa. En este sentido, Callot y Dupuis (1980) proponen el presente método en substitución del clásico Drouineau (1942), al demostrar que este último no determina la superficie real de la caliza tamaño arcilla.

Para cada perfil, se ha representado la distribución de los carbonatos de cada fracción granulométrica referidos a 100 g. de dicha fracción. Las fracciones granulométricas se han representado en abscisas en forma logarítmica.

En la figura nº 6 se comparan los valores de  $\text{CaCO}_3$  total valorado directamente y como suma de las de las fracciones granulométricas. El coeficiente de correlación obtenido es  $r=0.968$  para 123 pares de medidas. En línea punteada se ha trazado el ajuste ideal perfecto. De la comparación entre ambas rectas, se observa que para los valores bajos, la determinación directa ofrece resultados en general algo más elevados que la suma de las fracciones. Esto es debido a que el error citado en el apartado anterior (carbonatos totales) por valoración de las bases en muestras poco carbonatadas, es menor en las fraccio

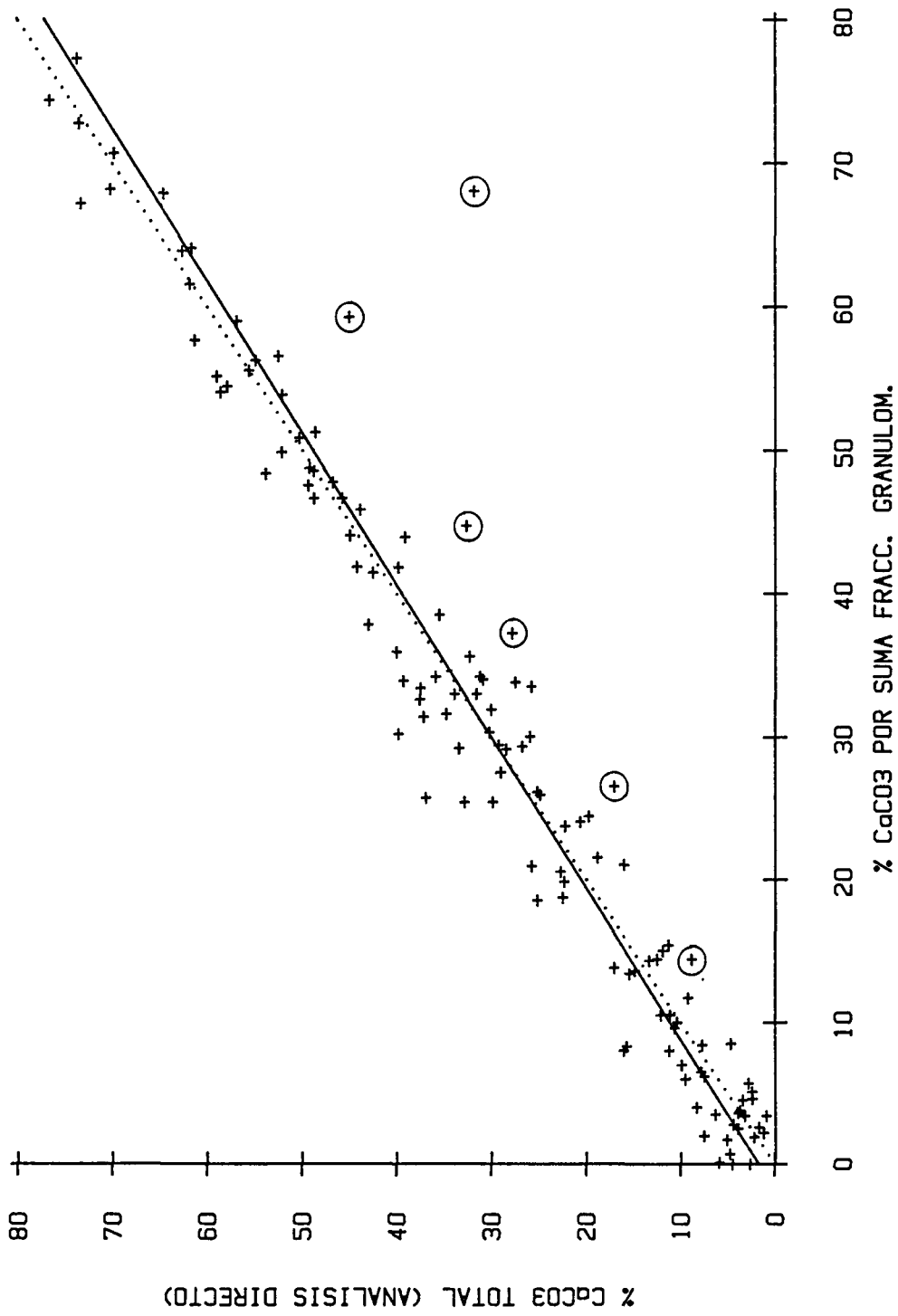


FIGURA nº 6.- Comparación de los porcentajes de carbonato cálcico equivalente obtenidos directamente y por suma de las fracciones del análisis mecánico. La línea de puntos corresponde al ajuste perfecto entre ambas medidas. Los resultados con un círculo, son muestras que contienen yeso.

nes granulométricas por la dilución (1:50) que se realiza en el análisis mecánico y la consiguiente repartición de dichas bases: creemos que este hecho determina fundamentalmente la diferencia entre las pendientes de las dos rectas.

Los puntos de la gráfica englobados en un círculo que son de los que presentan mayor desajuste por sobrevaloración de los carbonatos de las fracciones, corresponden a suelos que contienen algo de yeso (ver lo comentado en el apartado anterior) y en los que además, la determinación directa se ha realizado por el calcímetro de Bernard con lo que se ha obviado el error anterior. El punto que presenta mayor desviación (par 68, 31.8) corresponde al horizonte  $A_1$  del perfil nº F8109 bis (suelo yesífero rendsiniforme).

- pH. Se utiliza una proporción suelo:agua (p:V) 1:2'5. Se realiza asimismo la medición en las mismas condiciones anteriores pero con una solución de KCl 1N para estimar la acidez potencial (C.M.A. del I.N.E.A., 1973). La determinación se lleva a cabo mediante electrodo de vidrio.
- Carbono orgánico total. Se valora por oxidación sulfocrómica o vía húmeda (C.M.A. del I.N.E.A., 1973). En el cálculo se introduce el factor de corrección  $f=0.77$  de Walkley (1947). Este método da valores bajos en la oxidación de las ligninas (Gallardo, 1975) que son importantes en los  $A_0$ .

A partir del %C, se estima el % de materia orgánica total multiplicando por el factor 1.724 (Malha, 1963).

En la figura nº 7, se comparan los % de materia orgánica determinados como se señala arriba, y el porcentaje de pérdida de muestra en el análisis mecánico que, como se comenta en el apartado correspondiente, es debido en gran parte a la eliminación de materia orgánica. El coeficiente de correlación es de  $r=0.865$  para  $n=134$ .

Como se aprecia claramente, el desajuste es mayor en los valores altos de materia orgánica. Los elementos que intervie

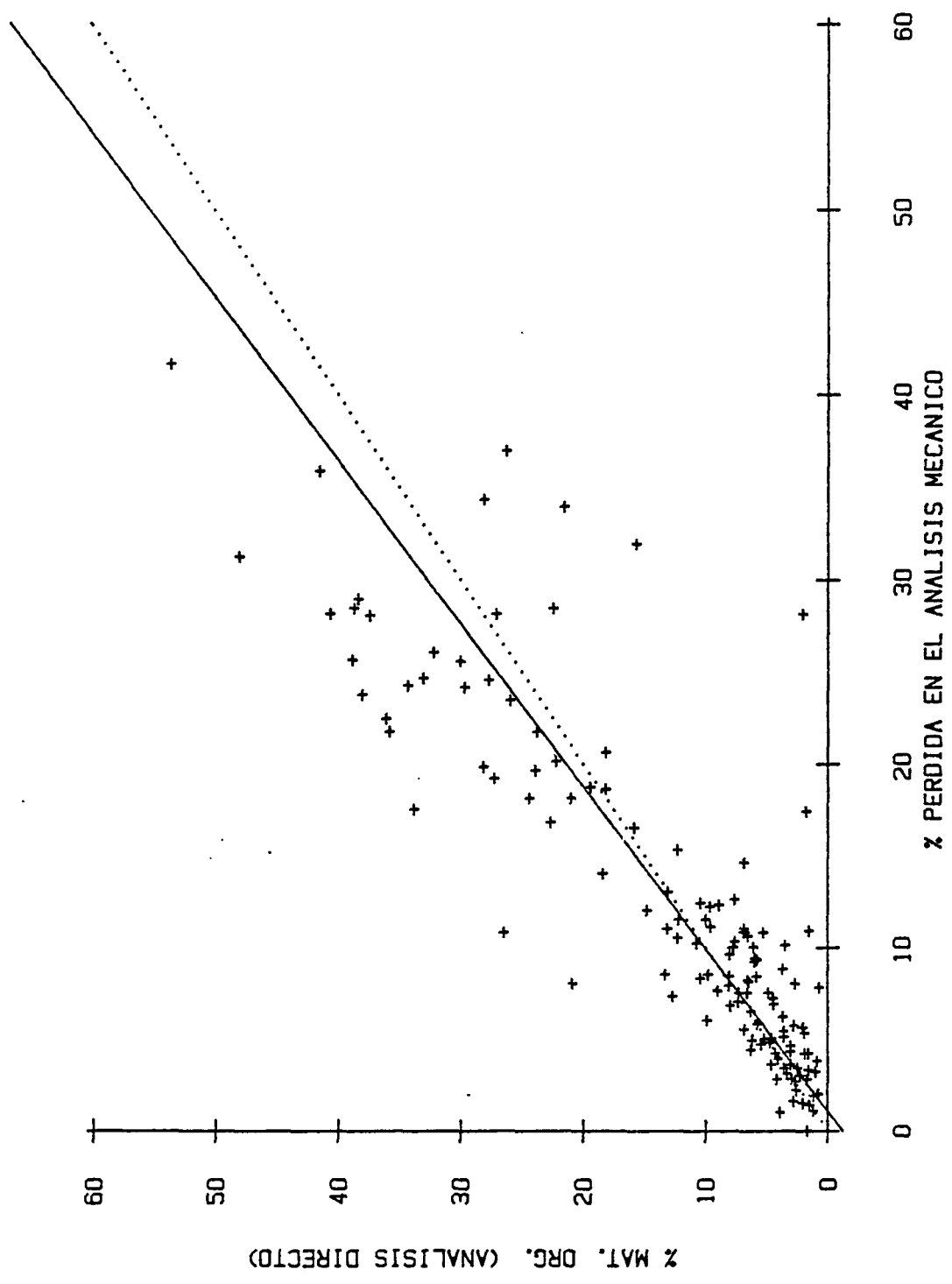


FIGURA nº 7.- Comparación del porcentaje de materia orgánica determinada por oxidación sulfocrómica con el % de pérdida en el análisis mecánico. Esta pérdida es atribuible, salvo errores de manipulación, a oxidación de materia orgánica por  $H_2O_2$  y decantación de restos orgánicos. La línea de puntos representa el ajuste perfecto.



nen en las diferencias observadas son: a) Infravaloración de la materia orgánica directa por el método sulfocrómico cuando hay abundantes restos orgánicos lignificados; b) en sentido contrario, hay una infravaloración de la materia humificada en el % de pérdida, al no ser totalmente oxidada por el pretratamiento con  $H_2O_2$ ; y c) podría darse una decantación insuficiente de los restos orgánicos tamaño arena.

De una integración de estas deficiencias, resultará en general el sentido del desajuste (salvando claro está los errores de manipulación que, por otra parte, difícilmente pueden ser de las magnitudes que se barajan). En nuestro muestreo, vemos que parece más frecuente el error debido al caso b (quizá algo el c también).

Este hecho implica que las fracciones finas (arcilla sobre todo) de las muestras muy orgánicas ( $A_0$  la mayoría) estarán fuertemente infladas por humus tal y como señalamos en el apartado del análisis mecánico.

Los puntos englobados en círculos son muestras que contienen yeso, con lo que se justifica su desajuste por el aumento del % de pérdida que provoca el lavado de los yesos disueltos en una o varias decantaciones.

Para las muestras de contenido moderado en materia orgánica, vemos que el ajuste mejora ostensiblemente.

- % de Nitrógeno orgánico y amoniacal. Se utiliza el sistema Kjeldahl (C.M.A. del I.N.E.A., 1973). En los medios naturales, la cantidad de nitratos es despreciable frente al % de N total, con lo que no se tienen en cuenta.
- Capacidad de intercambio catiónico y suma de cationes por el método del acetato amónico N a pH=7 (U.S.D.A., 1973). El Ca y Mg se determinan por absorción atómica, y el Na y K, por fotometría de llama.

Aunque en los suelos saturados y con carbonatos, por pocos que hayan, el acetato amónico a pH=7 provoca disolución y

liberación artefactual de Ca sobre todo, hemos preferido consignar los datos medidos efectivamente por la indicación que puedan dar sobre la existencia de dichas fuentes de calcio.

Sólo se ha realizado este análisis en los suelos total o parcialmente descarbonatados (fersialíticos todos ellos), por carecer de nuestro interés en los muy calizos o yesíferos.

- C.E. a 25°C del extracto 1:5 como estimación de las sales solubles. En el área y situaciones topográficas estudiadas, esta determinación sólo tiene utilidad en presencia de yeso, como un primer indicador analítico del mismo.
- Yeso. Se ha valorado por conductimetría (U.S.D.A., 1973). A partir de la dilución 1:5, ésta se ha incrementado según el contenido en yeso de cada muestra.
- Hierro libre. Se ha realizado la extracción con ditionito-citrato (Holmgren, 1967). Este reactivo extrae el Fe amorfo, cristalino y asociado a la superficie de las arcillas.
- Hierro total. La solubilización se lleva a cabo mediante ataque con HCl concentrado en caliente (Dabin, 1966). Según el mismo autor, los resultados de este método son equivalentes a los del ataque triácido. La determinación del Fe se realiza en las dos extracciones por absorción atómica.

Los análisis del Fe se han aplicado fundamentalmente a los suelos fersialíticos en los que el cociente Fe lib./Fe tot. es un parámetro básico.

- Mineralogía de arcillas. La identificación de los minerales de arcilla se ha realizado por difracción de rayos X de la muestra orientada y saturada en Mg. El procedimiento de extracción y preparación de las arcillas utilizado es el propuesto por Robert y Tessier (1974). Los carbonatos se eliminan por sucesivos ataques con HCl 0.1N, no bajando el pH de 4. En las muestras con yeso, se ha hecho previamente un lavado suficiente para su disolución y eliminación. Además de la placa con

el agregado orientado normal (N), se prepara una placa saturada de etilen-glicol (EG) y otra calentada a 550°C durante cuatro horas. A partir de la combinación de la información obtenida por los tratamientos citados, se identifican las arcillas en base principalmente a las claves y recopilación de difractogramas de Thorez (1975).

Aunque el análisis es cualitativo, se indica la relación aproximada entre las intensidades de los diferentes minerales de arcilla determinados.

Los símbolos empleados al respecto son los siguientes:

F	-	Muy fuerte	entre 60-75%	del total de arcillas identificadas
f	-	fuerte	entre 45-60%	" " "
m	-	media	entre 30-45%	" " "
D	-	débil	entre 15-30%	" " "
d	-	muy débil	entre 2-15%	" " "
i	-	indicios	menos de un 2%	" " "

Se ha abordado el estudio mineralógico de las arcillas en perfiles representativos de los diferentes tipos estudiados.

- La técnica de extracción y fraccionamiento del humus se describe en el capítulo correspondiente al estudio de la materia orgánica.

## IDENTIFICACION DE LOS MINERALES DE ARCILLA

El reconocimiento de los tipos de arcilla se ha realizado por rayos X. Se basa en el comportamiento de las reflexiones basales en función de los siguientes tratamientos de las muestras saturadas con Mg: Embebimiento en etilen-glicol y calentado a 550°C durante 4 horas. Se han tenido en cuenta además las reflexiones secundarias, en la zona de los grandes ángulos; en dicha zona difractan asimismo otros minerales aparte de los filosilicatos: Cuarzo, dolomita, calcita, óxidos de hierro, etc..

La identificación del cuarzo se hace difícil por la coincidencia de su reflexión a 3.34 Å con un pico secundario intenso de la illita. El pico a 4.26 Å del cuarzo también se superpone al del yeso. Aunque en las muestras con contenido importante en dicho mineral se han realizado varios lavados, la eliminación puede no haber sido completa. En cualquier caso, la reflexión a 4.26 Å, en los casos en que aparece, presenta muy baja intensidad.

En alguna muestra se ha detectado dolomita por la reflexión a 2.90 Å. Este mineral, menos alterable que la calcita, ha debido resistir el ataque ácido en frío.

No se ha detectado en ningún diagrama el pico 2.69 Å, característico del oligisto. La goethita difracta a 4.15 Å, reflexión muy próxima a las de cuarzo y caolinita. El tratamiento con HCl de las muestras carbonatadas probablemente haya alterado los óxidos de hierro. En los dos suelos sin carbonatos en que no se ha realizado el ataque ácido, se detecta un pico a 4.15-4.19 Å, inexistente en el resto de las muestras analizadas. Esta reflexión es ancha, y en la mayoría de los casos se puede observar la presencia, además, de picos a 4.26 y 4.21 Å (probablemente de cuarzo y caolinita respectivamente).

Se plantea la dificultad de discernir la presencia de cloritas y caolinitas. Ambos minerales de arcilla difractan a 7 Å y en algunas cloritas, este pico es más intenso que el d001 a 14 Å. Por otra parte, las cloritas férricas pobremente cristalizadas se

destruyen a  $550^{\circ}\text{C}$ , al igual que la caolinita (Swindale, 1975). No parece que este tipo de clorita sea dominante en nuestros suelos ya que, en prácticamente todas las muestras analizadas, se mantiene la reflexión de  $14 \text{ \AA}$  a  $550^{\circ}\text{C}$  indicadora de que la clorita no se ha destruido y que por tanto, la desaparición del pico a  $7 \text{ \AA}$  es de caolinita. Este procedimiento ha sido usado de forma generalizada (Bailey, 1975). También se pueden utilizar en la distinción, los picos secundarios de la clorita a  $4.7$  y  $3.54 \text{ \AA}$  y el de la caolinita a  $3.57 \text{ \AA}$  (Dixon, 1977). En la mayoría de nuestras muestras se observan las tres reflexiones.

En la estimación aproximada de las intensidades relativas de las diferentes arcillas, se han utilizado los siguientes criterios:

Dado que la illita y la mayoría de las cloritas no se destruyen a  $550^{\circ}\text{C}$ , la relación entre las intensidades de  $10 \text{ \AA}/14 \text{ \AA}$  en los diagramas normal y calentado nos informará sobre las proporciones entre clorita y vermiculita. Si el pico  $14 \text{ \AA}$  pertenece únicamente a la clorita, el cociente se mantendrá constante. Esta apreciación presenta un inconveniente poco controlable a priori y es que las cloritas, en el diagrama a  $550^{\circ}\text{C}$ , aumentan la intensidad de la reflexión a  $14 \text{ \AA}$  de 2 a 5 veces (Barnhisel, 1977). Por tanto, el error cometido sería por exceso en cloritas y en detrimento de vermiculitas. No obstante, la estimación de abundancias en función de las intensidades es sólo indicativa.

La intensidad de la caolinita se obtiene descontando de la del pico a  $7 \text{ \AA}$ , la calculada para la clorita. Esta estimación supone que las intensidades a  $14 \text{ \AA}$  y  $7 \text{ \AA}$  de la clorita son iguales; ello no suele ser así, dependiendo del tipo de clorita. De todas formas, en los casos frecuentes de mayor intensidad de la reflexión  $7 \text{ \AA}$  de la clorita, hay una compensación debida a la valoración en exceso apuntada del pico a  $14 \text{ \AA}$ .

## LA CLASIFICACION DE LOS SUELOS

### a) Por la Soil Taxonomy.

La sistemática americana está basada en la combinación de las propiedades y horizontes de diagnóstico. En la definición de estos últimos, casi siempre se establece un límite de tamaño. Por tanto, el desarrollo del perfil tiene su expresión en los niveles más altos de clasificación.

Los suelos estudiados en la presente memoria, por la situación topográfica común escogida, son generalmente muy superficiales y este hecho frecuentemente predomina sobre las características fisicoquímicas y mineralógicas del perfil. Así tenemos que más del 60% de los suelos estudiados no presentan horizonte de diagnóstico alguno (por el tamaño no cumplen para cámbico), con lo que se incluyen en el orden Entisols.

En los casos en que el grado de desarrollo del perfil es suficiente y existe un horizonte de alteración (cámbico), de acumulación de arcillas (argílico), o bien de fuerte acumulación de carbonatos (cálcico o petrocálcico), el régimen de humedad del suelo es el carácter predominante, en ausencia de otros horizontes o propiedades de diagnóstico. Para régimen de humedad arídico, nos situamos en el orden Aridisols: G. G. Camborthids (20% de los suelos estudiados), G. G. Calciorthids, Paleorthids (7%) y Haplargids (4%). Para régimen de humedad xérico, corresponde el orden Inceptisols, G. G. Xerochrept (4%).

Sólo se han reconocido dos horizontes de diagnóstico diferentes del cámbico: el primero es un horizonte de superficie suficientemente oscuro y profundo para la definición de epipedion móllico. El suelo se clasifica dentro del orden Mollisols, G. G. Haploxerolls. En general, los suelos de la depresión son de color demasiado claro, a pesar de cumplirse el requisito de contenido en C orgánico, para Mollisols.

En el segundo caso, se ha reconocido la existencia de horizonte argílico. Los argílicos con régimen de humedad arídico ya se han citado y corresponden al orden Aridisols. En argílicos con régimen xérico, la elevada saturación de bases hace que se consideren en el orden Alfisols, G. G. Haploxeralf.

A nivel de subgrupo, los criterios que intervienen, en nuestro caso, son la existencia de contacto lítico a menos de 50 cm. y la duración de la época en que el suelo está seco totalmente, para régimen arídico. En negativo, intervienen fundamentalmente la no existencia de otros caracteres de diagnóstico.

Hasta aquí, los suelos no se agrupan siguiendo las líneas evolutivas observables por la morfología del perfil, grado de descarbonatación, liberación de hierro, contenido en yeso, etc.. Ello hace que, al nivel de subgrupo, la Soil Taxonomy nos sea poco útil en los estudios de humus.

Si consideramos las Familias de suelos, los criterios que se añaden a los de los niveles sistemáticos superiores son: clase de tamaño de partículas, clases mineralógicas, existencia de carbonatos en la tierra fina, acidez y régimen de temperatura del suelo. Estos caracteres se ajustan mejor a los fines propuestos en la presente tesis.

#### b) Por la C.P.C.S..

La sistemática francesa tiene unas características muy diferentes a la Soil Taxonomy. Aquí el tamaño del perfil no es un elemento discriminatorio y los criterios son más genéticos. Por otra parte, los límites entre los taxa son generalmente difusos, con lo que se hacen muy frecuentes los intergrados.

Dado que hemos adoptado la nomenclatura de los horizontes según la C.P.C.S. y su importancia en las definiciones de los diferentes tipos de suelos, vamos a comentar los problemas planteados:

- Sobre la distinción entre  $A_0$  y  $A_1$ . Normalmente hay una gra

dación entre ambos horizontes. La parte inferior del  $A_0$  (nivel H de Hesselman) se imbrica con frecuencia en el  $A_1$ . En el límite, se suelen depositar turrícolas de lumbrícidos que favorecen la continuidad y la incorporación de la materia orgánica en el suelo mineral. Este elemento, acompañado del pequeño espesor del  $A_0$ , hacen inviable en ocasiones el muestreo por separado de ambos horizontes. Siguiendo las definiciones de la C.P.C.S., hemos considerado la notación  $A_0$  cuando el contenido en materia orgánica total es superior al 30%. Se plantea la duda de si el valor es referido sólo a la fracción inferior a 2 mm., o incluye asimismo los residuos orgánicos poco transformados que en ocasiones son muy abundantes. Lógicamente, la existencia de estos últimos indica una proximidad al  $A_{00}$ , o la capa F del  $A_0$ . El criterio finalmente adoptado, ha sido el de anotar  $A_0$  para los siguientes casos:

- 1) Morfología del horizonte en el campo claramente orgánica (F o H).
- 2) Para morfologías intermedias, contenido en materia orgánica superior al 30%, o, cuando los valores son algo inferiores, si presenta abundantes restos vegetales organizados.

La cierta subjetividad en la separación de los horizontes ricos en materia orgánica, ha provocado una amplia disparidad de criterios en el muestreo y asignación de resultados analíticos en suelos forestales como constata Fereeder (1982).

- La distinción entre  $A_1$  y (B).

La C.P.C.S. define los horizontes A como horizontes minerales, enriquecidos en materia orgánica que ocupan la parte superior o el conjunto del perfil. El  $A_1$  presenta la materia orgánica bien mezclada con la mineral y es en general de color oscuro (o como mínimo igual de oscuro que los horizontes subyacentes según la Soil Taxonomy).  $A_3$  es un horizonte de transición entre A y B, pero más próximo de A que de B.

La depresión y sus horizontes superficiales presentan generalmente coloraciones claras. El contenido en materia orgánica de los horizontes minerales de superficie es muy variable, sobre



todo en suelos fersialíticos. En algún caso llega a ser del 5% bajo el  $A_0$ . Con frecuencia depende de la pedregosidad propia o superficial que condiciona la incorporación de materia orgánica por la fauna edáfica. No hay una relación directa apreciable, en nuestro caso, entre el color y contenido en materia orgánica, salvo para valores de ésta muy elevados.

Un tercer elemento a considerar podría ser el cambio de estructura, guardándose, en nuestro caso, las poliédricas para los horizontes (B), y las grumosas o granulares para los A. Los horizontes de superficie de suelos fersialíticos, generalmente arcillosos, en muchos casos conservan una estructura poliédrica, a pesar del enriquecimiento en materia orgánica.

De los criterios citados, creemos que en nuestro estudio debe ser predominante el del contenido en materia orgánica por permitir la mejor comparación entre resultados. Presenta la ventaja de ser un sólo criterio, con lo que es generalizable y permite su utilización de igual manera en todos los suelos. Por otra parte, expresa bien la naturaleza de la transición al (B).

Si empleáramos de forma combinada la estructura y la posición respecto a la superficie del suelo mineral, tendríamos horizontes (B) más orgánicos que algunos  $A_1$ , y todo ello en un área geográfica relativamente homogénea.

El porcentaje de materia orgánica crítico seleccionado en la separación entre A y (B) es de un 4%. Este valor, arbitrario en parte, se ha escogido porque contenidos no demasiado inferiores se han encontrado en rocas margosas o margo-yesíferas muy poco edafizadas, y por tanto valores de este orden no son significativos de un especial enriquecimiento en materia orgánica (a nivel regional).

Se ha utilizado el horizonte  $A_3$  para designar los horizontes de transición al (B) en que, con una estructura poliédrica subangulosa y color poco oscuro, el contenido en materia orgánica es superior al 4%, con lo que consideramos el horizonte más próximo al A.

El horizonte de transición es homogéneo, por lo que no tiene sentido el uso de las notaciones AB que indican la presencia de dos partes diferenciadas, demasiado estrechas para el muestreo por separado.

Con frecuencia, el  $A_3$  descansa directamente sobre R, pero en los casos en que el suelo es más profundo, se desarrolla un (B). Por tanto, creemos que también se ajusta la definición de  $A_3$  a los criterios de la Soil Taxonomy.

- La distinción entre (B) y C. El problema podría presentarse en los suelos sobre marga, pues las calizas y areniscas suelen estar en forma de R y la separación es obvia.

En los suelos sobre marga, sea o no yesífera, el criterio fundamental es la presencia de estructura edáfica. Generalmente se acompaña de una cierta descarbonatación, o pérdida de yeso en su caso, y aumento en el porcentaje de arcillas.

#### Tipificación de los suelos.

Los suelos estudiados pertenecen a dos clases: la de los suelos calcimagnésicos y la de los suelos con sesquióxidos de Fe (restringida a la subclase de los suelos fersialíticos). Son frecuentes los intergrados entre ambas clases.

Dentro de los suelos calcimagnésicos, tenemos dos subclases: S.C. suelos carbonatados y S.C. suelos yesíferos.

Los suelos carbonatados se caracterizan por poseer más que trazas de carbonatos en la tierra fina del A (y la ausencia de cantidades apreciables de yeso). En función de la presencia o no de horizonte (B), se distinguen las rendsinas, AC o AR, de los suelos pardo calizos, A(B)C o R. La importancia de la presencia de horizonte (B) justifica la atención dedicada anteriormente. Los suelos  $A_1A_3C$  o R se han considerado intergrados entre ambos grupos.

En las rendsinas y a nivel de subgrupo, los criterios de

distinción se basan en el contenido en materia orgánica (en  $A_1$ ) y la riqueza en cal activa. Queda como excepción, el subgrupo de las xerorendsinas que no se definen en el texto de la C.P.C.S.. Tampoco hemos encontrado definición alguna de este subgrupo en los autores franceses que se han consultado abundantemente. Una descripción de tal taxon se encuentra en Kubierna (1952), quien lo define como suelo gris blanquecino, pobre en humus y muy calizo. No es evidentemente nuestro caso.

En la subclase de los suelos yesíferos es condición necesaria la presencia de sulfato cálcico en el horizonte superior.

La subclase de los suelos fersialíticos, se divide en los grupos "con reserva cálcica" y "sin reserva cálcica, ilimerizado". En el primer grupo tienen cabida los suelos con indicios de recarbonatación: Subgrupo de los suelos recalificados. En los casos en que el suelo es superficial, y por efecto de los aportes orgánicos, tenemos un intergrado entre suelo fersialítico y rendsina (fersialítico rendsiniforme). Este tipo de suelos ha sido denominado también rendsina roja (Callot, 1972).

## RESULTADOS

Los tres grandes grupos en que hemos dividido los suelos estudiados no son estrictamente sistemáticos. Se han realizado seleccionando las características diferenciales más importantes para la zona de trabajo. No obstante, en este ordenamiento global se utiliza la terminología y criterios generales de la C.P.C.S. (1967) por expresar mejor, en nuestro caso, las unidades edafogenéticas.

### SUELOS FERIALITICOS

En este apartado se incluyen los suelos caracterizados por una importante descarbonatación (aunque pueden presentar recarbonatación, supuestamente posterior) y liberación de óxidos de hierro que les confiere coloración rojiza (rubefacción). La roca madre son calizas duras (micríticas) y, excepcionalmente, areniscas calcáreas.

Los estratos calizos son poco potentes: Entre 40 cm. y, en pocos casos, 1 m. o más. Alternan con margas de mucho mayor espesor. Las calizas duras siempre están fuertemente fragmentadas e interpenetradas por las raíces de árboles y arbustos que, por otra parte, colaboran en la fragmentación. La cubierta edáfica suele ser continua, a diferencia de los sistemas kársticos del País en situaciones topográficas culminales; probablemente es debido a la extensa fragmentación, generalizada a la escala del polipedon.

Estos suelos son superficiales, alcanzando raramente los 50 cm..

A partir de este marco común, hay toda una serie de estadios de desarrollo, caracterizados por las propiedades que se relacionan a continuación.

- Recarbonatación.

En la Depresión Central hay prácticamente todos los estados posibles: 1) Suelos ácidos, sobre arenisca calcárea. 2) Ligeramente básicos, casi sin carbonatos en la tierra fina (sólo en la fracción arena) pero con reserva cálcica, y con o sin precipitados secundarios en los fragmentos de caliza. 3) Presencia de precipitados secundarios, pseudomicelios e incluso nódulos, en la parte inferior del perfil y 4) Cimentación del horizonte (B) ó B profundo, hasta encostramiento pulverulento (horizonte cálcico). En el área estudiada, no hemos observado costra dura (petrocálcico) en relación directa con un suelo fersialítico, hecho común en otras zonas de Cataluña. En cambio, son generalizadas las recarbonataciones en las superficies verticales y horizontales de los bloques de caliza.

Mermut y St. Arnaud (1981) han podido observar mediante microscopía de barrido que los cristales la mayoría de carbonatos secundarios tienen un diámetro comprendido entre 0.3-1 micra. Wieder y Yaalon (1982) afirman que en medios calcáreos, y texturas medias, la formación de nódulos carbonatados se relaciona con el aumento de microcalcitas. Estas presentan un tamaño de 1 a 8 micras, variando el valor de forma inversa al contenido en arcillas. En consecuencia, la acumulación de carbonatos en la fracción arcilla será un buen índice de recarbonatación en suelos arcillosos.

- Ilimerización.

Sólo se han observado con claridad cutanes en los suelos ácidos en el extremo norte, más lluvioso, del área (régimen de humedad xérico).

De la prospección detallada de dicha zona, se concluye que el proceso es muy localizado y, por tanto, debe ser producto de edafogénesis no actual. Estos suelos se caracterizan por la existencia de A<sub>2</sub> eluvial, B textural, (cutanes de iluviación) y pH ácido que se hace neutro en B<sub>2</sub>. La mayor facilidad de ilimeri

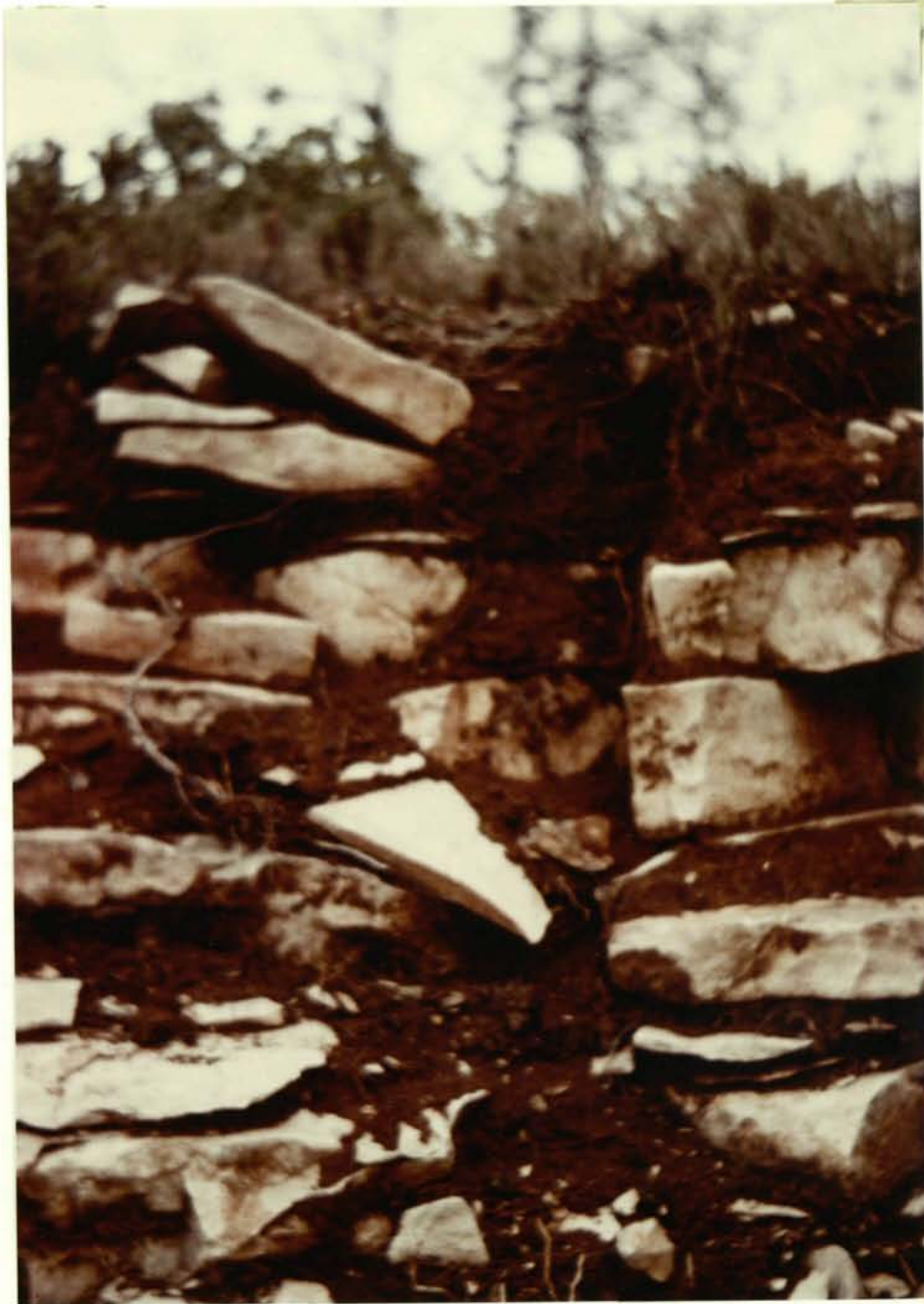


FIGURA nº 8.- Suelo fersialítico rendsiniforme  
fisural. Junto al perfil F8008.

zación de las areniscas calcáreas respecto a las calizas micríticas ha sido observada por diversos autores en climas semiáridos y subhúmedos mediterráneos (Ruellan 1970, Bottner 1972, Lamouroux 1972). Sobre calizas y en suelo de textura fina, la traslocación de arcillas es menos evidente. Smith y Buol (1968) observan la escasez de cutanes de iluviación y la presencia de caras brillantes, de presión, en suelos de regiones áridas y semiáridas; concluyen que los horizontes argílicos de estas áreas son producto de la formación in situ y la iluviación de arcillas finas (< 0.2 micras). Nettleton et al. (1969), en climas áridos y mediterráneos del suroeste de Estados Unidos, afirman que en horizontes  $B_t$  de suelos pesados no se distinguen los recubrimientos de arcillas de las caras brillantes producto de la contracción o hinchamiento del suelo. Achacan esta poca diferenciación a la destrucción de los cutanes para un potencial de contracción-hinchamiento superior al 4%. La Soil Taxonomy (U.S.D.A., 1975) comenta asimismo la dificultad de reconocer el horizonte argílico, tanto mayor cuanto más arcilloso y superficial es el suelo. En estos casos extremos, precisamente, se encuentran nuestros suelos fersialíticos sobre calizas. En ningún caso hemos observado cutanes de iluviación; sólo en algunos de los perfiles más diferenciados hay caras brillantes de presión, poco abundantes, junto con un importante contraste textural respecto del horizonte inmediato superior. Ambas condiciones son suficientes para la definición de argílico por la Soil Taxonomy. En la mayoría de los casos, la inexistencia de contraste textural debida a la mezcla de materiales por coluvionamiento, a falta de desarrollo del perfil (con la consiguiente elevada pedoturbación biológica) o a posible decapitamiento pretérito de los horizontes eluviales, impiden evidenciar el carácter textural de los horizontes más o menos arcillosos. No obstante, por comparación con los argílicos reconocidos, es muy probable que bastantes de los suelos fersialíticos superficiales de la depresión, sean B texturales truncados.

- Color.

Si tomamos como referencia el horizonte más mineral,  $A_3$  o (B), los colores son 5YR (5'5/4 a 6/6) -pardo rojizo a amarillo rojizo- y 7'5YR (4/4 a 6/5) -pardo a pardo rojizo claro-. La recarbonatación (sobre todo si es generalizada) comporta normalmente una disminución del color rojizo (7'5YR) y de la tasa de liberación de hierro. Los suelos formados a partir de arenisca calcárea, presentan colores en 7'5YR; puede ser debido al elevado porcentaje de arenas existente que enmascararían el color rojizo asociado a las arcillas, o a un empardecimiento (presencia de goethita).

Los horizontes A son claros y por ello, salvo en un caso (perfil F7951), no cumplen para epipedion mólico de la Soil Taxonomy. Es de destacar que para suelos similares de zonas más áridas que la nuestra, se han citado colores más oscuros: Alias et al. (1973) para suelos de Murcia, y Pouget (1980) en el Atlas argelino. En los suelos fersialíticos forestales del Sur de Francia (Bottner, 1972), los colores en  $A_1$  son en algunos casos más oscuros y en otros similares a los de la Depresión Central. Los  $A_1$ , sobre todo los más orgánicos, presentan coloraciones 7'5YR a pesar de la alta liberación de hierro.

Los colores rojizos son debidos a los óxidos de hierro cristalinos de tipo oligisto (Duchaufour, 1977).

Schwertmann et al., 1974 (citados por Duchaufour, 1977) señalan el empardecimiento superficial de los suelos fersialíticos forestales como un proceso provocado por la formación de complejos organo-metálicos que liberan el Fe lentamente, y como consecuencia se produce la cristalización de goethita de color ocre a pardo. Este fenómeno de empardecimiento superficial podría explicar las coloraciones 7'5YR de gran parte de los  $A_1$  de nuestros suelos. También puede ser la causa el enmascaramiento por la coloración de la materia orgánica, cuando ésta es suficientemente abundante. Este proceso de empardecimiento superficial alcanza mayor profundidad de desarrollo en los suelos fersialíti-



cos con reserva cálcica del sur de Francia (Bottner, 1972).

Torrent y Guzmán (1982) y Torrent et al. (1982) comprueban que la poca actividad hídrica, las altas temperaturas y la abundancia de Ca y Mg, favorecen la formación de oligisto sobre goethita.

- Tasa de liberación de hierro.

En los suelos sobre calizas, el cociente  $Fe_1/Fe_t$  oscila entre un 45 y un 55% en los horizontes  $A_3$  y (B) o B descarbonatados. La recarbonatación implica un descenso del cociente, situándose la mayoría de valores entre 30 y 40%. Los  $A_1$  suelen presentar un ligero aumento que se hace mayor en los  $A_0$  (hasta un 60%). Este hecho tiene que ver con la disminución en dichos horizontes de la cantidad de minerales primarios, de carbonatos y el aumento de las formas de hierro libre orgánico.

En los suelos fersialíticos ácidos o neutros sobre arenisca calcárea, los valores son algo inferiores, entre 35 y 45%, debido probablemente a la abundancia de minerales primarios ferromagnésicos.

Según Duchaufour y Souchier (1977) la razón  $Fe_1/Fe_t$  excede generalmente el 60% en los suelos fersialíticos, salvo en los perfiles jóvenes con rubefacción muy rápida. Bottner (1972) obtiene valores entre 65-70% para (B) fersialíticos en el Midi francés, sobre calizas.

En comparación con los otros grupos de suelos estudiados, la liberación de Fe es superior en los fersialíticos.

- Textura y distribución de los carbonatos en las fracciones granulométricas.

Los suelos fersialíticos sobre arenisca presentan textura franco-arenosa, siendo la fracción dominante la arena gruesa.

Sobre calizas, las texturas son más finas: franco-limosa, franco-arcillo-limosa, franco-arcillosa y arcillo-limosa. La fracción arena gruesa suele ser minoritaria y está constituida de fragmentos de caliza (alto porcentaje de carbonatos). Por el contrario,

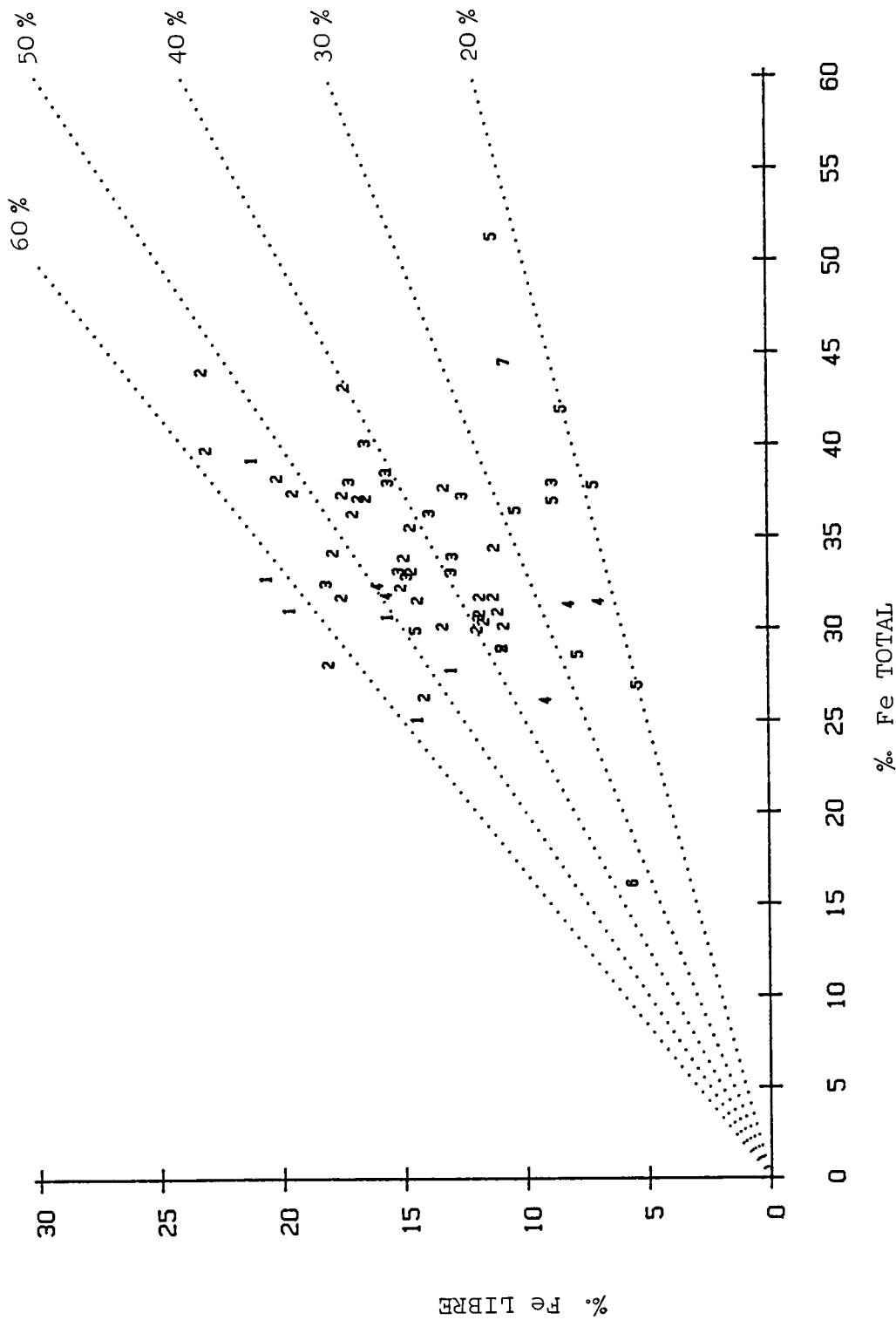


FIGURA nº 9.- Tasa de liberación de hierro. Las líneas de puntos indican el límite de los porcentajes de liberación de hierro. Los valores se refieren a muestra mineral descarbonatada. 1: A<sub>0</sub>; 2: A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> y 3: B o (B) de suelos fersialíticos. 4: A<sub>0</sub>; 5: A<sub>1</sub> y 7: C de suelos carbonatados sobre margas. 6: C yesífero.

a partir de las arenas finas y hacia las fracciones más finas, se trata mayoritariamente de elementos silicatados. Estos datos deben estar en relación con la composición granulométrica del residuo insoluble de la roca madre caliza. Quirantes (1978) cita para las calizas de la depresión la presencia notable de sílice de tamaño limo y cuarzo de tamaño limo grueso y arena fina.

La recarbonatación in situ, se expresa por un aumento en los carbonatos de las fracciones A y LF. Las muestras más recarbonatadas, presentan un aumento general en todas las fracciones, pero fundamentalmente en el LF.

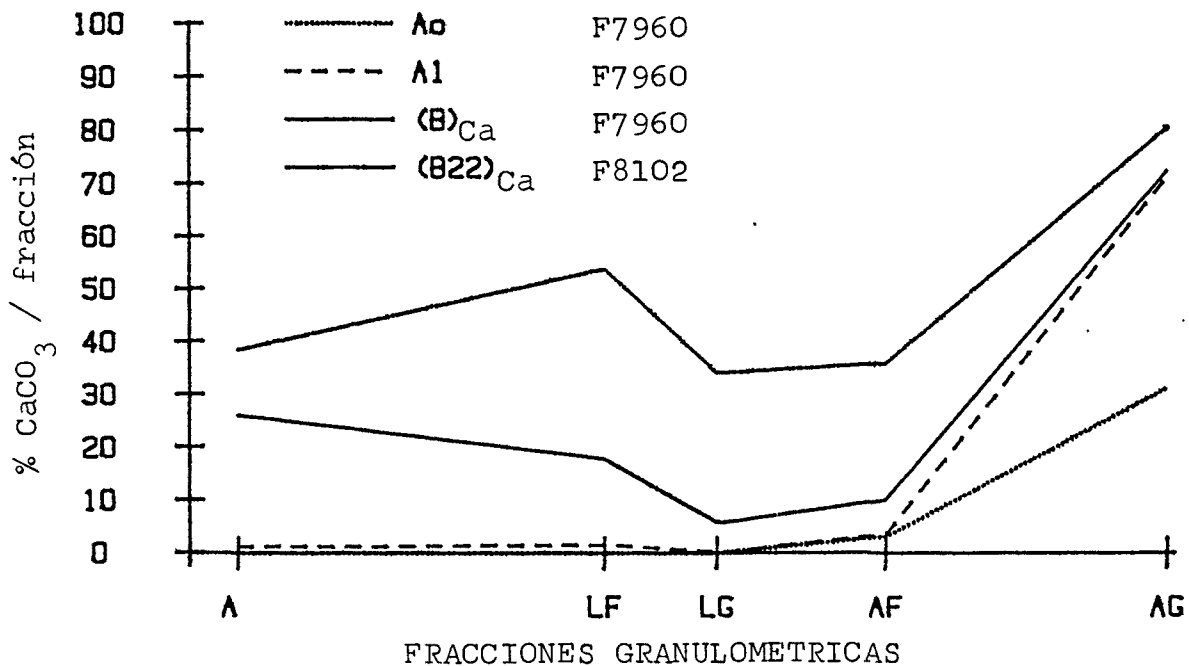


FIGURA nº 10.- Distribución de los carbonatos en las fracciones granulométricas de suelos fersialíticos con diferente grado de recalcificación.



FIGURA nº 11.- Suelo fersialítico próximo al perfil F7966.  
Destaca el nivel de piedras superficial.

- Horizontes orgánicos.

La existencia de  $A_0$  no es constante aunque si muy generalizada. En muchos casos, está asociada a la presencia de una fuerte pedregosidad superficial y se pueden separar las capas F y H. El tema se tratará con más profundidad en el capítulo siguiente.

- Pedregosidad.

Es variable, pero son frecuentes los depósitos superficiales de guijarros calizos angulosos, coluviales, muy poco alterados que a veces se superponen a niveles sin piedras. En el perfil F8102, en profundidad, se encuentran pocas piedras calizas, muy desgastadas superficialmente, romas, que pueden ser indicadoras de un ciclo erosivo diferente del actual.

La roca caliza dura in situ siempre está fuertemente fragmentada.

Los suelos sobre arenisca presentan una pedregosidad prácticamente nula.

- pH y saturación de bases.

El pH es fuertemente dependiente de la presencia de carbonatos, con lo que habrá un cierto paralelismo entre ambos valores.

Tenemos muestras ácidas sobre arenisca calcárea que pueden presentar, en los  $A_2$ , pH de 5. Estos suelos, aparentemente excepcionales en la depresión, se localizan en su extremo norte.

En el caso más general de suelos fersialíticos sobre calizas, los pH son superiores a 7 excepto en algunos  $A_0$  que es ligeramente inferior. En las muestras no o poco carbonatadas, el pH es próximo a 7.5; la recarbonatación acerca los valores a 8.0.

Los suelos sobre caliza están saturados de bases. Los formados a partir de arenisca presentan una desaturación acorde con el pH. Los  $A_2$  eluviales en particular, presentan una saturación entre 50-60%.

Se ha estimado la capacidad de cambio (T) de las arcillas,

descontando del valor global, un porcentaje debido al humus calculado, suponiendo una CIC de 250 meq /100 g. de la m. o. los valores en (B) o  $B_t$  son entre 25 y 35 meq /100 g. arcilla.

- Mineralogía de arcillas.

De los resultados obtenidos se observa una composición relativamente homogénea para los diferentes perfiles. En la mayoría de los casos, la illita es el mineral de arcilla dominante. Sólo en los suelos acidificados sobre arenisca calcárea, llega a dominar la vermiculita en los horizontes profundos. El segundo mineral de arcilla en importancia suele ser la caolinita que se mantiene poco variable en el perfil. La vermiculita es en general inversamente proporcional a la clorita e illita. Aquella aumenta en profundidad, sobre todo en los suelos sobre arenisca. La clorita llega a desaparecer, y es frecuente la forma parcialmente abierta. Las esmectitas son muy poco abundantes, sólo se encuentran en intensidades apreciables en los horizontes recarbonatados y es prácticamente inexistente en los horizontes de superficie. De entre los interestratificados, el más abundante es illita-vermiculita aunque son frecuentes los interestratificados de tránsito de I y C a las formas hinchables (I-M, I-V, Cg, C-Cg).

En la interpretación de la composición y distribución de las arcillas, se considerarán los siguientes elementos:

- De las vías posibles de formación de arcillas (Millot, 1964), parece que en el área de estudio, han de ser predominantes la herencia y la transformación. La herencia de las arcillas preexistentes en las rocas sedimentarias. La transformación, dependiente de las condiciones edafogenéticas y de los minerales de partida.
- Las arcillas en general, y en particular la illita, son muy estables en medios carbonatados y para pluviosidades bajas (menos de 600 mm. en el Libano según Lamouroux (1972)).
- En los horizontes de superficie, las alteraciones son más fuer

tes y se producen hidrólisis de los minerales de arcilla con aumento de los productos amorfos (Yaalon et al., 1966, citado por Lamouroux, 1972).

- En clima mediterráneo húmedo, la hidrólisis de los minerales arcillosos en medios bien drenados, comporta la formación de vermiculita: Paquet (1969) y Ruellan (1970) lo constatan en Marruecos, para precipitaciones actuales del orden de 600 mm.; Lamouroux (1972) para las montañas del Líbano, relaciona la vermiculitización a partir de illita, con pluviosidades del orden de 1000 mm. y superiores.

Bottner (1972) a partir del estudio de los suelos fersialíticos del Languedoc, afirma que el proceso de evolución de arcillas dominante en la zona es la vermiculitización, que se presenta en sus estadios más avanzados en los suelos ilimerizados, sin reserva cálcica; en los suelos fersialíticos con reserva cálcica, no observa una evolución apreciable. Alias y Albadalejo (1978) citan la presencia muy frecuente de vermiculita en terras rossas españolas, y su ausencia en la roca caliza subyacente.

La formación de vermiculita será en general por transformación a partir de micas o illita, por pérdida de K interlamina, hidratación y expansión (Millot, 1964). Vermiculitas y montmorillonitas pueden resultar como producto de la degradación de cloritas (Barnhisel, 1977). Lietzke et al. (1975) señalan la transformación de vermiculita cloritizada a vermiculita en condiciones drenantes, alto contenido en materia orgánica y pH 6.3 a 7.5 .

- La transformación por adición de vermiculita a clorita secundaria (alumínica), es posible en medios muy ácidos, ricos en alúmina libre y como término de una evolución prolongada (Hétier et Tardy, 1969).
- En el marco del presente estudio, sólo se ha realizado la iden

tificación de minerales de arcilla de dos rocas margosas, en las que la composición está muy diversificada, con dominancia de illita.

Pinilla (1966) y Quirantes (1978) afirman que, de forma general, es la illita el mineral dominante en las rocas de la Depresión del Ebro.

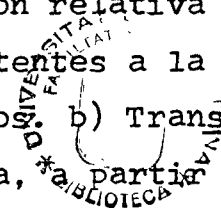
De acuerdo con la información expuesta, se extraen las siguientes conclusiones respecto a la evolución de los minerales de arcillas en los suelos fersialíticos estudiados:

- La presencia de vermiculitas se relacionaría con una pluviosidad elevada y un medio bien drenado, en el supuesto de que la arcilla dominante en la roca madre sea illítica o clorítica. De acuerdo con esta idea, la importancia cuantitativa de las vermiculitas es mayor en los suelos fersialíticos sobre arenisca, más acidificados y con elevada macroporosidad.

Por otra parte, el aumento generalizado de las vermiculitas en los horizontes inferiores hace pensar en que su formación no es activa en la época actual. Sería, además, poco acorde su génesis con las condiciones climáticas de gran parte de la depresión. En los suelos ilimerizados y especialmente sobre arenisca, la acumulación de vermiculita en profundidad, puede ser explicada por una traslocación diferencial (Alias y Albadalejo, 1978).

La vermiculita, al igual que la montmorillonita, se formaría a expensas de illitas y cloritas. Son frecuentes las formas abiertas de las mismas y los interestratificados que lo atestiguan.

- Las cloritas e illitas que aumentan en superficie, podrían tener las siguientes procedencias: a) Una acumulación relativa en la parte superior del perfil por ser más resistentes a la degradación, particularmente en medios carbonatados. b) Transformación por agradación, en el caso de la clorita,





de vermiculita. c) De aportes posteriores a partir de materiales menos evolucionados.

El primer caso está en contradicción en lo expuesto a propósito de la génesis de las vermiculitas; por otra parte, la clorita llega a ser inexistente en los B y (B) de algunos suelos analizados. El caso b) no parece ser posible en las condiciones climáticas actuales o subactuales, ya que requiere una elevada riqueza en alúmina y fuerte acidez (Hétier et Tardy, 1969). La opción que nos parece más razonable es, pues, la de un rejuvenecimiento de los suelos, hecho que se ve apoyado por la presencia frecuente de materiales coluviales en superficie y las recarbonataciones de niveles fersialíticos.

- La caolinita presenta una distribución bastante constante en el perfil. Su elevada estabilidad hace pensar que es heredada de la roca madre.

En resumen, parece que se pueden considerar dos etapas en las condiciones de génesis de arcillas. Una antigua, correspondiente a un clima de elevada pluviosidad (por comparación con los datos de Lamouroux (1972) sería de alrededor de los 1000 mm.) de vermiculitización, sobre la que se superpone una etapa de clima seco, conservativo, como el actual, caracterizado por las illitas y cloritas heredadas.

### Clasificación de los suelos

Boulaine (1978) propone la denominación global de suelos calférsicos para los suelos más o menos rubefactados de clima mediterráneo. Esta definición no se incluye en una sistemática determinada, con lo que, por el momento, no la vamos a utilizar. Seguiremos, al igual que para los otros grupos de suelos, la Soil Taxonomy y C.P.C.S..

- a) Por la Soil Taxonomy.

Al nivel sistemático de subgrupo, los tipos clasificados

no responden a las características descritas en los apartados anteriores, y los taxa no difieren de los suelos carbonatados o yesíferos. Ello es debido a que los criterios de la Soil Taxonomy a este nivel de clasificación, no tienen en cuenta la mayoría de las características citadas arriba. Sólo en el caso de los perfiles ilimerizados, por ser ésta una característica preferente en la sistemática americana, hay una clasificación distinta al nivel de subgrupo.

Ha sido necesario utilizar las familias de suelos para tener una agrupación de los mismos acorde con los objetivos del trabajo.

Las familias reconocidas son las siguientes:

- Torriorthent lítico xérico arcilloso, mixto, no ácido, méxico.

Son suelos superficiales sobre calizas duras, de perfil  $A_1A_3R$ . La profundidad del suelo mineral es menor de 20 cm.. La pedregosidad es variable pero inferior al 35% en volumen. Las piedras son calizas grises angulosas, iguales que las de la roca madre. No hay recarbonatación apreciable, sólo precipitados secundarios en alguna piedra del  $A_3$  y, sobre todo, del R.

La textura de  $A_3$  es arcillo-limosa y el contenido en arcillas superior al 35%. Sólo la fracción arena gruesa está fuertemente carbonatada.

Los colores en  $A_3$  son siempre 5YR. El grado de liberación de hierro oscila entre 45-55% aproximadamente.

A pesar de la casi ausencia de carbonatos, son suelos saturados. El pH es ligeramente básico.

El régimen de humedad es arídico próximo a xérico, y el de temperatura méxico. La aridez del suelo está muy condicionada por su baja capacidad de reserva de agua utilizable que a su vez depende mucho del espesor del suelo.

Los dos perfiles clasificados es esta familia están situados entre 700-800 m. de altitud, dorsal de la Segarra, sobre el altiplano en la divisoria de aguas con la cuenca del Anoia, cer

ca de La Panadella.

La vegetación de la zona está constituida básicamente de robledales de Quercus faginea, con Pinus nigra y Quercus rotundifolia menos frecuentes. Entre las masas boscosas se desarrolla bien Quercus coccifera.

- Haplargid lítico xeróllico arcilloso, mixto, no ácido, méxico.

Suelos situados en la misma área geográfica que los del grupo anterior y bajo igual vegetación, de los que se diferencian por presentar horizonte argílico evidente. Todas las demás características son equivalentes. Hasta el porcentaje de arcillas en  $B_t$  de estos suelos es similar al de los de la familia precedente. Estos hechos hacen pensar que dichos Entisols arcillosos sean argílicos residuales que han sufrido truncamiento del horizonte eluvial preexistente.

- Torriorthent lítico xérico franco, mixto, no ácido , méxico.

Son suelos pedregosos en superficie o en todo el perfil que sólo se diferencian de la familia descrita en primer lugar en la textura, que es franco limosa (menos de un 35% de arcillas).

Los tres perfiles incluidos en esta familia están relativamente próximos entre sí. Se sitúan en el siguiente escalón de cuesta respecto a los grupos anteriores, hacia el oeste, entre 600 y 650 m. de altitud.

Las especies forestales son Quercus faginea y Quercus rotundifolia.

- Torriorthent lítico xérico franco, mixto, no ácido, térmico.

La denominación de la familia sólo difiere del grupo anterior en el régimen de temperatura, pero hay alguna otra diferencia destacable, quizá relacionada con las condiciones de mayor sequedad.

Los dos perfiles incluidos en esta familia son pedregosos, sobre todo en superficie, de textura franco-arcillo-limosa y, a diferencia de los dos grupos anteriores, presentan precipitados

secundarios de carbonatos. El contenido total en carbonato cálcico equivalente es próximo al 10%, a pesar de lo cual la efervescencia al HCl sólo es localizada. Ello hace que no se considere el adjetivo "calcáreo" en la clase mineralógica. Paralelamente al aumento de carbonatos, el color se hace menos rojizo, 7'5YR, la tasa de liberación de hierro disminuye a un 40% y el pH es del orden de 8 en A<sub>1</sub>.

Los porcentajes de carbonatos de las fracciones respecto del valor total, están repartidos bastante homogéneamente, siendo la arcilla la fracción que aporta un tanto por ciento mayor.

Estos perfiles están en las estribaciones de la Sierra de La Fatarella, en el extremo sur del área de estudio, a 500 m. de altitud.

La especie forestal dominante es Pinus halepensis.

- Torriorthent lítico xérico franco, mixto (calcáreo), térmico.

Suelo muy similar al anterior. A diferencia de aquel, la efervescencia al HCl es generalizada. Siendo el porcentaje de carbonatos casi igual, el hecho se explica por la distribución de los mismos. En este caso, la mayor parte de los carbonatos son de fracción limo y no están asociados a concreciones visibles a la lupa; por tanto, su mayor dispersión provoca una efervescencia generalizada.

El suelo está en el área del Rhamno-Quercetum cocciferae.

- Camborthid lítico xeróllico franco, mixto (calcáreo), méxico.

Suelos con endopedion cámbico. La diferencia con los perfiles anteriores estriba, a este respecto, sólo en que la profundidad total es de 25 cm. o más.

Los dos perfiles analizados que se clasifican en esta familia, tienen material coluvial pedregoso en superficie y pseudo micelios en los horizontes profundos. La tasa de liberación de hierro en estos horizontes es del 40% y la textura es franco-arcillosa o franco-limosa. El color es de 5YR. No hay iluviación de arcillas. De estos suelos se conoce la mineralogía de arcillas que es mixta: domina illita y después caolinita y vermiculita.

Los dos suelos de la unidad, están muy próximos entre sí, en el altiplano de la Segarra, a una altura de 680 m..

La vegetación está constituida por carrascal cerrado.

- Camborthid lítico xeróllico franco-esquelético, mixto (calcáreo), térmico.

Esta familia tiene como características diferenciales la presencia de endopedion cámbico, la gran abundancia de piedras (más del 35% en volumen), la presencia de carbonatos difusos y el régimen de temperatura térmico. El  $\% Fe_1/Fe_t$  ya es algo bajo, de un 35%, y el color se hace más pardo, 7'5YR.

Un perfil de los estudiados cumple las citadas condiciones. está situado a 480 m. de altitud, ya en la comarca de Les Garrigues. La vegetación refleja el aumento de temperatura media y/o la sequedad con la aparición de Pinus halepensis que alterna con las carrascas.

- Camborthid lítico xeróllico arcilloso, illítico, no ácido, méxico.

Tenemos un perfil de estas características: profundidad superior a 25 cm., porcentaje de arcillas en  $A_3$  mayor del 35%, más del 50% de las arcillas de naturaleza illítica y ausencia de carbonatos en  $A_3$ . No obstante, presenta en superficie material coluvial que contiene concreciones calizas secundarias. Este nivel fosiliza un horizonte  $A_{12}$  de pH 6.7. Es el único caso sobre ca-

lizas en que el pH es inferior al neutro, en horizonte mineral. Destaca asimismo la poca liberación y lavado actual de carbonatos que mantienen este horizonte descarbonatado y algo ácido aún siendo muy pedregoso (piedras calizas) y teniendo concreciones calizas secundarias, relativamente solubles, en A<sub>11</sub>.

El color es 5YR y la liberación de hierro es de un 45%.

Está situado en las últimas estribaciones del altiplano de la Segarra hacia el llano de Urgell. La altitud es de 400 m. y la vegetación forestal es de carrasca exclusivamente.

- Camborthid xeróllico franco, carbonatado, méxico.

Un perfil en esta familia, a pocos metros de un Torriorthent arcilloso y con el cual se relaciona probablemente en su génesis. A diferencia de aquel, no presenta el nivel de calizas a menos de 50 cm. y tiene una costra caliza blanda (horizonte cálcico). La pendiente general de la zona es suave, pero parece suficiente para que el lavado lateral de bicarbonatos provoque la costra en este punto, en que aparece un nivel impermeable (de margas) a poca profundidad. Este es un mecanismo frecuente en medios mediterráneos o más áridos (Ruellan, 1970).

- Xerochrept lítico franco, carbonatado, térmico.

Este suelo contiene una elevada capacidad de agua utilizable, por ser relativamente profundo, con lo que presenta régimen de humedad xérico en el extremo árido del área de estudio. Es un perfil sobre calizas duras, fuertemente recarbonatado, sobre todo en los horizontes profundos, de colores 7'5YR. Los carbonatos se concentran en la fracción limo fino. La liberación de hierro se mantiene en un 40%.

El suelo está enclavado en la Plataforma de Maials. La vegetación arbórea está constituida por Quercus rotundifolia y Pinus halepensis.

- Haploxeroll lítico franco, mixto (calcáreo), méxico.

Sólo se ha muestreado un suelo que cumple las condiciones

de epipedion móllico.

Presenta, además, efervescencia al HCl, en forma difusa, y un color de 7'5YR. La tasa de liberación de hierro es del 40%.

Está situado en la parte sur de la dorsal de la Segarra, a 775 m. de altitud. El árbol predominante es Quercus faginea.

- Haploxeralf lítico rúptico-xerochréptico franco, mixto, no ácido, méxico.

Esta y las siguientes familias de suelos, se desarrollan sobre arenisca caliza y no sobre caliza micrítica como todos los anteriores. Asimismo, al estar situados en el extremo norte del área de estudio, presentan régimen de humedad xérico debido al aumento de la pluviosidad y disminución de ETP.

En el caso presente, tenemos horizonte eluvial, endopedion argílico, textura franco-arenosa a franco-arcillo-arenosa (en  $B_{2t}$ ), pH ácido en los horizontes A, haciéndose progresivamente neutro con el aumento de arcillas. El color es 7'5YR y la liberación de Fe próxima al 40% a pesar de la gran cantidad de minerales primarios presentes en la fracción arena. Las arcillas más abundantes en  $B_2$  son (en orden de intensidad decreciente): vermiculita, illita y caolinita. Se ha detectado la existencia de goethita, excepto en  $A_1$ .

El pedon es discontinuo. En las zonas en que la roca aflora a nivel del  $B_1$ , tenemos la familia Xerorthent lítico franco, mixto, no ácido, méxico. Donde aflora a nivel del  $A_2$  corresponde a la familia Xerorthent lítico franco, mixto, ácido, méxico. La diferencia en la clase de pH es debida a que aquí el horizonte inferior es el  $A_2$ , ácido. Todos estos suelos son muy próximos entre sí, cerca de Solsona, a una altura de 790 m.. El bosque está constituido por Quercus pubescens.

- Xerochrept lítico franco, mixto, no ácido, méxico.

A diferencia de las familias del apartado anterior, en este suelo no hay indicios de iluviación y el pH sólo es ligeramen

te ácido en todo el perfil.

Está situado en la Sierra de Llobera, a unos 900 m. de altitud. La vegetación es un carrascal, con algún Quercus faginea.

b) Clasificación según la C.P.C.S.

En principio, la catalogación de los suelos por la sistemática francesa se ha realizado hasta el nivel de subgrupo. La familia de suelos incluye el parámetro "facies de la roca madre", con lo que sólo nos es útil en nuestro caso, para separar los subgrupos sobre caliza micrítica (el 80%) de los formados a partir de arenisca calcárea.

Los subgrupos considerados son:

- Fersialítico rendsiniforme.

Son intergrados entre ambos grupos de suelos. Presentan las características de color, liberación de hierro, y más o menos descarbonatación que caracterizan el grupo fersialíticos. A diferencia de éstos, son superficiales, sin B bien desarrollado y enriquecidos en materia orgánica. A lo sumo presentan un  $A_3$ . Es probable que sean antiguos suelos fersialíticos (con reserva cálcica), muchos de ellos ilimerizados, que por truncamiento y colonización por vegetación forestal, siguen un proceso de "rendsinización". En función de la proximidad a un extremo u otro del intergrado, podemos considerar los subgrupos siguientes:

a) Fersialítico rendsiniforme/próximo a rendsina, que es carbonatado (8-10% de  $CaCO_3$  equivalente) y de origen en parte coluvial. Los materiales de partida son en su práctica totalidad de naturaleza litológica caliza, pero parece que, en algunos casos, el coluvio facilita el aporte de carbonatos de forma difusa (Duchaufour, 1963), quizá procedentes de pequeños fragmentos de costra, o de las concreciones frecuentes en los fragmentos de caliza. En estos suelos se observa un empardecimiento del color (hue de 7'5YR).



- b) Fersialítico rendsiniforme/próximo a fersialítico. No presentan carbonatos en la tierra fina, son más rojos y con mayor tasa de liberación de hierro que los anteriores. Pueden ser coluviales o no, aunque también tienen reserva cálcica.
- c) Un tercer caso es mixto. Presenta un horizonte superficial,  $A_{11}$ , coluvial y con concreciones carbonatadas alóctonas (subgrupo a) que fosiliza al resto del perfil, aparentemente formado in situ, totalmente descarbonatado en  $A_{12}$  (subgrupo b) y con concreciones en  $A_3$  que justifican el adjetivo recalcalcificado.

- Fersialítico con reserva cálcica modal (sin  $C_{Ca}$ ).

Presentan horizonte (B) o  $B_t$  poco contrastado morfológicamente y con un índice de iluviación de arcillas superior a 1/1.4 (eluvial/iluvial). La liberación de hierro es relativamente alta y los colores 5YR. No tienen carbonatos en la tierra fina, salvo en la fracción arena gruesa, poco abundante por otra parte.

- Fersialítico con reserva cálcica, recalcalcificado.

Son suelos que presentan acumulaciones secundarias de carbonatos, llegando a formar encostramiento en un perfil. Suponen un tránsito hacia los suelos pardo calizos (Guerra, 1967).

Suelen ser algo más profundos que los rendsiniformes, con horizonte (B) y sin aparente traslocación de arcillas.

- Fersialítico con reserva cálcica, pardo, recalcalcificado.

Este subgrupo presenta dos características que generalmente están asociadas, la recarbonatación, cuando es importante, y la atenuación del color rojizo. Suponen una intensificación de la recalcalcificación respecto del subgrupo anterior.

Todos los subgrupos mencionados se mantendrían sin subdivisión alguna al nivel de la Familia de suelos. El atributo añadido es el tipo de roca: Caliza micrítica.

En los dos subgrupos que siguen, al nivel de familia se debe añadir el término arenisca calcárea.

- Fersialítico con reserva cálcica pardo.

Es un suelo arenoso, no iluvial, ligeramente ácido y el color es 7'5YR. En este caso el color parduzco no está provocado por recarbonatación como en los suelos sobre calizas. Puede ser debido a la presencia detectada de goethita. La reserva cálcica no es abundante dentro del perfil pues hay pocas piedras de arenisca que, por otra parte son pobres en carbonatos; además el medio es muy percolante, con lo que aunque está prácticamente saturado en bases, el pH se mantiene ligeramente ácido. Este subgrupo correspondería a un estadio de tránsito hacia pardo ácido (Guerra, 1967).

- Fersialítico débilmente ilimerizado, pardo.

No presentan reserva cálcica salvo en la roca subyacente o encajante. La dominancia del macroporo parece que impide una posible recarbonatación en estos suelos. A diferencia del subgrupo anterior, hay una clara ilimerización, con evidencia de cutanes y formación de  $A_2$ . La acidificación se ha extremado, llegando a tener un pH en KCl del  $A_2$  de 3.7, valor excepcional en la Depresión del Ebro tomada en sentido geográfico. La tasa de liberación de Fe es del orden de los suelos fersialíticos sobre calizas, con la diferencia de que el  $Fe_t$  es más elevado por la abundancia de minerales primarios ferromagnésicos. Por ello, hemos clasificado estos suelos dentro de los fersialíticos y no en los pardos, caracterizados por una menor liberación de hierro. La forma mineral identificada por rayos X es la goethita lo cual indica que hay un empardecimiento. Estos suelos tienen una distribución muy localizada.

Correspondencias observadas entre ambas sistemáticas  
al nivel de la Familia de suelos

C.P.C.S.

Soil Taxonomy

Fersialítico rendsiniforme  
próximo a rendsina, caliza micrítica .....

Haploxeroll lítico franco, mixto (calcáreo), méxico.  
Torriorthent lítico xérico franco, mixto (calcáreo), término.  
Camborthid lítico xeróllico fco.esq., " " " .

Fersialítico rendsiniforme recalificado,  
caliza micrítica .....

Camborthid lítico xeróllico arc., illítico, no ácido, méxico.

Fersialítico con reserva cálcica  
recalificado, caliza micrítica .....

Camborthid lítico xeróllico fco., mixto (calcáreo), méxico.  
" xeróllico fco., carbonatado, méxico

Fersialítico con reserva cálcica  
pardo-recalificado, caliza micrítica ....

Xerochrept lítico fco., carbonatado, término.



## Distribución

Los suelos fersialíticos en la Depresión Central Catalana están ligados a la distribución de rocas que permitan un fácil percolado y a la existencia de medios estables.

La primera premisa restringe su presencia a la de calizas duras, micríticas, que están fuertemente fragmentadas, y a areniscas calcáreas, porosas y relativamente pobres en carbonatos. Ambas rocas imprimen unas características peculiares en los respectivos suelos.

La segunda condición se refiere a los procesos geomorfológicos recientes. Es decir, sólo encontramos estos suelos en situaciones topográficas protegidas de la erosión. La posición en general es en puntos culminantes de los altiplanos. El rejuvenecimiento de las formaciones superficiales debe comportar en muchos casos la desaparición de las características fersialíticas. Ello a causa de que los niveles margosos forman generalmente estratos más potentes que las calizas (normalmente de unos 40 cm., Calvet, 1977) y que las areniscas, y aportan mayor cantidad de material fino, carbonatado, que difuminaría el material procedente de los suelos fersialíticos.

Sobre roca caliza parece que se conservan mejor los suelos fersialíticos, protegidos por los fragmentos de roca, aunque en muchos casos es presumible un truncamiento del suelo.

Las areniscas, más fácilmente meteorizables por arenización, no parecen ser tan efectivas al respecto. Hemos localizado pocas áreas de suelos fersialíticos sobre arenisca y ello en la zona más húmeda de la depresión. Por otra parte, en dichas áreas coexisten suelos carbonatados sobre arenisca in situ, nada fersialitizados.

Aunque no se ha hecho una prospección detallada a este respecto, los suelos fersialíticos se sitúan sobre las plataformas estructurales formadas a partir de calizas duras, y en casos aislados, al norte del área (hacia el Solsonès) en situaciones culmina-

les, sobre arenisca calcárea. La distribución pues, sigue primariamente la de dichas rocas y topografías. Aunque hay algún indicio de distribución norte de los suelos menos recarbonatados y viceversa (para las calizas), no se cumple siempre, ni hay suficientes muestras para afirmarlo con rotundidad. Dado que las areniscas calcáreas sólo existen, en la depresión, en la mitad norte (en la sur, el componente detrítico arenoso lo forman las calcarenitas) no podemos hacer comparaciones al respecto.

El mapa de suelos 1:250.000 de la provincia de Lérida de Albareda et al. (1960-1961), sólo representa un pequeño enclave de tierras pardas rojizas en los alrededores de Artesa de Segre. Se constata que la variación de las diferentes propiedades de los suelos fersialíticos no tienen una relación aparente con las variables del medio; este hecho parece indicar que en la actualidad la fersialitización no es el proceso pedogenético dominante y, por otra parte, que deben haberse sucedido diversas etapas geoedáficas, representadas por la diversidad de suelos observada.

### Génesis

La génesis de los suelos fersialíticos se relaciona con la existencia de un clima con épocas seca y húmeda contrastadas, como es el caso de la zona mediterránea. Se hace necesaria también la presencia de roca percolante y no excesivamente ácida (Duchaufour y Souchier, 1977). Los mecanismos de alteración de calizas y fersialitización han sido estudiados con profundidad por Lamouroux (1972).

Un primer problema que se nos plantea es si la fersialitización tiene o no lugar actualmente en la Depresión Central. ¿Es un proceso relacionado con un clima pretérito más agresivo o es fruto de la acción de un clima similar al actual que actúa durante un largo período de tiempo? (Bornard, 1978)

Los elementos de juicio que sobre el tema se pueden extraer a partir del estudio realizado son los siguientes:

- Sobre caliza dura in situ, sólo se han observado dos posibilidades: La formación de un suelo fersialítico, o de un pedregal, cada uno de ellos producto de disolución o fragmentación física respectivamente. No obstante, es raro no encontrar material fersialítico, como mínimo entre las fisuras de la roca caliza.
- De los balances hídricos determinados en el capítulo dedicado al clima, se observa que nuestros suelos presentan un pequeño exceso de agua que se debe perder por drenaje, sino por escorrentía, coincidiendo con los meses más fríos. En posiciones topográficas culminales, cual es nuestro caso, el lavado está asegurado, sea vertical o lateral. En la época de exceso de agua, la actividad biológica en el suelo está limitada por el frío, con lo que es de suponer una comparativamente baja tensión de  $\text{CO}_2$ , y por tanto un menor poder disolvente del agua.

La exportación de bicarbonato cálcico por lixiviación es débil por la corta duración general de la época en que el suelo tiene exceso de agua y, por otra parte, por la reducida cantidad de ese agua. Las zonas altas de los relieves de la depresión son las situaciones en que se da el máximo de lavado. En el llano debe ser prácticamente nulo. Se citan rubefacciones recientes (en menos de 10.000 años) por Bresson (1976) en el Jura meridional y Lamouroux (1972) en las montañas del Líbano; en ambos casos, las precipitaciones son de 1.000 mm. o superiores.

Lamouroux (1967), en base a estudios realizados en el Líbano y Siria, define las condiciones climáticas de fersialitización por los siguientes parámetros:

$$T \text{ media anual} = 10 \text{ a } 22^\circ\text{C}$$

$$P \text{ anual} = 400/600 \text{ a } 1400 \text{ mm.}$$

$$D \text{ drenaje: } P\text{-ETP} = 200 \text{ a } 1000 \text{ mm./año}$$

$$E_1 = D \times T > 5000$$

Comparando el clima de la Depresión con los valores anteriores, tenemos que se ajusta la temperatura, las precipitaciones,

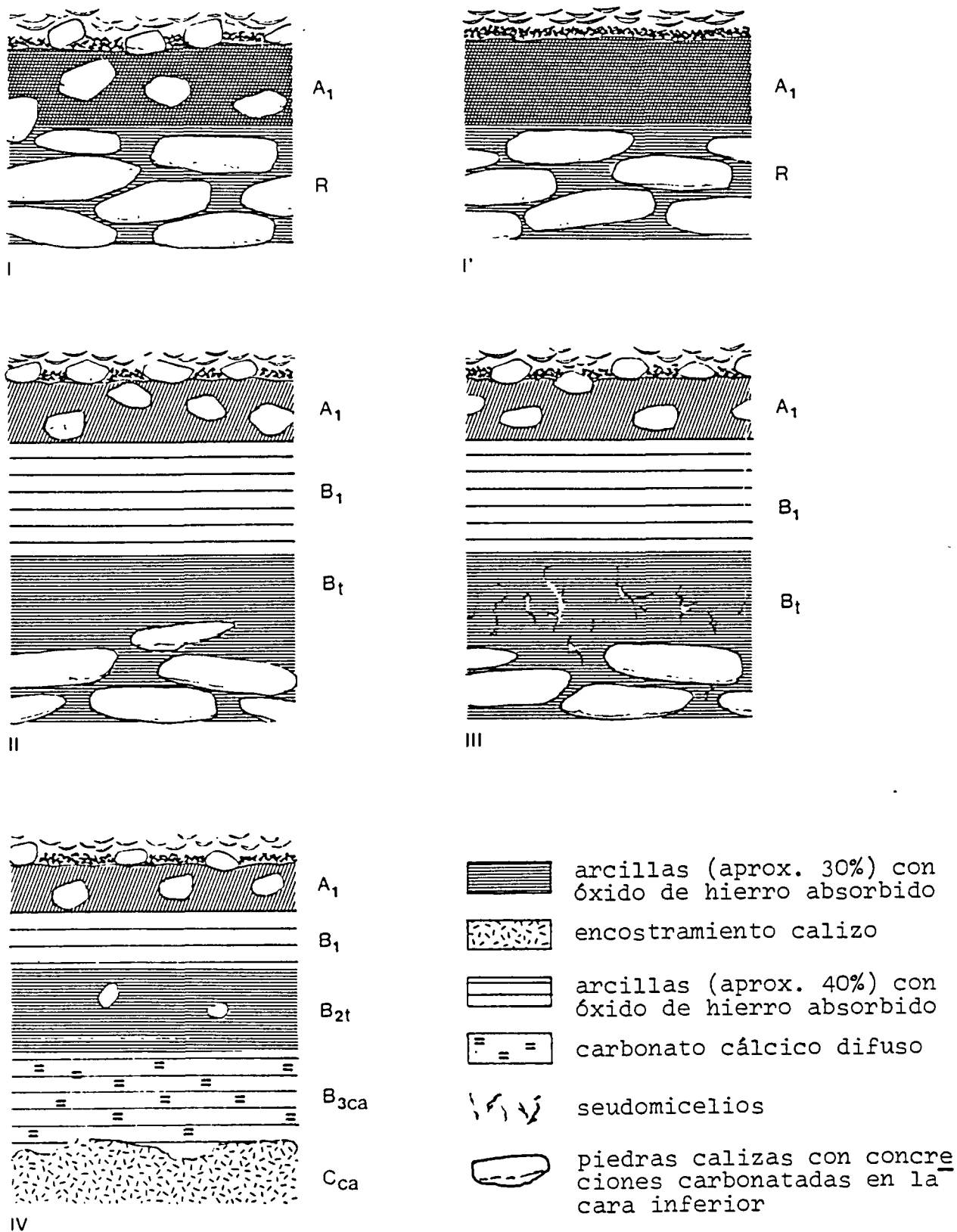


FIGURA nº 12.- Diferentes tipos de suelos fersialíticos sobre calizas duras de la Depresión Central Catalana.



nes se sitúan por debajo y en el límite inferior de las formuladas, el drenaje sólo cumple para suelos muy superficiales del extremo NE del área (zona de Solsona), y, por último, el factor  $E_1$  en los suelos de la Depresión Central es muy inferior a 5000.

Estos datos nos sugieren que en el área de estudio no hay en la actualidad una fersialitización activa, o si la hay, es extremadamente lenta.

- Los suelos fersialíticos ocupan extensiones reducidas, en situaciones protegidas de la erosión y planas. Las fuertes pendientes implican una mezcla con material margoso, mayoritario cuantitativamente, que hace desaparecer los caracteres fersialíticos.
- Se encuentran materiales coluviales, supuestamente de origen muy local, en prácticamente todas las unidades de relieve, a pesar de las pendientes en muchas ocasiones nulas.
- Hay diversos estadios de recarbonatación entre los perfiles estudiados. En un caso, a un horizonte descarbonatado y ligeramente ácido se le superpone otro de origen coluvial, rico en concreciones calcáreas secundarias. Estos casos parecen indicar una situación actual conservativa, tanto respecto a la fersialitización, como a la recarbonatación. Por otra parte, la afirmación precedente está de acuerdo con la sequedad dominante en el presente.
- La fracción arcilla de los horizontes de superficie es casi siempre descarbonatada totalmente. Con lo cual, en situaciones topográficas altas, no hay precipitación de carbonatos en superficie por remontada capilar de aguas cargadas de bicarbonato cálcico. También influye en este proceso la ruptura de la capilaridad provocada por los  $A_0$  frecuentes, y los niveles pedregosos.

De lo expuesto anteriormente, creemos se puede concluir que sobre calizas no predomina en la actualidad disolución fersia

litizante. Con menor razón la ilimerización. Más bien parece que sea la fragmentación física de la roca el proceso funcional en estos momentos. En una época preactual, serían los procesos de erosión/acumulación los más importantes; la consecuencia es un rejuvenecimiento general de los suelos. En las situaciones de altiplano, los coluvios son básicamente de guijarros calizos; los materiales más finos probablemente se han transportado a niveles topográficos más bajos.

La sucesión de procesos que suponemos es la siguiente:

descarbonatación y fersialitización → ilimerización →  
 → recarbonatación → erosión → aporte y rejuvenecimiento o  
 fosilización.

La recarbonatación, aparte de estar en relación con las condiciones climáticas generales, es un proceso muy dependiente de las características locales de drenaje interno, topografía, etc.. Por otra parte, es probable que las condiciones climáticas de la Depresión Central hayan mantenido unas diferencias regionales en otras épocas, como existen en la actualidad.

El proceso de evolución de los minerales de arcilla que parece relacionado con la fersialitización (en nuestros suelos) es la vermiculitización de los minerales micáceos.

En definitiva, parece claro que los suelos actuales son el producto de dos elementos básicos: la diversidad de condiciones del medio en la época de rubefacción activa, y la modificación posterior del mosaico de suelos preexistentes, debida a proceso de erosión y acumulación.

Los suelos fersialíticos sobre caliza estudiados presentan en general una rubefacción no muy acusada: colores no muy rojos (como máximo dentro del 5YR), descarbonatación incompleta (siempre hay arenas o guijarros de naturaleza caliza), liberación de

hierro relativamente baja e ilimerización muy débil o inexistente. La explicación de esta débil fersialitización se puede atribuir a la intensidad del proceso (ligada a la agresividad climática) o a su duración. Duchaufour (1977) justifica una rubefacción parecida a la nuestra, en las terrazas würmianas del sur de Francia, por la juventud de las mismas. En la Depresión Central, pensamos que, al menos en parte, se trata de un problema de sequedad. Probablemente, incluso en épocas pasadas más lluviosas, la depresión se mantendría relativamente más árida que otras zonas del País, con lo cual la rubefacción sería más lenta y en definitiva, menos intensa, para un intervalo de tiempo equiparable.

En los suelos fersialíticos sobre arenisca, hay una componente diferencial respecto al esquema anterior. La roca relativamente pobre en carbonatos y muy percolante, facilita una rubefacción rápida (Duchaufour, 1977) y acidificación posterior que deriva hacia un empardecimiento de los suelos presencia de goethita). Asimismo, la ilimerización es más acusada que sobre calizas.

Las vías de desfersialitización que han aparecido a lo largo del capítulo como probables en los suelos estudiados son:

- a) Coluvionamiento y mezcla con materiales finos carbonatados: transición hacia las rendsinas y pardo calizos.
- b) Recarbonatación progresiva de abajo arriba: tránsito hacia los pardo calizos.
- c) Empardecimiento de los horizontes  $A_1$  por efecto de la materia orgánica: transición hacia suelos pardos en superficie con B fersialítico.
- d) Empardecimiento por acidificación sobre material parental relativamente pobre en caliza y percolante (arenisca calcárea): tránsito hacia los pardo ácidos, más o menos ilimerizados.

Cabe resaltar el efecto desfersialitizante que conlleva la mezcla de materiales efectuada por el hombre en las obras de replanamiento y laboreo.

Bottner (1972) supone que la pedogénesis actual en el sur de Francia, sobre calizas, es de formación de suelos pardos calizos o pardos muy cálcicos.

## SUELOS CARBONATADOS

Dentro de esta definición amplia se incluyen los suelos que no presentan descarbonatación importante ni rubefacción.

Se desarrollan a partir de margas, calcarenitas, areniscas calcáreas, conglomerados, calizas semiduras y blandas y coluvios en los que predominan materiales procedentes de las rocas anteriores. Con frecuencia se observa un perfil carbonatado, formado por edafización de la marga in situ, en cuya base afloran niveles de calizas. Las calizas no tienen prácticamente relación parental con el suelo de encima.

Las características generales de estos suelos se relacionan a continuación. La mayoría de ellas están estrechamente ligadas al tipo de roca, por lo que se hará la distinción correspondiente.

### - Profundidad de los suelos.

El desarrollo en profundidad es muy limitado sobre rocas duras, areniscas calcáreas y calcarenitas, en las que raramente alcanza 30 cm. y en muchas ocasiones es menor a 10 cm.. Estos suelos tan superficiales coexisten con bolsadas fisurales más profundas pero que ocupan una superficie menor. Es en estos enclaves donde enraizan las especies arbóreas y, al mismo tiempo, colaboran en la profundización de la alteración.

Los suelos formados a partir de roca blanda o coluvio, son más profundos: de 20 a 50 cm.. Además, la marga es atravesada con frecuencia por las raíces más potentes.

- Encostramiento.

Se han estudiado costras calcáreas en dos perfiles formados a partir de material coluvial sobre marga, con una ligera pendiente general.

El encostramiento se desarrolla en el nivel de cambio de porosidad y, por tanto, de material, siendo fruto del lavado vertical y sobre todo lateral de bicarbonato cálcico. Ruellan (1967) supone que este mecanismo es muy generalizado en regiones afectadas por una sequedad acusada.

En uno de los casos la costra se puede considerar horizonte petrocálcico (Soil Taxonomy).

Los suelos que están sobre las costras no parecen tener relación genética con las mismas. Así parece indicarlo el fuerte contenido en carbonatos y la presencia de fragmentos de costra transportados en los horizontes superficiales. El mecanismo probable es el de la formación de la costra a partir de materiales parcialmente coluviales, erosión posterior que respetaría al menos parte de la costra y nuevo coluvionamiento que se le superpone.

Otros encostramientos son los de las terrazas fluviales, cimentando las gravas. Estas recarbonataciones no se pueden considerar edáficas y son antiguas. Actúan como verdadera roca madre, pudinga, del suelo actual.

- Color.

Los colores se sitúan en el 10YR a excepción de los suelos que heredan colores 7'5YR de la marga.

Predominan los pardos claros, grisáceos o amarillentos, y en algunos suelos sobre margas los blancos. La misma gama se hace algo más oscura en los horizontes ricos en materia orgánica pe



FIGURA nº 13.- Horizonte petrocálcico. Perfil F8105.

ro no lo suficiente para epipedion móllico (Soil Taxonomy).

- Tasa de liberación de hierro.

Es baja, del orden del 20-25%. En horizontes  $A_0$  puede ser mayor, pero para valores absolutos de  $Fe_1$  y  $Fe_t$  muy bajos.

- Textura y distribución de los carbonatos de las fracciones granulométricas.

a) Sobre arenisca calcárea. Las texturas suelen ser franco arenosas y algo más finas en  $A_0$  y parte superior del  $A_1$ . Estos últimos horizontes son generalmente muy pobres en carbonatos. Los carbonatos totales suponen menos del 30% y se acumulan en las fracciones gruesas: AG, AF y LG. Las fracciones que son en mayor proporción de naturaleza calcárea son los limos, probablemente porque constituyen en gran parte el cemento calcáreo de la roca. Las arenas son calizas en menos del 50%, aunque varían mucho localmente. Los carbonatos de tamaño arcilla, referidos a 100 g. de tierra, presentan valores entre 0.7 -1.8 en los horizontes inferiores.

b) Sobre calcarenita. Textura de franca a franco arenosa; algo más arcillosos en superficie. Las arcillas no son calizas en los horizontes superiores. Los carbonatos totales son muy elevados, de 50 a 70%, en  $A_3$  o (B), y se concentran en las fracciones de arena; por otra parte, las arenas son en muy elevado porcentaje de naturaleza caliza. Los carbonatos de la fracción arcilla suponen de un 1.8 a 8.9%, respecto a la tierra fina, en los horizontes  $A_3$  o (B).

c) Sobre margas, coluvios margosos y calizas blandas. Las granulometrías son más finas que en los casos anteriores: arcillo-limosa, franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa y franco-limosa. Los carbonatos totales son muy variables, dependiendo de la roca (marga, arcilla margosa, etc.); oscilan entre 30 y 70%, siendo más frecuentes los valores altos. Los carbonatos están acumulados en el limo fino. Todas las fracciones son en gran parte de naturaleza caliza, excepto las arcillas de  $A_0$  y en parte de  $A_1$ ; no obstante,

en los horizontes superficiales, la fracción arcilla contiene más carbonatos que en los correspondientes de las rocas arenosas. En los materiales margosos del sector norte, las arenas son relativamente poco calizas (Provincia petrográfica norte de Pinilla, 1966). Los carbonatos de tamaño arcilla en  $A_3$  y (B) varían entre 2.2 y 12.6%, siendo la media de 5.3%.

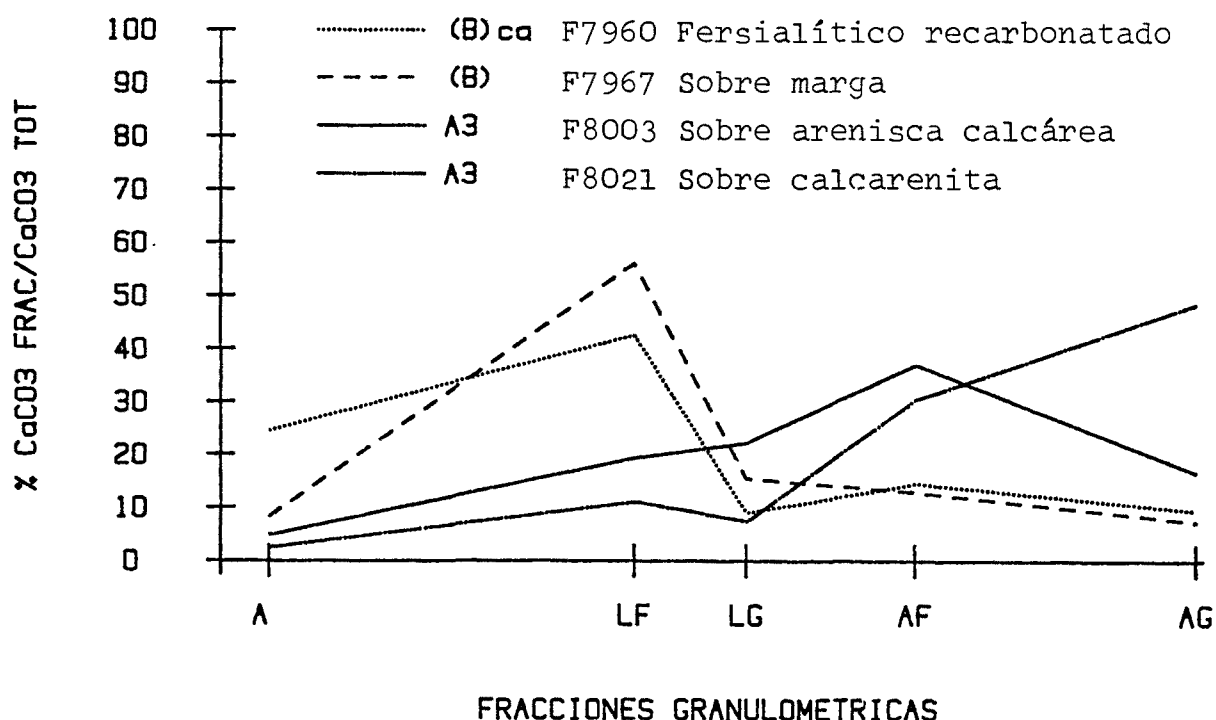


FIGURA nº 14.- Comparación de la importancia cuantitativa de los carbonatos de las diferentes fracciones granulométricas según la naturaleza del material parental.

d) Costras. La fracción arcilla está constituida en gran parte por carbonatos secundarios (40%). Los carbonatos de tamaño arcilla respecto a 100 g. de tierra suponen un 5.5% en las terrazas, y un 13% en las otras costras.

#### - Horizontes orgánicos.

En general, suele haber un  $A_0$  poco desarrollado o un  $A_0A_1$ . En pocos casos se presenta el  $A_0$  espeso, no siendo relacionable directamente con alguna característica del suelo aparente.



- Pedregosidad.

Los suelos sobre margas suelen presentar en los horizontes superiores material coluvial y alto contenido en piedras. Se incluyen en esta sección los suelos sobre calizas en que hay abundante mezcla de fragmentos de calizas con tierra fina procedente de margas. Son, por tanto, suelos muy pedregosos.

Sobre areniscas, los suelos son generalmente pobres en fragmentos gruesos.

- pH.

- a) Sobre arenisca calcárea. Los valores de pH oscilan entre 7.5 y 7.9, exceptuando el caso del perfil F8036, situado respecto a los demás en una zona más árida, en que llega a ser 8.2. Los horizontes más orgánicos mantienen el pH próximo a neutro. La coexistencia en algunos  $A_0$  de pHs por debajo de 7 y contenidos en carbonatos apreciables, corresponde a una acumulación de la caliza en las fracciones arena, y unas arcillas sin carbonatos. La acidez de reserva es baja.
- b) Sobre calcarenitas. Los pHs son superiores: alrededor de 8. En los horizontes superficiales varían entre 7.3 y 8.0, incluso en los  $A_0$ .
- c) Sobre margas, coluvios margosos y calizas blandas. En  $A_3$  y (B) los pHs son del orden de 7.8-8.5. En los horizontes superficiales alrededor de 7.5. La acidez de reserva es mayor que en los perfiles anteriores, como lo es el contenido en arcillas.

Al igual que en los suelos sobre arenisca calcárea, existen  $A_0$  carbonatados de pH inferior al neutro.

En todos los suelos hay una relación inversa entre contenido en materia orgánica y pH. Esta relación es especialmente estrecha en suelos sobre arenisca calcárea, en los que el coeficiente de correlación es de -0.94. Sabemos que en suelos calcáreos el pH viene regulado por el sistema  $\text{CaCO}_3/\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ . Para contenidos de carbonatos en exceso, el tampón depende fundamentalmente del  $\text{CO}_2$  y la

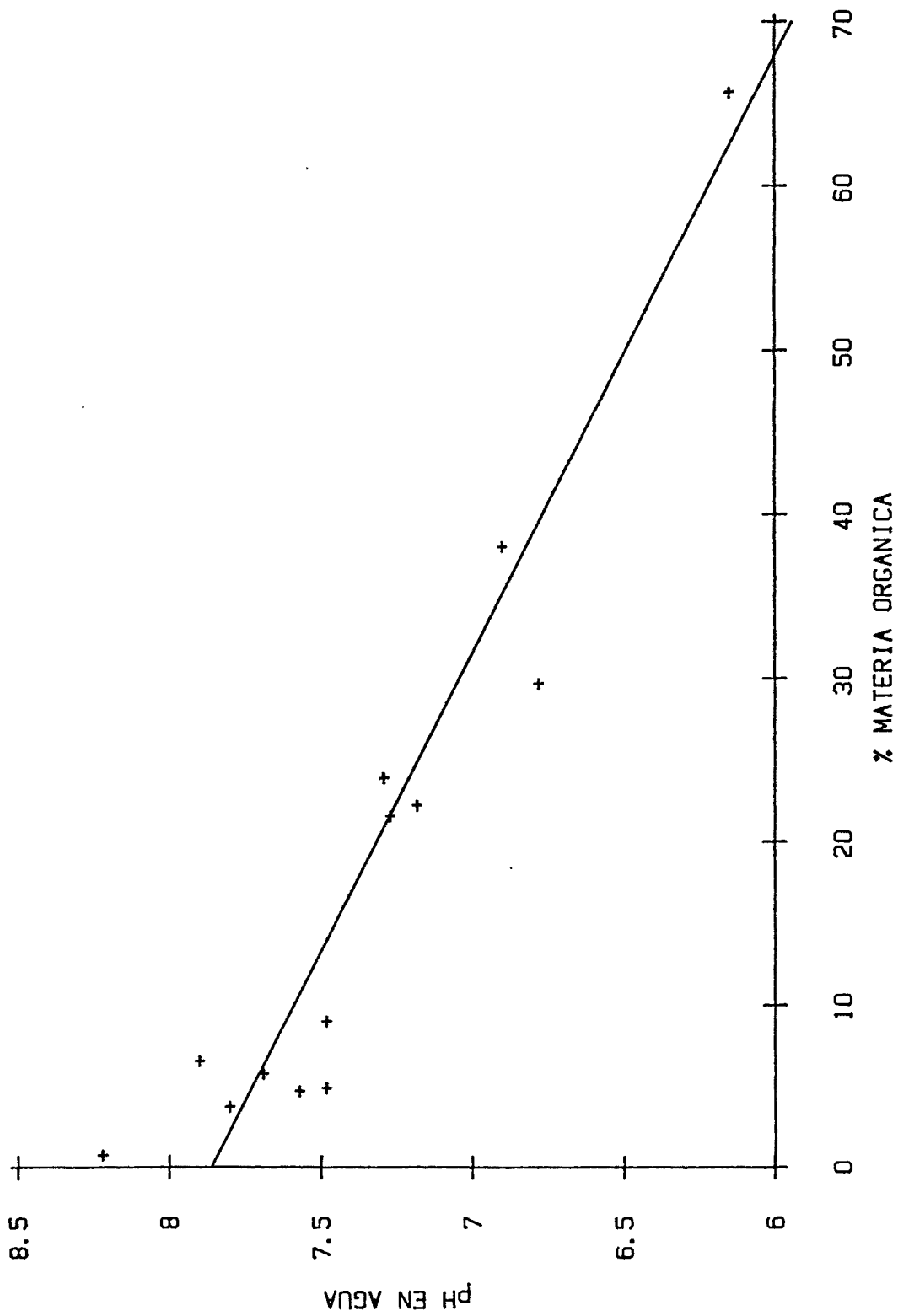


FIGURA nº 15.- Relación entre el pH y el % de materia orgánica de suelos carbonatados sobre arenisca calcárea.



producción del mismo está en relación con el contenido en materia orgánica. La mejor correlación obtenida para suelos sobre arenisca calcárea quizá sea debida a la homogeneidad en la distribución de los carbonatos de las fracciones granulométricas de dichos suelos respecto a los formados a partir de las otras rocas madres. No parece que influyan aquí los factores que condicionan la medida del pH en medios carbonatados citados por Callot et al. (1978) ya que influirían de igual manera en los suelos de los diferentes grupos.

#### - Mineralogía de arcillas

Sólo se ha realizado el estudio de las arcillas de un perfil sobre marga (perfil F8010).

La composición mineralógica de la roca es muy variada. Destaca la ausencia de clorita individualizada, aunque está presente en interestratificados con montmorillonita y vermiculita. En el horizonte  $A_3$  que procede de la edafización de la marga, disminuye la abundancia de illita y vermiculita, se mantiene la de caolinita y aumentan montmorillonita e interestratificados V-M e I-M. En función de estos datos, parece que la evolución del suelo comporta la transformación a montmorillonita de illita y vermiculita.

Los horizontes superiores, coluviales, presentan una composición cualitativa similar a los procedentes de la marga directamente, pero con un enriquecimiento de illita y disminución de montmorillonita.

En todo el perfil hay indicios incompletos de la existencia de talco.

#### Clasificación de los suelos

El nombre genérico utilizado en este grupo de suelos coincide con la subclase de los suelos carbonatados de la C.P.C.S. (1967).

a) Según la Soil Taxonomy.

Las familias reconocidas son las siguientes:

- Torriorthent lítico xérico franco, mixto (calcáreo), mésico.

Son suelos poco desarrollados, sin horizontes de diagnóstico aparte del ocríco, de textura intermedia (ni arcillosa ni arenosa) y con un contenido en carbonatos inferior al 40% pero presentando efervescencia al clorhídrico. El régimen de humedad es arídico próximo a xérico. La roca madre de estos suelos es arenisca calcárea, excepto en un caso en que es arcilla margosa con intercalaciones de lentejones de arenisca. La roca, pobre en carbonatos, condiciona la clase mineralógica de esta familia. Por otra parte, la distribución geográfica de las areniscas calcáreas (sector norte de la depresión) al este del Segre, se circunscribe a las zonas de régimen de temperatura mésico.

La especie forestal dominante es Quercus rotundifolia, aunque en la zona coexisten Quercus faginea y Pinus nigra (no muestreado). Un perfil se ha realizado bajo Quercus coccifera.

- Torriorthent lítico xérico arenoso, mixto (calcáreo), térmico.

A diferencia de la familia anterior, es un suelo de textura areno-franca y, al estar en el límite occidental del área, el régimen de temperatura es térmico. La roca madre es asimismo arenisca calcárea. En la zona, las encinas están en el límite de su área de distribución en la Depresión Central.

- Torriorthent lítico franco-esquelético, mixto (calcáreo), térmico.

Son suelos formados a partir de coluvios muy pedregosos sobre caliza dura o semidura. El régimen de humedad del suelo entra en el concepto central de arídico.

Los bosques son predominantemente de Pinus halepensis, con encinares escasos.

- Torriorthent lítico xérico franco, carbonatado, mésico.

Son suelos sobre material parental más rico en carbonatos que los anteriores: margas y conglomerados.

Al estar en la mitad norte de la depresión, el régimen de temperatura es mésico.

Las especies arbóreas son Quercus rotundifolia y Pinus nigra.

- Torriorthent lítico xérico franco-esquelético, carbonatado, mé sico.

Difiere del grupo anterior en que se desarrolla a partir de un coluvio margoso y calizo muy pedregoso.

En relación con la familia que se distingue de la presente por la clase mineralógica (mixto (calcáreo)), la diferencia estriba en la proporción de material margoso en el coluvión. El perfil estudiado está bajo Quercus rotundifolia.

- Torriorthent lítico xérico franco-esquelético, carbonatado, tér mico.

Sólo se ha estudiado un perfil de esta familia desarrolla do a partir de caliza blanda de tipo creta y coluvión con abundantes piedras. La fragmentación de carbonatos de la roca blanda justifica la clase mineralógica establecida. El perfil se ha abierto bajo Pinus halepensis.

- Torriorthent lítico xérico franco, carbonatado, térmico.

Suelos desarrollados sobre calcarenitas, en la comarca de Les Garrigues. El régimen de temperatura es térmico y a diferen cia de la familia anterior, son suelos muy pobres en piedras.

Los perfiles se han estudiado bajo Quercus coccifera.

- Torriorthent lítico franco, carbonatado, térmico.

Suelos en los que la sección de control de humedad está totalmente seca las 3/4 partes o más del tiempo en que la temperatura a 50 cm. es superior a 5°C (régimen arídico no cercano a xérico). Por lo demás es similar a la familia anterior; también se desarrollan a partir de calcarenitas.

El muestreo se ha realizado bajo Pinus halepensis y Quercus coccifera.

- Camborthid lítico xeróllico franco, mixto (calcáreo), méxico.

Grupo próximo al Entisol de iguales propiedades añadidas en el nivel de familia y del que difiere en tener suficiente profundidad para cumplir los requerimientos de horizonte de alteración cámbico (más de 25 cm.). Se forma a partir de arcilla margosa que, manteniendo una riqueza moderada de carbonatos, facilita un mayor desarrollo del perfil.

El perfil se ha estudiado bajo Quercus coccifera.

- Camborthid lítico xeróllico arcilloso, mixto (calcáreo), méxico.

Formado a partir de coluvi6n procedente de arcillas margosas fundamentalmente. Es más arcilloso que el anterior grupo debido a las características texturales de la roca.

En la zona predominan Quercus faginea.

- Camborthid lítico xeróllico franco, carbonatado, méxico.

Análogo al correspondiente Entisol pero con endopedion cámbico. Desarrollado a partir de marga. Bosques de Quercus faginea.

- Camborthid lítico xeróllico franco-esquelético, carbonatado, méxico.

Formado a partir de coluvio y sobre marga. La especie forestal dominante es Quercus faginea.

- Camborthid lítico xeróllico arcilloso, carbonatado, mixto, méxico.

Presentan un porcentaje de arcillas superior al 35%. Por lo demás, es similar a las dos familias anteriores. La roca madre es margosa.

- Camborthid lítico xeróllico franco, carbonatado, térmico.

Desarrollado sobre calcarenita y con régimen de temperatura térmico como corresponde a la coincidencia en la distribución de las areniscas de grano calizo y las temperaturas medias del suelo superiores o iguales a 15°C.

El perfil se ha realizado bajo Quercus coccifera.

- Calciorthid xeróllico franco, carbonatado, méxico.

Esta familia comporta la existencia de horizonte cálcico o encostramiento no muy endurecido. La costra se ha formado sobre un nivel margoso impermeable.

La vegetación es un bosque de Quercus rotundifolia.

- Paleorthid xeróllico franco, carbonatado, térmico.

A diferencia de la familia anterior, el horizonte de acumulación de carbonatos secundarios es duro (petrocálcico). Hemos estudiado un ejemplo sobre costra de terraza fluvial y costra sobre marga de origen más edáfico. La diferencia destacable entre ambos suelos es la lógica pedregosidad del suelo sobre las gravas aluviales. El calificativo paleo- se refiere a que, supuestamente, el desarrollo de una costra dura requiere un largo período de tiempo; en nuestro caso, dicho calificativo no es aplicable conceptualmente al suelo superpuesto que es de origen coluvial y no parece presentar relación genética con la costra.

La especie forestal dominante es Pinus halepensis.

- Paleorthid xeróllico franco-esquelético, carbonatado, térmico.

Perfil sobre pudinga de origen aluvial, muy similar al correspondiente del grupo anterior pero más pedregoso. El árbol dominante es también Pinus halepensis.

En resumen, se observa una estrecha dependencia de los caracteres de la familia y, en particular, la clase textural y mineralógica con respecto a la roca madre. Así vemos que los Entisoles "franco/arenoso, mixto (calcáreo)" se desarrollan sobre arenisca calcárea; los "franco-esquelético, mixto (calcáreo)" sobre coluvio; los Camborthid "franco/arcilloso, mixto (calcáreo)" a partir de arcillas margosas; los "franco/arcilloso, carbonatado" sobre margas, calcarenitas y conglomerados; los "franco-esquelético, carbonatado" sobre coluvios en que predomina el material margoso. Paleorthids y Calciorthids suponen la existencia de importantes ni-

veles de acumulación de carbonatos secundarios.

b) Según la C.P.C.S.

Los suelos carbonatados estudiados se incluyen en dos grupos de la sistemática francesa: rendsinas y pardo calizos. También son frecuentes los intergrados entre ambos grupos.

- En las rendsinas se agrupan los suelos superficiales sin horizonte (B). Se distinguen las familias:

Rendsina muy humífera sobre arenisca calcárea, arcillas margosas y coluvios sobre calizas.

Rendsina muy humífera y rica en cal activa sobre calcarenitas, margas y calizas semiduras. A diferencia de la familia anterior, presentan viva efervescencia al HCl.

- Los intergrados presentan horizonte de transición  $A_3$ . Las familias reconocidas son:

Rendsina a pardo calizo sobre arenisca calcárea y coluvio de calizas.

Rendsina muy humífera a pardo calizo sobre calcarenitas, coluvio sobre calizas blandas.

Rendsina a pardo calizo con encostramiento calcáreo. Presenta costra sobre material margoso.

Rendsina muy humífera a pardo calizo con encostramiento calcáreo sobre pudingas de terraza aluvial.

- Suelos pardo calizos, con (B) estructural diferenciado. En general son algo más profundos que los anteriores. Se han reconocido dos familias:

Pardo calizo modal sobre margas, calcarenitas y areniscas calcáreas.

Pardo calizo con encostramiento calcáreo sobre margas.



Teniendo en cuenta que cada subgrupo se divide en familias según la naturaleza del material parental, el número de familias identificadas es de 16, para 31 perfiles considerados.

La comparación, al nivel de familias de suelos, entre las sistemáticas francesa y americana presenta una disparidad tal que se hace impracticable. Una aproximación, no siempre real, indicaría una cierta equivalencia entre Torriorthents y Rendzinas por una parte, y Camborthids, Calciorthids y Paleorthids, y Pardos calizos por la otra.

### Distribución

Hemos visto que la tipología de los suelos carbonatados está fuertemente condicionada por el material parental. Será, por tanto, la distribución de las rocas el elemento determinante. Las pautas reconocibles a escala de la Depresión Central, en cuanto a la geografía de las facies litológicas, se basarían fundamentalmente en el contenido en carbonatos de las rocas detríticas. Este criterio sigue aproximadamente la división en provincias petrográficas propuesta por Pinilla (1966): al norte, presencia de areniscas calcáreas y arcillas margosas, éstas últimas mucho más variables, y al sur, de calcarenitas y margas. A esta distribución hay que añadir la posición periférica de las rocas arenosas y conglomeráticas. Los taxa que mejor expresan estas variaciones lito-edáficas son las familias de la Soil Taxonomy. Es clara la distribución norte de las clases mineralógicas "mixto (calcáreo)", con alguna excepción debida a los materiales coluviales en que hay mezcla de calizas y margas, donde, dependiendo de las proporciones entre ambos materiales, la clase mineralógica es más o menos carbonatada, independientemente de la situación geográfica.

## Génesis

Los suelos carbonatados tienen como característica común su pequeño grado de evolución. Este hecho se evidencia por la poca transformación de los suelos respecto al material parental y la consecuente herencia de propiedades tales como granulometría, estructura, contenido y distribución de carbonatos, etc.. Esta evolución edáfica limitada, acompañada en general de un desarrollo asimismo débil, debe estar en relación con la existencia de procesos erosivos importantes y no excesivamente antiguos.

La tipología de los suelos carbonatados está estrechamente ligada a las características de la roca madre.

- Las margas, arcillas margosas y calizas blandas se alteran rápidamente por desintegración mecánica (Čirič, 1967). Son rocas porosas en las que la disolución se realiza en todo su espesor, con lo que las aguas se neutralizan rápidamente y la disolución progresa poco en profundidad (Bottner, 1972). En medios más o menos áridos, los carbonatos disueltos, en muchas ocasiones, no llegan a evacuarse del perfil, y reprecipitan. Este fenómeno comporta una descarbonatación muy lenta. Por otra parte, la sensibilidad de estas rocas a la denudación comporta que difícilmente se conserven suelos antiguos sobre las mismas.

El predominio de la alteración mecánica sobre la química hace que los suelos sobre margas sean muy carbonatados, poco diferenciados y jóvenes (Bottner, 1972).

La escasa disolución y lixiviado de carbonatos hacen que se produzcan raramente procesos de fersialitización sobre estas rocas.

La alternancia de las margas impermeables con niveles poco espesos de calizas y areniscas impide la formación de un paisaje cárstico (Callot, 1972). Es éste el caso de la Depresión Central.

Los materiales coluviales adquieren normalmente las características de las rocas citadas, debido a la predominancia gene-

ralizada de la componente margosa.

Las clasificaciones de los suelos utilizadas se basan en el grado de desarrollo del perfil y éste depende primariamente del espesor de material friable, sea marga, coluvio, etc..

- Las areniscas calcáreas presentan un porcentaje total de carbonatos inferior al 50%; el grano es mayoritariamente de naturaleza no caliza y el cemento carbonatado. Son rocas relativamente porosas. El desarrollo del suelo progresa por disolución del cemento y arenización. Es el material más fácilmente acidificable de los existentes en la depresión. Este tipo de rocas se hallan restringidas al sector norte de la Depresión Central; la pluviosidad es importante en el NE de la zona y disminuye hacia el SW.

Se han reconocido dos grados de desarrollo y evolución edáfica bien diferenciados: por una parte, suelos fersialíticos pardos, sin reserva cálcica hasta ilimerizados, de poca profundidad o bien ocupando grietas de la roca; por otra parte, tenemos suelos carbonatados muy superficiales.

La gran diferencia en el grado de descarbonatación y evolución de los suelos sobre arenisca calcárea y la posición microtopográfica en que se encuentran los suelos más evolucionados, nos lleva a pensar que ha habido una importante erosión en la zona, dejando sólo algunos suelos evolucionados residuales junto a una mayoría de suelos jóvenes, poco descarbonatados.

- Las calcarenitas presentan un tipo de meteorización similar a las areniscas calcáreas, pero a diferencia de aquellas, las arenas son de naturaleza caliza y, por tanto, la acidificación está muy inhibida. No obstante, también se produce arenización.

En comparación con las margas, la lixiviación de los carbonatos disueltos es fácil. La restricción de este tipo de rocas a las áreas geográficas más secas de la depresión, hace que los suelos resultantes sean muy calizos.

## SUELOS YESIFEROS

Corresponden a la subclase del mismo nombre de la C.P.C.S., incluida en la clase de los suelos calcimagnésicos.

Se caracterizan fundamentalmente por la presencia de yeso y las propiedades asociadas que son una cierta salinidad, un elevado contenido en calcio soluble y la toxicidad para muchas plantas, lo que hace que haya una flora especializada. En la zona de estudio, los yesos siempre van acompañados de carbonatos en proporción variable. Por ello, tenemos algunos suelos yesíferos que por eliminación diferencial del sulfato, se aproximan a los suelos carbonatados del apartado anterior.

Las características destacables son:

- Desarrollo del perfil.

Son suelos  $A_0C$ ,  $A_0A_1C$ ,  $A_0A_1(B)C$  y  $A_1CR$ . De los nueve perfiles estudiados, sólo en una ocasión no hay  $A_0$  individualizado. En general, los horizontes orgánicos son muy espesos y bien diferenciados, presentando los mayores tamaños entre los suelos estudiados.

En los dos perfiles  $A_0C$  no se han observado turrícolas de lombriz. Quizá sea la falta de estos organismos responsable de la inexistencia de horizonta  $A_1$ .

- Color.

Los colores se incluyen en general en la hoja 10YR del código Munsell.

Los horizontes orgánicos ricos en humus (niveles H) presentan colores en seco 10YR entre 2/2 y 6/2, pardo muy oscuro a gris parduzco claro; los  $A_1$  10YR 6/2 y 6/3, gris parduzco claro a pardo claro que en húmedo pueden hacerse 10YR 3/3'5, pardo a pardo grisáceo muy oscuro. Los (B) son 10YR7/3, pardo muy claro, y los C 10YR7/1 y 8/3, y 2'5Y8/2, gris claro, pardo muy claro y blanco respectivamente.

Se observa una general dominancia de las coloraciones grisáceas.

- Contenido en yesos y carbonatos.

La solubilidad del yeso, relativamente alta, comporta que en las situaciones topográficas estudiadas el desarrollo del perfil progrese por una fuerte pérdida de yeso. Así, los horizontes (B) y A<sub>1</sub>, cuando existen, tienen un enriquecimiento porcentual de carbonatos, llegándose a contenidos en yeso muy bajos. No obstante, aunque la concentración de sulfato cálcico sea pequeña, su solubilidad hace que tenga una influencia importante en el quimismo edáfico y por tanto hemos preferido mantener estos suelos dentro del grupo yesíferos.

Las rocas presentan contenidos de yeso del 75 al 20% y, en relación inversa, los carbonatos van de un 5% a un 45%. Los horizontes A<sub>0</sub> presentan bajos contenidos de yeso y carbonatos, de acuerdo con la naturaleza predominantemente orgánica de dichos horizontes. En A<sub>1</sub>, los contenidos de yeso pueden ser elevados excepto cuando un material coluvial se superpone a la roca yesífera in situ, en cuyo caso se hacen muy bajos, aumentando considerablemente la fracción caliza (30-50%).

Los valores de conductividad eléctrica varían correspondientemente al contenido en yeso, hasta un máximo de aproximadamente 2.6 mmhos., limitada por la solubilidad del  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  y quizá algo aumentada por la presencia de pequeñas cantidades de otros sulfatos más solubles.

En las situaciones topográficas elegidas no hay precipitados secundarios de yeso, con lo que se supone un predominio del lavado lateral y lixiviación de los sulfatos.

- pH.

Está muy condicionado por la relación yeso/caliza. En los perfiles con yeso abundante, los A<sub>0</sub> presentan pHs entre 6.8 y 7.5, A<sub>1</sub> y (B) de 7.5 y C de 7.2-7.4. En las muestras muy calcáreas y poco yesíferas, los valores son próximos a pH 8.



FIGURA nº 16.- Perfil A<sub>0</sub>C sobre marga yesífera (F7957).

### - Mineralogía de arcillas.

Se ha estudiado un perfil, en parte coluvial, que permite comparar muestras próximas con diferente contenido en yesos.

La roca, formada por yeso nodular con abundante residuo carbonatado, presenta una composición mineralógica muy variada como corresponde al origen detrítico, al menos en parte, de la fracción silicatada. Las arcillas dominantes son, en orden de intensidad, illitas, caolinitas, vermiculitas, cloritas y montmorillonitas, con abundantes interestratificados entre los que destacan las cloritas parcialmente expandidas.

En los horizontes superiores, de origen coluvial y con poco yeso, se obtiene una composición cualitativa muy similar al C, registrándose una disminución de montmorillonita y aumento de cloritas y de illitas (menos) en superficie. La caolinita se mantiene bastante constante en todo el perfil y con intensidad relativamente alta.

Los datos expuestos parecen indicar una dinámica actual poco activa en la génesis de arcillas, con un aumento de cloritas e illitas paralelo al rejuvenecimiento coluvial.

### Clasificación de los suelos

#### a) Según la Soil Taxonomy.

La inexistencia de acumulaciones de precipitados yesosos implica que no sea aplicable la definición de horizonte de diagnóstico gípsico. Por tanto, las características diferenciales de este grupo sólo se reflejarán al nivel de la familia de suelos y en los casos en que haya yeso suficiente por encima del contacto lítico.

Las familias reconocidas son las siguientes:

#### - Torriorthent xérico franco, gípsico, méxico.

Suelo desarrollado sobre marga yesífera, friable, con lo que no hay contacto lítico a 50 cm. de profundidad. Es un per-

fil  $A_0C$ , no presentando  $A_1$  individualizable. El contenido en yeso es elevado en C. La vegetación es un bosque claro de encinas con plantas indicadoras de yesos como Gypsophila hispanica.

- Torriorthent lítico xérico franco-esquelético, gípsico, méxico.

La abundancia en C de yeso nodular suelto y la existencia de contacto lítico a menos de 50 cm. de profundidad son las diferencias con la familia anterior. La vegetación es también muy similar.

- Camborthid lítico xeróllico franco, gípsico, méxico.

A diferencia de las familias precedentes, hay un lavado apreciable de yeso en los horizontes minerales con lo que cumple las condiciones de endopedion cámbico.

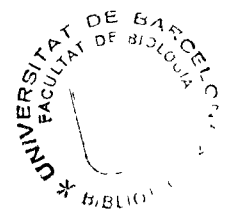
La vegetación es predominantemente gipsícola, con algún quejigo raquíptico.

- Torriorthent lítico xérico franco, carbonatado, méxico.

Los perfiles de esta familia están formados a partir de material coluvial sobre yesos. Todo parece indicar que en la zona el coluvionamiento favorece la evacuación de los sulfatos. Los horizontes  $A_1$  y (B) prácticamente no contienen yeso y la vegetación arbórea se desarrolla sobre el coluvio sin dificultades. Coexiste una vegetación gipsícola poco abundante.

- Torriorthent lítico xérico franco, mixto (calcáreo), méxico.

Suelo muy superficial en el que, no obstante, hay mezcla de material coluvial de tipo arenisca con el yeso in situ. Hay una importante proporción de residuo insoluble con lo que no cumple las condiciones de clase mineralógica carbonatada o gipsica. La vegetación es claramente gipsícola y con abundantes líquenes terrícolas, incluyéndose en la alianza Gypsophilion. Hay grupos de coscoja aislados en la zona.





La distribución de los suelos yesíferos estudiados, en el sector norte de la depresión, implica que el régimen de temperaturas sea, para todas las familias descritas, de tipo méxico.

b) Por la C.P.C.S.

La sistemática francesa considera la subclase de los suelos yesíferos, definiéndolos por contener yeso en el horizonte superior. No se explicita en la definición un valor crítico de yeso. Nosotros hemos establecido el límite para las concentraciones superiores al 0.1% donde se observa una cierta predominancia de la vegetación gipsícola. En función de este criterio, se reconocen dos conjuntos de suelos:

- Rendsina yesífera y pardo yesífero, sobre yesos, incluidos dentro de la S.Cl. de los suelos yesíferos. Presentan contenidos apreciables de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , incluso en los  $\text{A}_0$ . La diferencia entre ambos subgrupos se centra en la existencia o no de horizonte (B) estructural.
- Rendsina muy humífera con fuerte efervescencia y pardo calizo modal, sobre yesos, que corresponden a la S.Cl. de los suelos carbonatados. Están formados a partir de materiales coluviales y la vegetación gipsícola es escasa.

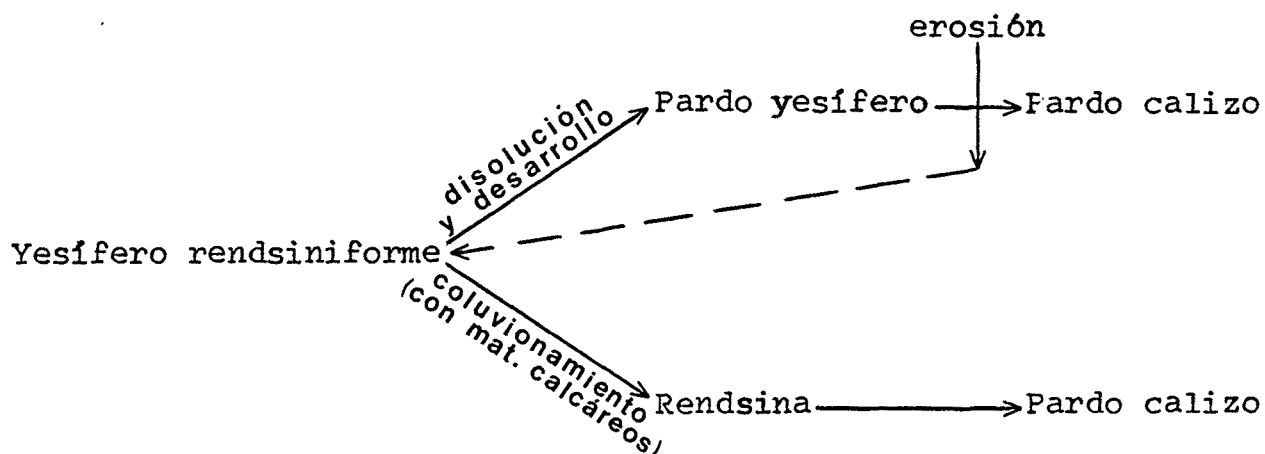
### Distribución

Los suelos yesíferos de la Depresión Central ocupan una extensión reducida, limitada a los afloramientos de yesos en forma de estratos espesos. La presencia de pequeñas intercalaciones de yeso fibroso en las margas, relativamente frecuentes en el área, no comporta en general la formación de un suelo yesífero por su poca importancia cuantitativa.

Los afloramientos de yesos destacables son los del anticlinal Sanauja-Ponts-Cubells, y en segundo plano, los del altiplano de la Segarra, entre la plataforma de La Panadella y Cervera aproximadamente.

## Génesis

La dinámica aparente de los yesos en las zonas culminales es de importante disolución y lixiviación, cuando no de erosión. En consecuencia, hay una evolución hacia los suelos carbonatados que se ve favorecida por el coluvionamiento en el que intervengan materiales calizos. No hemos observado in situ la culminación de la disolución y aparición del horizonte (B) sin yeso. Las causas posibles serían la propia pobreza general de residuo silicatado de las roca yesíferas y, por otra parte, la sensibilidad de estos materiales a la denudación mecánica y erosión.



## LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA

En este apartado se comentan algunas observaciones cualitativas destacables de la actividad biológica en los suelos estudiados.

### - Reconocimiento de Gasterópodos.

Se ha realizado la extracción manual de los caracoles presentes en las muestras de suelos. La recolección no es exhaustiva como tampoco se ha realizado un muestreo específico al respecto; no obstante, se ha aplicado el mismo sistema a todas las muestras, por lo que los resultados son comparables entre sí; pudiera haber.

un error selectivo por defecto en las especies de menor tamaño.

La identificación de los 160 ejemplares recolectados la ha realizado C. Ruiz-Altaba.

La gran mayoría de los ejemplares se hallaban en horizontes  $A_0$  y  $A_1$ .

El número relativamente pequeño de muestras estudiadas no permite extraer grandes consecuencias sobre la relación entre las especies de Gasterópodos y tipos de suelo, si es que existe tal relación. Las posibles conclusiones sobre la corología de las especies estudiadas es un tema que se escapa mucho de nuestra especialidad.

Se ha observado que tres especies son particularmente abundantes y de distribución geográfica y de tipo de suelo muy ubicuista en la zona estudiada. Son Pomatias elegans (38% de los ejemplares recolectados), Trochoidea (Xeroplexa) monistrolensis (23%) y Jaminia quadridens (14%). Abida polyodon presenta asimismo una distribución diversificada, pero sólo se ha encontrado en tres localidades (7% sobre los ejemplares recolectados en total).

Quizá quepa destacar que los pocos ejemplares encontrados de Vitrea crystallina se localizan en suelos sin carbonatos en la tierra fina. Diversos autores (Newell, 1971) relacionan la distribución de los caracoles con la disponibilidad de calcio en el suelo.

El papel de los Gasterópodos en la descomposición de la materia orgánica del suelo ha sido poco estudiado. Grime y Blythe (1969) opinan que los caracoles terrestres no provocan cambios importantes en la materia orgánica que ingieren. Anderson et al. (1975) atribuyen a la mezcla entre materia mineral y orgánica que se produce en las deyecciones de los caracoles un efecto protector de la fracción orgánica.

#### - Otros componentes de la macrofauna

Son destacables por su abundancia lombrices, Júlidos y hormigas.

- Los Lumbrídeos tienen un importante papel en la incorporación de la materia orgánica en el suelo mineral. Toutain (1983) afirma que en medios no ácidos, son los Lumbrídeos los máximos responsables de la formación de mull.

En casi todos los suelos estudiados se han observado turrícolas de lombriz, incluso en los muy arenosos (hasta 85% de arena, de la cual un 70% de AG), muy pedregosos, ácidos y algunos yesosos. Sólo no se ha observado actividad alguna de Lumbrídeos en suelos sobre marga muy yesífera (65-70% de yeso), coincidiendo con la inexistencia de horizonte  $A_1$ : probablemente el exceso de yeso impide la presencia de lombrices con lo que se reduce el proceso de mezcla de materia orgánica y mineral.

Con frecuencia las turrícolas constituyen la práctica totalidad de la materia mineral fina de los  $A_0$ . Se han observado turrícolas, y lombrices enroscadas en posición de reposo, en las margas no o relativamente poco yesíferas.

Algún horizonte está formado completamente por turrícolas de lombriz que, además, son las unidades macroestructurales.

Sería necesario tener medidas de la actividad de las lombrices para saber hasta que punto se relacionan con la existencia de horizontes  $A_0$ . A priori, parece que dicha actividad tendrá importantes limitaciones en las épocas frías y en las secas, factores a los que las lombrices son muy sensibles, y por tanto, el período favorable será muy reducido.

- Los Diplópodos (Júlicos).

Especies de este grupo se han visto en prácticamente todos los suelos estudiados y en más ocasiones que las lombrices. La abundancia de estos organismos debe estar en relación con su resistencia a la sequía y su afinidad por los suelos calcáreos (Bachelier, 1963). Al igual que los lumbrídeos, son mezcladores de la materia orgánica en el suelo mineral, pero en las deyecciones la proporción de materia mineral es 1/3 de la correspondiente a las turrícolas de lombriz (Bachelier, 1963), con lo que su impor

tancia en la dinámica de la materia orgánica es menor. Las deyecciones de estos organismos se acumulan en la superficie del suelo mineral, en el nivel H.

Kubiena (1952) atribuye un humus especial a la actividad predominante de los miriápodos: Móder mulliforme sobre materiales ácidos y móder de rendsina mulliforme sobre calizas. Este tipo de humus se caracteriza por la abundancia de excrementos animales en cuyo interior la mezcla de la materia orgánica y mineral es débil.

#### - Las hormigas.

El papel de estos organismos es particularmente apreciable en las zonas más secas de la depresión, fundamentalmente sobre suelo desnudo. Coexisten en estas superficies frecuentes masas de Nostoc y costras liquénicas terrícolas. Las hormigas forman junto a la entrada del nido unos montones de "pellets" de tierra fina amasada de tamaño muy regular, remontada del suelo mineral.

La acción de estas hormigas, al igual que la de las termitas, es inversa a la de lombrices y Diplópodos, pues ponen en la superficie del suelo materia mineral fina que poco a poco es susceptible de ser erosionada. Por tanto, sobre todo en los lugares más expuestos, la actividad de las hormigas puede ser motivo de empobrecimiento del suelo.

En ocasiones, se observa que la hojarasca de estas zonas está entremezclada con las deyecciones de hormiga sueltas y dispersas y en un caso, perfil F8027, todo el suelo (30 cm.) está constituido por bolitas de este tipo, más o menos anastomosadas y desdibujadas por efecto de la dinámica edáfica, pero reconocibles.

#### - Los hongos.

Es generalizada la presencia de micelios fúngicos en los horizontes orgánicos de los suelos de la depresión. En cambio, en suelos fersialíticos de textura fina son muy frecuentes unas tramas miceliales de color blanco que colonizan la superficie de agre

gados en los horizontes minerales  $A_1$ ,  $A_3$  y (B), a profundidades de 10 a 15 cm.. Estos micelios no tienen una conexión aparente con residuos orgánicos reconocibles a la lupa.

La observación microscópica de una de estas muestras por A. Rosell revela que las hifas son septadas y que probablemente sean de Basidiomicetes; sobre las paredes de las hifas se depositan cristales relativamente grandes.

La presencia de estos hongos en los suelos fersialíticos citados podría estar relacionada con el microclima más húmedo que comporta la textura fina y quizá también en el pH, moderadamente básico.