

**XVI REUNION
DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE LA CIENCIA DEL SUELO**

Guía de las excursiones



Lleida


Septiembre 1989

XVI REUNION DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA CIENCIA DEL SUELO

SUELOS CON YESO EN EL PLA D'URGELL: Características y aspectos edafogénicos de Xerochrepts hipergypsicos (S.S.S. 1989).

Por:

Rosa M. Poch

UPC

Supervisión:

G. Stoops

RUG

J. Porta

UPC

J. Boixadera

UPC-DARP

Lleida



Septiembre 1989

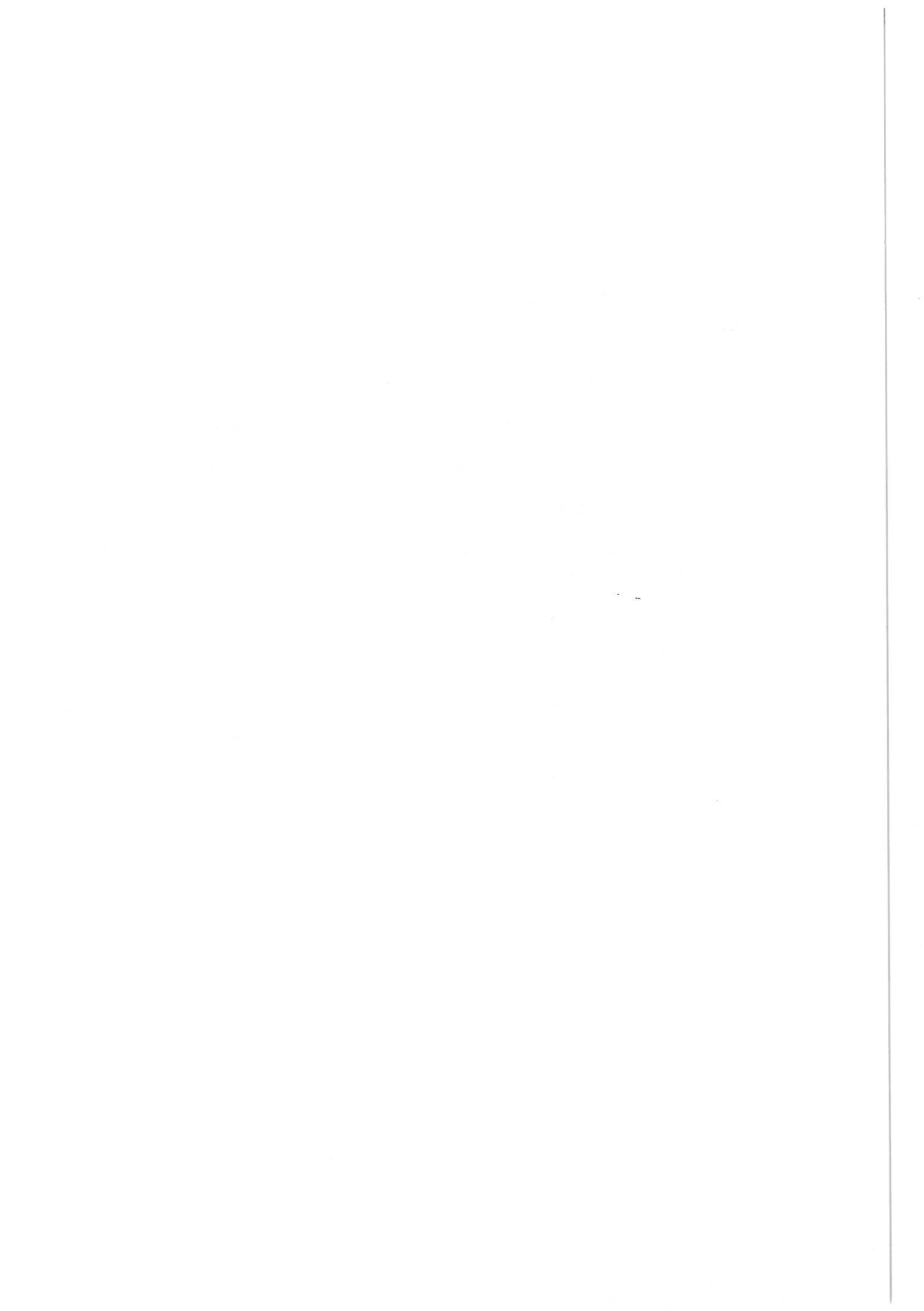
A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned to the right of the date.

© 1989. Depósito legal: L-1487/89

Poch, R. M.
Suelos con yeso en el Pla d'Urgell.
D.M.C.S.-U.P.C. & S.E.C.S. Lérida.

INDICE

1. Introducción.	1
2. Antecedentes.	2
2.1. Las formas de yeso en los suelos.	2
2.2. Características físico-químicas de los suelos yesosos.	4
3. El medio natural.	5
3.1. Clima, litología y geomorfología.	5
3.2. Los suelos yesosos de El Pla d'Urgell. Características y usos.	5
4. Los Xerochrepts hipergypsicos (SSS 1989) de El Castell del Remei.	8
4.1. Características macromorfológicas.	8
4.2. Características físico - químicas.	11
4.2.1. Métodos.	11
4.2.2. Resultados.	11
4.3. Estudio mineralógico.	18
4.3.1. Mineralogía de arenas.	18
4.3.2. Mineralogía de arcillas.	19
4.3.3. Mineralogía de eflorescencias salinas.	22
4.4. Estudio micromorfológico.	24
4.4.1. Metodología.	24
4.4.2. Características micromorfológicas de los horizontes.	25
4.4.3. Formas de yeso y calcita en el perfil.	28
4.4.4. Estudio micromorfométrico.	30
4.5. Discusión general.	33
4.5.1. Relación entre características físicas y micromorfológicas.	33
4.5.2. Procesos de formación del suelo.	34
4.5.2.1. La presencia de yeso en el Pla d'Urgell.	34
4.5.2.2. Formación de depósitos yesosos.	37
4.5.2.3. Formación de horizontes hipergypsicos.	37
5. Conclusiones	39
6. Bibliografía.	40



1. INTRODUCCION

Los primeros estudios sistemáticos de suelos en el Area Regable de los Canales de Urgell se iniciaron en 1984 por el Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya. Esta zona, que es uno de los regadíos más importantes de Cataluña, ocupa unas 70.000 ha. Sus características climáticas, litológicas, geomorfológicas y de los suelos de las 46.000 ha cartografiadas a escala 1:25.000 hasta 1989 han sido estudiadas por Boixadera et al. (1989 a, b).

Estos trabajos cartográficos pusieron de manifiesto la presencia de suelos yesosos en extensiones considerables, cuya presencia y morfología planteaban algunos problemas de interpretación. Como refuerzo a los trabajos cartográficos, cuyo objetivo primordial es mejorar el uso y manejo de los suelos, y dado que el Departamento de Meteorología y Ciencia del Suelo (DMCS) de la UPC viene desarrollando una línea de investigación sobre suelos con yeso, se planteó una investigación sobre el tema.

Trabajos anteriores del DMCS (UPC) (Porta, 1986, Herrero, 1987, Porta et al. 1988, Herrero et al. 1987) se habían orientado a profundizar en aspectos exclusivamente de génesis de los suelos con yeso. En el presente trabajo se ha intentado avanzar en una dirección causa-efecto, entre las características micromorfológicas y el comportamiento de estos suelos en lo referente a propiedades físicas.

Los estudios realizados se centran en aspectos físico-químicos, mineralógicos y micromorfológicos de uno de estos suelos, perteneciente a la serie Prat definida por la prospección de suelos del área. Los objetivos planteados han sido:

- Ampliar el conocimiento de las características de los suelos yesosos sobre depósitos cuaternarios.
- Plantear hipótesis acerca de su edafogénesis.
- Estudiar las relaciones entre propiedades físicas y características micromorfológicas.

Los trabajos han sido posibles gracias al apoyo del DMCS-UPC (Prof. J. Porta), del Laboratory for Mineralogy, Petrology and Micropedology (Prof. Dr. G. Stoops) de la Universidad Estatal de Gante (RUG) y de la Secció de Sòls i Fertilitzants del DARP (Ir. J. Boixadera). La CIRIT ha proporcionado parte del soporte económico. A todos ellos se les agradece su colaboración.

2. ANTECEDENTES

2.1. Las formas de yeso en los suelos.

El yeso puede encontrarse en distintas formas en los suelos, dependiendo de su origen y de los procesos edafogénicos que han actuado en él. Estas formas se han identificado y descrito en el campo y bajo el microscopio por distintos autores en diversas partes de mundo. Herrero (1987) y Porta et al. (1988) establecen los siguientes hábitos de yeso en el suelo:

Yeso lenticular. Son cristales en forma de lentejas, con tamaños de 20 μm a 2 mm, y con una sección ecuatorial circular o pseudo-hexagonal. Es la forma más ampliamente identificada y descrita en la bibliografía, tanto como constituyente del yeso vermiforme descrito en campo, como en horizontes de acumulación generalizada. El yeso lenticular se encuentra normalmente como cristales independientes, aunque localmente puede formar mosaicos (Halitim et al. 1987). La génesis del yeso lenticular parece asociada a la presencia de materia orgánica, como se ha mostrado experimentalmente (Cody 1979, Porta 1986).

Yeso anhedral. Corresponde a yeso no edáfico, como porfidoblastos o componentes de extinción no uniforme, heredados de componentes yesosos presentes en el material originario.

Yeso fibroso. Este tipo de yeso se ha identificado como edáfico en Aridisoles de Sudán (Osman, O., com. pers.) y de Egipto (Labib, 1970). También se encuentra presente como intercalaciones en calcilutitas, siendo en este caso de origen geológico (Julià et al. 1981).

Yeso microcristalino. Se denomina así a un material de tacto farináceo, blanco-rosado en húmedo, compuesto de cristales de yeso de tamaño pequeño ($<20 \mu\text{m}$). Puede encontrarse en acumulaciones locales o como horizontes continuos. En esta última forma ha sido descrito en diversas partes de España (Herrero 1987).

Los tipos de acumulación del yeso, tal como pueden identificarse en campo son los siguientes (Stoops et al., 1981):

Yeso vermiforme (Porta et al., 1988). Corresponde a los pseudomicelios definidos por Stoops et al. (1981), descritos como acumulaciones de yeso lenticular en bioporos. Su formación está asociada con la evaporación de soluciones saturadas de yeso en canales. También se han descrito en asociación con sales (Labib et al., 1986). Al ser identificable a simple vista, el yeso vermiforme puede constituir un carácter diagnóstico para definir horizontes gypicos (SSS 1975) en campo.

Horizontes de yeso lenticular ("Compacted powdery gypsum"). Son horizontes compuestos de un material sin estructura, blanquecino y friable, formados en su mayor parte por yeso lenticular de tamaño de arena. Respecto a la génesis de tales horizontes se han formulado varias hipótesis. Barzanji et al. (1974)

los consideran como el resultado de la cristalización repetitiva de yeso en bioporos alternada con la incorporación de dicho yeso en la matriz del suelo debido a la acción de la fauna. Porta y Herrero (1988), estudiando suelos sobre rocas yesosas, proponen un proceso de gypsificación de yeso lenticular, que se iniciaría por la cristalización de yeso en un sistema de poros preexistente. El crecimiento de dichos cristales debido a la evaporación de una solución de suelo saturada en yeso originaría la segregación de la matriz en islotes y el progresivo enriquecimiento en yeso.

Debido a que el contenido en yeso de este tipo de horizontes supera el 60%, cabe clasificarlos como horizontes hipergypsicos (ICOMAD, 1989), siempre que cumplan el resto de los requisitos.

Costra cementada de yeso ("Strongly cemented gypsum crust"). Este horizonte está formado por un material blanquecino y coherente con fractura sacaroidea. Está compuesto por la agregación de cristales de yeso hipidiotópicos o xenotópicos, con eventuales trazas de actividad biológica. Su génesis está relacionada con el crecimiento y recristalización del yeso lenticular, inicialmente idiotópico.

Debido a que los fragmentos de este tipo de acumulación no colapsan en agua, puede corresponder al horizonte petrogypsico (SSS 1975).

Cristalizaciones gruesas. Se encuentran como grandes cristales de yeso o agrupaciones de ellos (rosetas de yeso, rosas del desierto), o como yeso geopital o en revestimientos en gravas de terrazas fluviales. La génesis de rosas del desierto se ha asociado a la presencia de una capa freática activa (Halitim 1985, Stoops et al., Tolchel'nikov 1962, Pouget 1968), o como producto de la recristalización de un material parental yesoso (Mardoud 1981).

Costra yesosa poligonal ("Polygonal gypsum crust"). Se reconoce por la presencia en superficie de placas poligonales (2 - 5 cm de grosor, varios cm de diámetro) con los márgenes levantados y compuestos de finos cristales de yeso débilmente cementados. El espacio entre los márgenes de dos placas adyacentes está ocupado por un material parduzco. Según Halitim (1985) este tipo de costra se originaría por la exposición de costras yesosas cementadas en superficie, donde debido a altas temperaturas el yeso sufriría una conversión parcial a anhidrita, con la consiguiente reducción de volumen y aparición de fisuras en superficie.

Arena yesosa ("Loose gypsum sand"). Formada por cristales lenticulares o redondeados de yeso, de tamaño de arena gruesa, que se encuentran en wadis o en los márgenes de sebkhas.

Horizontes de yeso farináceo (Herrero, 1987). Estos horizontes están compuestos casi en su totalidad por yeso microcristalino. Debido a que los fragmentos colapsan en agua y a que el contenido en yeso supera el 60%, es posible clasificarlos como hipergypsicos (ICOMAD, 1989).

2.2. Características físico-químicas de los suelos yesosos.

La propiedad del yeso que influye más en las características de los suelos yesosos es su solubilidad relativamente elevada (aproximadamente 2,6 g/l a 25°C) que, por otra parte, no es suficiente para que pueda ser lavado del perfil en zonas áridas y semiáridas. La solución del suelo en éstas se encuentra casi siempre saturada en yeso, y por lo tanto el equilibrio iónico está disturbado por la presencia de grandes cantidades de sulfatos y de calcio. Ello origina una conductividad eléctrica alrededor de 2,2 dS/m a 25°C, cualquiera que sea la relación suelo/agua, mientras haya yeso precipitado. También son de esperar bajas relaciones Mg^{2+}/Ca^{2+} y K^{+}/Ca^{2+} , tanto en la solución del suelo como en el complejo de cambio (Alphen et al., 1971). Por otra parte, y debido a que el yeso es un componente del suelo sin carga superficial, su presencia en grandes cantidades hace que la capacidad de intercambio catiónico del suelo sea baja.

Las características físicas de los suelos ricos en yeso son muy variables. No sólo dependen del contenido absoluto en yeso, sino también de su distribución a lo largo del perfil, del tipo de acumulación y del origen de los depósitos de yeso. En estos suelos el yeso debería considerarse como un componente de la fase sólida más que como una sal soluble, y por lo tanto la capacidad de retención de agua disponible para las plantas (CRAD) estará influida por la granulometría del yeso (Alphen et al., 1971). Debido a que éste se encuentra normalmente como cristales de tamaño limo o arena, el agua disponible para las plantas se verá reducida cuando el yeso se encuentre en grandes cantidades en el horizonte. La conductividad hidráulica y la velocidad de infiltración es normalmente de moderada a alta por la misma razón, a menos que se encuentren costras de yeso (petrogypsicos) en superficie (Watson, 1985).

Cuando estos suelos se someten a riego, pueden aparecer problemas derivados de la disolución de los horizontes más ricos en yeso. En estos casos pueden desarrollarse verdaderos "karsts" de yeso, con formación de cavidades y socavones, debidos a fenómenos de sufosión, que se acentúan con la nivelación repetitiva de los campos afectados. En estos casos es necesario un manejo cuidadoso del riego para evitar excesos de agua en el perfil (Alphen et al., 1971).

3. EL MEDIO NATURAL

3.1. Clima, litología y geomorfología.

El clima de la zona estudiada es seco, semiárido, sin exceso de agua y mesotérmico según la clasificación de Thornthwaite. La precipitación anual es de 390 mm, la temperatura media anual es 13,9°C y la ETo (Blanney-Criddle) anual es de 1153 mm (Villar 1987). Los regímenes hídrico y térmico del suelo (SSS 1975) son xérico y méxico respectivamente (para una discusión más detallada puede consultarse Boixadera et al., 1989).

El Area Regable de los Canales de Urgell comprende la unidad geomorfológica de El Pla d'Urgell, una extensa zona llana que forma parte de la Depresión Central Catalana, constituyente a su vez del Valle del Ebro. El substrato está formado por la Formación de Areniscas del Urgell, oligocénica, constituida por arcillas con bancos y paleocanales de areniscas. El grado de compactación es bajo comparado con el de la Formación Tàrrrega, formación coetánea con la que la depresión limita al Este, formada por calizas, conglomerados, calcilutitas y yeso (Calvet 1977, IGME 1944).

El substrato terciario de la depresión está cubierto en una gran parte por depósitos aluviales cuaternarios provenientes de la Formación Tàrrrega, acarreados principalmente por los ríos Corb y Ondara. Éstos forman unos amplios abanicos aluviales con distintos niveles de gravas y depósitos más finos. En posición frontal a estos depósitos aluviales se encuentran unas amplias zonas llanas, denominadas áreas de Linyola-Castellserà y de Mollerussa, situadas frente a los abanicos aluviales de los ríos Corb y Ondara respectivamente (Calvet, 1977). Relacionadas con ambas zonas se han identificado suelos yesosos (fig. 1).

3.2. Los suelos yesosos de El Pla d'Urgell. Características y usos.

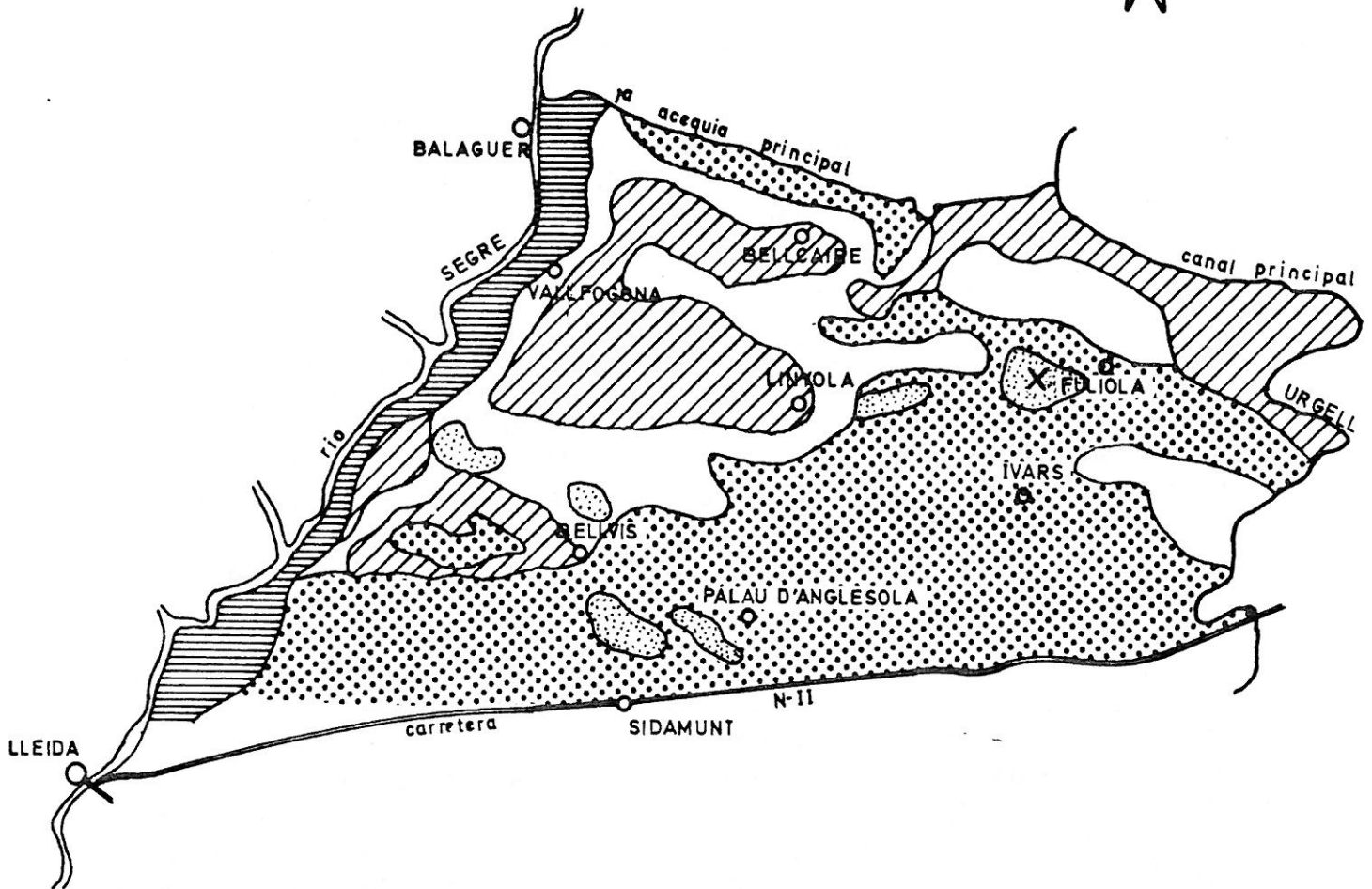
Las acumulaciones yesosas en el Pla d'Urgell descritas en los suelos (Boixadera et al. 1989 a) pertenecen a diversos tipos:

Yeso vermiforme. Es el tipo normal de acumulación de yeso en los suelos del Urgell, pudiéndose encontrar ya en los horizontes superficiales de los suelos ricos en yeso.

Rosas del desierto. Están formadas por cristales gruesos o aglomerados de yeso, y que alcanzan a veces tamaños decimétricos. Se encuentran en horizontes subsuperficiales de algunos suelos yesosos.

Horizontes de yeso lenticular. Se trata de horizontes blanquecinos, normalmente con una estructura masiva y tacto áspero. Son friables, de textura franco-arenosa o franco-limosa en el campo, y muestran a menudo acumulaciones de yeso vermiforme y nódulos de yeso. Normalmente son compactos, y por esta razón el desarrollo de las raíces se ve dificultado.

escala 1/250.000



X Perfil C-1 "El Castell del Remei"



ALUVIONES Y COLUVIONES SIN ELEMENTOS GRUESOS



ARCILLAS, LIMOS Y GRAVAS CALIZAS DE LOS RIOS CORB Y ONDARA



LIMOS YESIFEROS



ARCILLAS, LIMOS Y GRAVAS - TERRAZAS RIO SEGRE



CALCILUTITAS Y ARENISCAS OLIGOCENAS

Fig. 1.- Distribución de materiales en la zona N de El Pla d'Urgell, y situación de los suelos con yeso estudiados. (Boixadera et al., 1987)

Horizontes de yeso farináceo. Se reconocen por su color blanco-rosado en húmedo y por su tacto harinoso. En húmedo son menos coherentes y más pulverulentos que los horizontes constituidos por yeso lenticular.

No se han observado cementaciones de yeso en forma de horizontes petrogypsicos.

Los suelos yesosos de El Pla d'Urgell pueden contener yeso en distintas proporciones. Se han definido dos series de suelos cuando el contenido en yeso excede el 10%, denominadas Series Montsuar y Prat (Boixadera et al., 1989), ambas clasificadas como Xerochrepts gypsicos (SSS 1975, 1987).

Los usos de estos suelos presentan características especiales y limitaciones para el crecimiento de las plantas. En la Serie Montsuar la profundidad de enraizamiento está limitada por un nivel freático que alcanza los 40 cm durante algún periodo del año. La presencia de yeso no se considera como factor limitante para algunos cultivos, e incluso en algunos casos puede evitar procesos de sodificación. Los cultivos comunes en los suelos de esta serie son alfalfa, trigo, cebada, avena, y excepcionalmente maíz. El uso de los suelos de la Serie Prat está limitado por una capa freática alrededor de 40 cm, y por la presencia eventual de karsts debidos a la disolución del yeso. Cuando se cultivan, el trigo, la alfalfa o el maíz son los cultivos principales. En otros casos están abandonados y sirven de pasto para las ovejas (Boixadera et al., 1989).

No todos los cultivos se comportan de igual manera en estos suelos. Trigo y cebollas producen rendimientos aceptables mientras los fenómenos de subsidencia no interfieran con el laboreo. Por el contrario se han identificado síntomas de deficiencias de K^+ en maíz y manzanos, probablemente derivados del antagonismo $Ca^{2+} - K^+$. De otra parte, y debido a que los suelos yesosos están asociados a depresiones endorreicas, pueden aparecer problemas de salinidad debidas a redistribuciones de sales más solubles que el yeso. En estos casos pueden observarse rodales de plantas afectadas por necrosis foliar en los campos.

4. LOS XEROCHREPTS HIPERGYPSICOS (SSS, 1989) DE EL CASTELL DEL REMEI.

4.1. Características macromorfológicas.

El perfil estudiado puede considerarse representativo de los suelos en una área llana alrededor de "Mas Cafeter", en las cercanías de "El Castell del Remei". Es un suelo moderadamente profundo, imperfectamente drenado, de textura mediana y sin elementos gruesos. Se han formado en depósitos limosos finos del río Ondara (fig. 1), y muestra evidencias de redistribución y disolución de yeso, la cual origina un karst con fenómenos de sufosión y colapso de los materiales de superficie. Como consecuencia el área está afectada por frecuentes socavones, y el suelo padece una pedoturbación acusada.

Este suelo pertenece a la Serie Prat, definida por la prospección de suelos de la zona (DARP). El área donde se encuentra este suelo está actualmente abandonada, aunque fue cultivada hace unos años. La vegetación actual consiste en una comunidad arbustiva y herbácea abierta, en la que cabe mencionar la presencia de *Gypsophila tomentosa*, una especie gipsófila considerada endémica en la zona.

Es un suelo muy heterogéneo: los horizontes están a menudo distribuidos en lentejones, con límites ondulados e incluso truncados. La superficie está cubierta de una eflorescencia salina pulverulenta. A continuación se detalla la descripción del perfil de acuerdo con las normas SINEDARES (C.B.D.S.A., 1983). Se han tenido en cuenta las propuestas de Porta et al. (1988) para la nomenclatura de horizontes genéticos y las del International Committee on Aridisols (ICOMAD 1989) para la de los horizontes diagnóstico.

PERFIL C1

Localización: El Castell del Remei, La Fuliola, Lérida.
Cartografía: IGN, Hoja 360-IV, esc. 1:25.000
Coordenadas UTM: x 33220, y 461995
Altitud: 255 m

Descrito por: Poch, R.M. y Boixadera, J., 19-7-88.

Temperatura y agua del suelo:

Régimen de humedad del suelo: Xérico
Nivel freático: 110 cm
Régimen de temperatura del suelo: Mésico

Geomorfología:

Escala de observación: dam
Forma de relieve: Fondo llano, pendiente menor de 1%.
Dinámica de la forma: Sufosión y disolución moderada.

Pedregosidad superficial y afloramientos rocosos: inexistentes.
Estado de la superficie: Presencia de eflorescencia salina.
Material parental: Materiales aluviales.
Vegetación: *Cynodon dactylon*, *Gypsophila tomentosa*, *Brachipodium sp.*

Uso del suelo: Agrícola, área abandonada.
Actividad humana: Quema de vegetación espontánea.

Clasificación (SSS 1975, 1989):
Xerochrept hipergypico, limosa gruesa, gypsica, mésica.

Descripción del perfil:

0 - 23 cm	Ay	Húmedo, marrón (10 YR 5/3) en húmedo y marrón pálido (10 YR 6/3) en seco; sin manchas; oxidado; sin elementos gruesos; estructura en bloques subangulares, moderada, fina; poco compacto, no adherente, muy plástico, firme; no cementado; textura franco-limosa; actividad biológica no aparente; sistema radicular: aspecto normal, raíces de muy finas a gruesas, abundantes, sin orientación definida, distribución regular, vivas; reacción al HCl 11%: muy alta; pocas acumulaciones de yeso vermiforme, finas, discontinuas, blandas; límite neto y plano. OCRICO.
23-23/37 cm	Bwy ₁	Húmedo, pardo-grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en húmedo, gris claro (10 YR 7/2) en seco; sin manchas; oxidado; sin elementos gruesos; estructura en bloques subangulares moderada gruesa; compacto, no adherente, muy plástico, friable; no cementado; textura franco-limo-arcillosa; actividad biológica: cámaras rellenas, pocas; raíces: frecuentes, muy finas, sin orientación definida, distribución regular, vivas; reacción al HCl 11% muy alta; frecuentes acumulaciones de yeso vermiforme, finas, blandas, discontinuas; límite neto y discontinuo. HIPERGYPSICO.

23-23/65 cm	Bwy ₂	Húmedo, marrón grisáceo (2,5 Y 5/2) en húmedo, blanco (2,5 Y 8/2) en seco; sin moteado; oxidado; sin elementos gruesos; estructura en bloques subangulares gruesa, débil; poco compacto, no adherente, muy plástico, firme; no cementado; textura franco-limosa, actividad biológica: no aparente; raíces: frecuentes, muy finas a gruesas, sin orientación definida, distribución regular y también asociadas a grietas, hoy cerradas; reacción al HCl 11%: muy alta; frecuentes acumulaciones de yeso vermiforme, finas, blandas, aumentando en profundidad. Límite gradual y discontinuo. HIPERGYPSICO.
23-65/76 cm	Y	Húmedo; marrón pálido (10 YR 6/3) en húmedo; blanco (2,5 Y 8/2) en seco; sin moteado; oxidado; sin elementos gruesos; estructura masiva; poco compacto, no adherente, plástico, muy friable; no cementado; textura limosa; actividad biológica: cavidades, pocas; raíces: abundantes, muy finas a gruesas, sin orientación definida, distribución regular y también asociadas a grietas, hoy cerradas; reacción al HCl 11% alta; abundantes acumulaciones de yeso vermiforme, finas, blandas; límite abrupto, ondulado. HIPERGYPSICO.
65/76-95 cm	Cy	Húmedo; Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo, marrón pálido (10 YR 6/3) en seco, con lentejones pardo-amarillentos claros (2,5 Y 6/4) en seco y blancos (2,5 Y 8/2) en húmedo, de yeso. Estos lentejones tienen un grosor de unos 2 cm, y ocupan 1/3 del horizonte. Manchas: muy pocas (< 1%), muy finas, límite difuso, contrastadas de óxido-reducción; oxidado; sin elementos gruesos; sin estructura; poco compacto, ligeramente adherente, muy plástico; no cementado; textura franco-arcillo-limosa; actividad biológica: no aparente; raíces: muy pocas, muy finas a gruesas; reacción al HCl 11%: muy alta; pocas acumulaciones de yeso vermiforme. Límite abrupto, plano.
95-110 cm	2C	Saturado. Gris claro (2,5 Y 7/2) en húmedo, blanco (2,5 Y 8/2) en seco; sin moteado; oxidado; sin elementos gruesos; sin estructura; poco compacto, no adherente, muy plástico; no cementado; pocas manchas de material húmico, pequeñas, límite abrupto, distribuidas en capas; textura limosa; sin raíces; reacción al HCl 11% muy alta, límite abrupto, plano.
> 110 cm	3Cg	Saturado. Pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo, pardo amarillento claro (10 YR 6/4), en seco; manchas frecuentes, de óxido-reducción, medianas, contrastadas, forma irregular, límite neto; pocas manchas de material húmico, pequeñas, forma irregular, distribuidas en capas; sin elementos gruesos; sin estructura; no adherente, muy plástico, no cementado; textura franca arenosa fina; reacción al HCl 11%: muy alta, sin acumulaciones.

4.2. Características físico-químicas.

4.2.1. Métodos.

Los métodos de análisis físico-químicos han sido los descritos en Porta et al. (1986), con la excepción de la granulometría y el contenido en yeso.

La granulometría se ha determinado de acuerdo con el método Hesse (1974), modificado por Vieillefon (1979), según el cual la muestra de suelo se trata con una solución de cloruro bórico, impidiéndose de este modo la solubilización de las partículas de yeso por la formación en su superficie de una capa de sulfato bórico. Posteriormente se realiza la determinación de la textura por el método de sedimentación discontinua.

De este modo, al considerar las partículas de yeso como componentes de la tierra fina, los resultados pueden relacionarse con las características físicas del suelo.

El contenido en yeso se ha determinado a partir de la curva del análisis termogravimétrico, en la cual la pérdida de peso entre 100 °C y 175 °C corresponde a la transformación yeso-anhidrita.

A partir de los datos de granulometría con y sin destrucción del yeso y del contenido en yeso; ha sido posible el cálculo de la granulometría del yeso en algunos horizontes, restando a las fracciones totales el porcentaje de fracción no yesosa correspondiente. A parte de los análisis de suelos se ha realizado también el análisis químico del agua de la capa freática (DARP, 1988).

En la determinación de las propiedades físicas se han utilizado los métodos clásicos adaptados a materiales yesosos (Hartmann et al., 1980). La conductividad hidráulica saturada se determinó sobre muestra inalterada en laboratorio.

4.2.2. Resultados.

Los resultados de los análisis de los distintos horizontes (Cuadro nº 1) muestran que el yeso está acumulado en los primeros 100 cm de profundidad, sobre un substrato altamente permeable, tal como se refleja en el esquema del perfil (Fig. 2). El horizonte más rico en yeso (Y, 88%) se encuentra en posición subsuperficial, siendo el contenido de yeso en el epipedión del orden del 60%. Debajo del horizonte Y se encuentran consecutivamente un material arcilloso, poco compacto, con intercalaciones de yeso en lentejones; una capa irregular de un material blanquecino con altos contenidos en carbonatos (48%) y un substrato arenoso altamente permeable, en contacto con la capa freática.

Cuadro nº 1.- Datos analíticos correspondientes a los horizontes del perfil C-1.

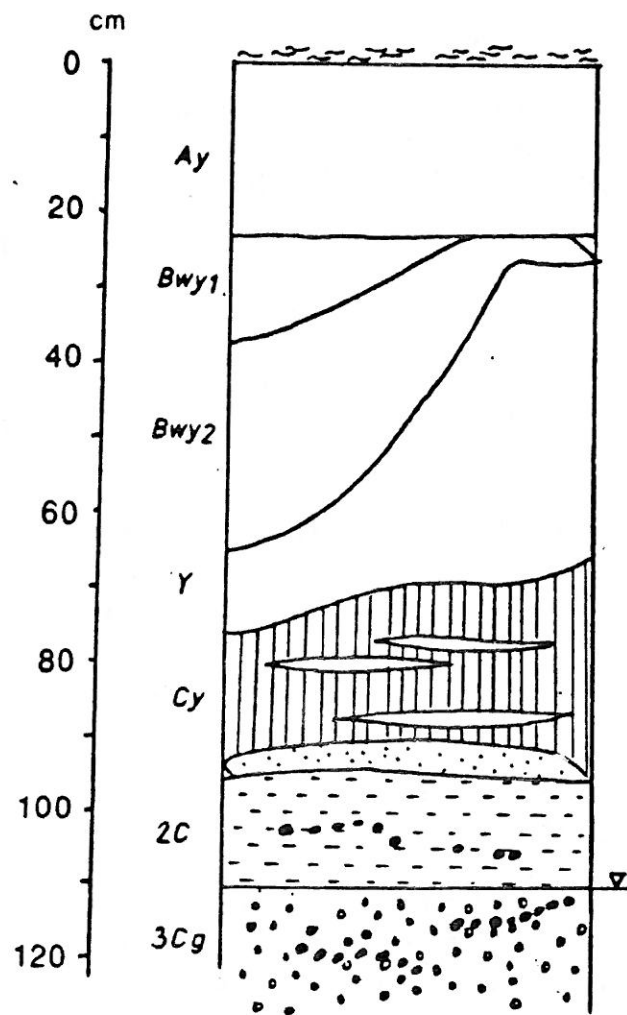
Muestra	Horizonte (cm)	pH (H ₂ O) 1:2,5	CE (1:5) dS/m	Materia (%) orgánica	CaCO ₃ (%)	Yeso (%) (1)
11	Ay 0-23	8.12	2.92	2.06	13.2	59.6
12	Bwy1 23-23/37	8.30	3.03	1.69	14.2	64.5
13	Bwy2 23-23/65	8.07	2.30	0.74	12.0	77.7
14	Y 23-65/76	8.02	2.12	--	5.8	87.9
15	Cy 65/76-95	7.90	1.75	--	26.5	9.5
16	2C 95-110	8.03	0.92	--	48.0	0.8
17	3Cg >110	7.93	0.84	--	16.5	1.0

(1) determinado según ATG.

Muestra	Arena (%) 2000-50 µm	Limo (%) 50-2 µm	Arcilla (%) < 2 µm	Clase textural USDA
11	50.0	35.2	14.8	F
12	42.4	29.9	27.7	FAC
13	54.1	17.7	28.2	FACAr
14	62.7	22.2	15.1	FAR
15	9.3	45.2	45.4	LAC
16	37.1	35.5	27.4	FAC
17	65.6	23.1	11.3	FL

La granulometría se ha determinado sin destrucción del yeso.

La granulometría de los distintos horizontes es muy variable. En los materiales subsuperficiales no yesosos la textura se corresponde con las características descritas en el campo: limo-arcillosa para el horizonte de arcilla con intercalaciones de yeso, franco-arcillosa para el horizonte rico en carbonato cálcico, y franco-arenosa para el substrato arenoso. En los horizontes yesosos, por el contrario, la textura estará influenciada por la granulometría del yeso, debido a los altos contenidos que se alcanzan. Así puede observarse que en los horizontes Ay y Bwy1 (contenidos en yeso entre 60 y 70%) la textura es franca y franco-arcillosa respectivamente, mientras que con contenidos de yeso superiores al 70%, en los horizontes Bwy2 y Y, la textura es más gruesa (franco-arcillo-arenosa y franco-arenosa respectivamente). Estos resultados sugieren que el yeso se encuentra en forma de cristales de tamaño arena, lo cual queda confirmado tras el cálculo de la distribución granulométrica del yeso. Este, tal como se muestra en el Cuadro nº 2, forma casi la totalidad de la arena, la mitad de la fracción limo en la superficie y casi todo el limo y parte de la arcilla en el horizonte Y.











-  eflorescencia salina
-  material con yeso lenticular
-  material con yeso lenticular y microcristalino
-  material arcilloso
-  material rico en carbonato cálcico
-  puntuaciones de material húmico
-  material arenoso
-  nivel freático

Fig. 2.- Esquema del perfil C-1 .

Cuadro nº 2.- Granulometría de las partículas de yeso en tres horizontes del perfil.

Horizonte	Muestra	Yeso (%) (ATG)	Arena (%) 2000-50 μm		Limo (%) 50-2 μm		Arcilla (%) < 2 μm	
			G	NG	G	NG	G	NG
Bwy1	12	64.4	40.3	2.1 (6.0)	14.9	15.0 (42.1)	9.2	18.5 (51.9)
Bwy2	13	77.7	51.7	2.4 (10.6)	11.9	5.8 (25.8)	14.0	14.2 (63.6)
Y	14	87.9	62.3	0.4 (3.3)	20.3	1.9 (15.3)	5.3	9.8 (81.4)

G: Porcentaje de yeso de tamaño arena, limo o arcilla referidos a peso total de muestra.

NG: Porcentaje de la fracción no yesosa de tamaño arena, limo o arcilla referidos a peso total de muestra. Los datos entre paréntesis están referidos a peso de muestra sin yeso, i.e. granulometría de la muestra sin yeso.

El volumen total de poros y la densidad aparente de los horizontes del perfil se muestran en el Cuadro nº 3. En los tres primeros horizontes la densidad aparente aumenta en profundidad, con la consiguiente reducción del volumen total de poros, debido a la mayor compactación de los horizontes subsuperficiales. La densidad aparente de los horizontes subyacentes (Y y Cy) es por el contrario, más baja. Los poros originados por la disolución del yeso en el horizonte Y y la porosidad que resulta de la poca compactación del material no yesoso en el horizonte Cy serían las razones para tal comportamiento.

Los valores de la conductividad hidráulica saturada, obtenida en muestras indisturbadas de cada horizonte (valores estabilizados, 2 repeticiones) concuerdan con los resultados anteriores en el sentido que los horizontes con más porosidad son los que tienen las conductividades hidráulicas más elevadas.

Cuadro nº 3.- Densidad aparente, porosidad y conductividad hidráulica saturada de los horizontes del perfil.

Horizonte	Contenido de yeso %	Densidad aparente (kg/m ³)	Volumen total de poros %	Conductividad hidráulica saturada	
				m/s x 10 ⁻⁵	Evaluación(1)
Ay	60	1150	53.1	1.5	moderada
Bwy1	64	1314	46.1	1.3	moderada
Bwy2	78	1337	44.1	0.3	moderadamente lenta
Y	88	1102	53.3	2.0	moderadamente rápida
Cy	9	1178	55.0	1.9	moderadamente rápida

(1) O'Neal, 1949.

Se obtuvieron también las curvas características de humedad de cada horizonte (3 repeticiones), de las que se presentan los resultados en la figura 3 y el Cuadro nº 4, donde se ha calculado también el tamaño equivalente de poros según la expresión propuesta por Hansen et al. (1980), para poder relacionar los resultados con el estudio micromorfométrico (4.5). En general puede observarse un comportamiento más parecido a materiales arenosos cuanto más yeso tienen los horizontes, lo cual concuerda con los resultados de textura.

Cuadro nº 4 - Retención de agua a distintos potenciales y agua disponible para las plantas en los horizontes del perfil C-1. Los resultados están expresados en porcentajes de volumen. Los diámetros de poro equivalentes han sido calculados mediante la expresión propuesta por Hansen y Israelsen (1980).

Horizonte	Potenciales matriciales negativos (kPa)										Agua disponible (%)
	0.98	2.94	4.90	6.86	9.80	14.7	19.6	33.8	101.3	1520	
Ay	40.1	36.8	34.7	32.7	28.9	27.6	25.9	24.7	17.8	13.7	29
Bwy1	37.2	34.5	32.3	30.3	27.7	25.6	24.1	23.0	18.7	14.6	15
Bwy2	34.0	32.0	31.0	29.9	28.2	26.5	25.0	22.7	15.9	10.9	44
Y	42.5	38.1	34.0	30.6	25.9	21.8	19.0	16.0	6.4	3.8	15
Cy	52.0	50.8	50.3	49.8	49.3	48.4	47.8	46.2	42.4	37.8	19
Ø poro equiv. (µm)	300	100	60	43	30	20	15	10	3	0.2	
pF	1.00	1.48	1.70	1.84	2.00	2.18	2.30	2.54	3.00	4.19	

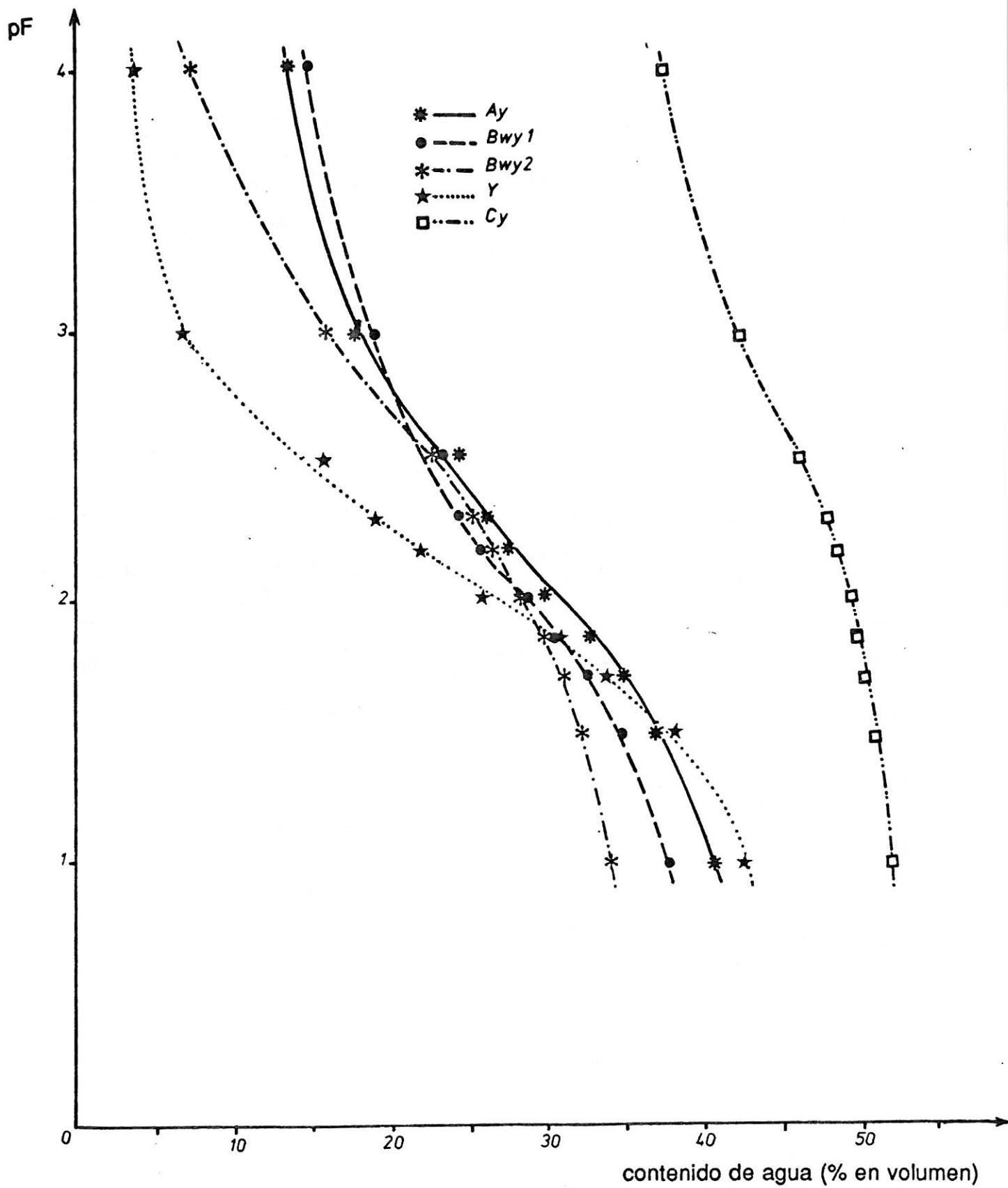


Fig. 3.- Curvas de retención de humedad de los horizontes del perfil C-1.

El análisis químico del agua freática (Cuadro nº 5) muestra que está saturada en yeso, por la conductividad eléctrica mayor que 2.2 dS/m (C.E. de una solución saturada en yeso) y por el predominio de los iones sulfatos y calcio, encontrándose los primeros en cantidades más elevadas que los segundos. Este hecho sugiere la presencia de otras sales aparte del yeso, tales como sulfatos magnésicos, ya que el contenido de magnesio es del 30% de los cationes totales.

Cuadro nº 5.- Características químicas del agua de la capa freática del perfil C-1. (septiembre 1988)

pH	7,56
CE 25°C (dS/m)	3,250
Cationes (meq/l)	
Sodio	4,14
Calcio	24,10
Magnesio	12,36
Potasio	0,19
Aniones (meq/l)	
Cloruros	2,70
Sulfatos	35,13
Carbonatos	--
Bicarbonatos	4,12
Nitratos	0,55
SAR	0,97
Clases USSSL	C4 S1

4.3. Estudio mineralógico.

4.3.1. Mineralogía de arenas.

Se ha realizado el estudio de la arena de dos horizontes del perfil (Bwy₁ y 3Cg) para poder establecer diferencias, si las hubiere, respecto a discontinuidades litológicas en el perfil. El método operativo ha sido el descrito en Stoops (1987a), por el cual se eliminan los carbonatos y el yeso con HCl y por disolución respectivamente, se separan las fracciones pesadas y ligeras con bromoformo y se identifican los granos bajo el microscopio petrográfico en función de sus propiedades ópticas y mediante el uso de tinciones específicas en el caso de los minerales ligeros.

Los resultados de la identificación y el conteo de los granos se encuentran en el cuadro nº 6. Debido a la poca cantidad de arena no yesosa en el horizonte superior, ésta no se ha separado en diferentes tamaños.

Cuadro nº 6.- Mineralogía de las arenas (fracción total) de dos horizontes del perfil.

Horizontes	Bwy ₁	3 Cg
Minerales pesados en la fracción total (% peso)	0,25	0,36
Opacos	37	40
Circón	24	15
Turmalina	1	
Rutilo	2	5
Distena	11	4
Sillimanita	5	8
Andalucita	12	12
Estaurolita	2	5
Granates	30	22
Hornblenda		3
Augita		2
Epidota	6	4
Enstatita		1
Alteritas	8	19
Cuarzo	80	51
Feldespatos potásicos	13	23
Feldespatos cálcicos	3	17
Fragmentos de roca	4	9

Los datos están expresados en porcentajes de frecuencias respecto a la fracción total de arena pesada (opacos), respecto a la fracción total de arena pesada translúcida (resto de los minerales pesados) y respecto a la fracción total de arena ligera (minerales ligeros).

(1) Los fragmentos de roca son principalmente de cuarcita.

En la fracción pesada el mineral predominante del grupo ultraestable es el circón, que aparece bajo dos formas distintas: como cristales prismáticos euhedrales y como cristales redondeados con sección elipsoidal. Estas observaciones se explican por el origen del material, que ha sufrido varios ciclos de sedimentación. En el grupo metaestable, los minerales identificados pueden considerarse de origen metamórfico bajo un punto de vista estrictamente mineralógico. El grupo formado por distena, sillimanita, andalucita, estauroлита y granates (los minerales más estables) constituye del 50 al 60% de la fracción pesada excluyendo los opacos. Las diferencias entre las frecuencias de los minerales en los dos horizontes no permiten deducir un origen distinto de los materiales que los forman.

La alteración de los minerales menos estables en superficie, más acusada que en el substrato, sería la responsable de la mayor proporción de minerales más estables en el horizonte Bwy₁ comparado con el 3Cg.

4.3.2. Mineralogía de arcillas.

La identificación de las arcillas se ha llevado a cabo mediante difracción de rayos X en agregados orientados secos al aire usando un anticátodo de cobalto, siguiendo los métodos descritos por Stoops (1987a). Se han obtenido los difractogramas de todas las arcillas saturadas con sodio pertenecientes a los horizontes Ay, Bwy₁, Bwy₂ y 3Cg. En la arcilla del último horizonte se ha obtenido también los difractogramas de la arcilla saturada con K⁺, Mg²⁺, Mg²⁺- glicol y tras el tratamiento a 250°C y 550°C, para una mejor identificación.

Los difractogramas obtenidos se muestran en las figuras 4 y 5. En los horizontes yesosos las arcillas identificadas son del grupo de la mica, dioctaédricas (reflexiones a 1, 0.5 y 0.33 nm) acompañadas de pequeñas cantidades de caolinita (reflexión a 0.73 y eventualmente a 0.358 nm).

Los difractogramas correspondientes a la arcilla del horizonte subyacente arenoso presenta reflexiones debidas a micas (1.00 - 0.50 - 0.33 - 0.25 nm) y a clorita trioctaedral (1.40 - 0.71 - 0.47 - 0.365 - 0.28 nm). Los picos a 0.92 y a 0.47 nm corresponderían a pirofillita. Las reflexiones a 0.306 - 0.425 nm y 0.282 nm que aparecen en algunos difractogramas corresponden a yeso y calcita residuales.

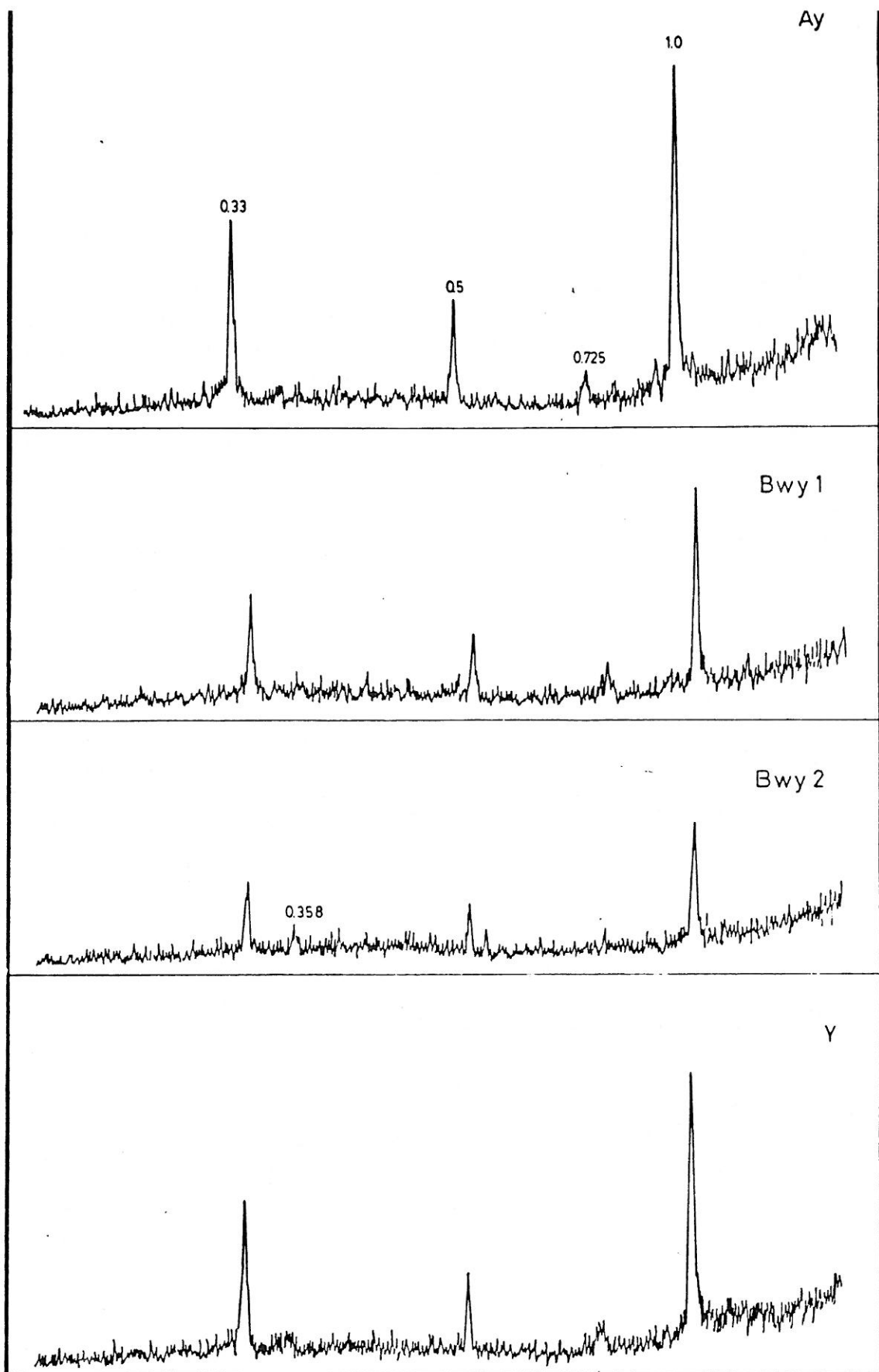


Fig. 4.- Difractogramas de las arcillas orientada y saturadas con Na^+ de cuatro horizontes del perfil C-1 (distancias basales en nm).

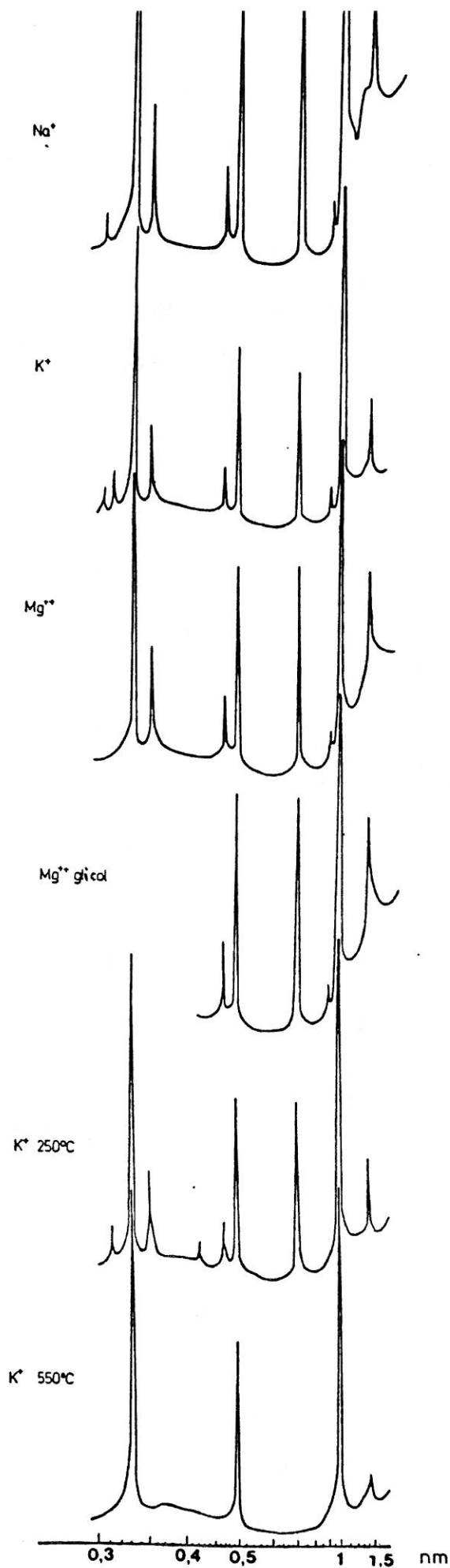


Fig. 5.- Difractogramas de la arcilla del horizonte 3 C₉, saturada con distintos cationes, glicolada y tras tratamientos a 250°C y 550°C (muestras orientadas).

4.3.3. Mineralogía de eflorescencias salinas.

La composición de una eflorescencia salina pulverulenta formada en la superficie del suelo se ha estudiado mediante la difracción de rayos X de una muestra en polvo no orientada (fig. 6). Además del yeso, que es el mineral predominante en la eflorescencia, se han identificado otras sales que se presentan con sus distancias basales características en el Cuadro nº 7. Estos minerales son sulfatos y carbonatos de calcio, magnesio y sodio. No se han identificado cloruros.

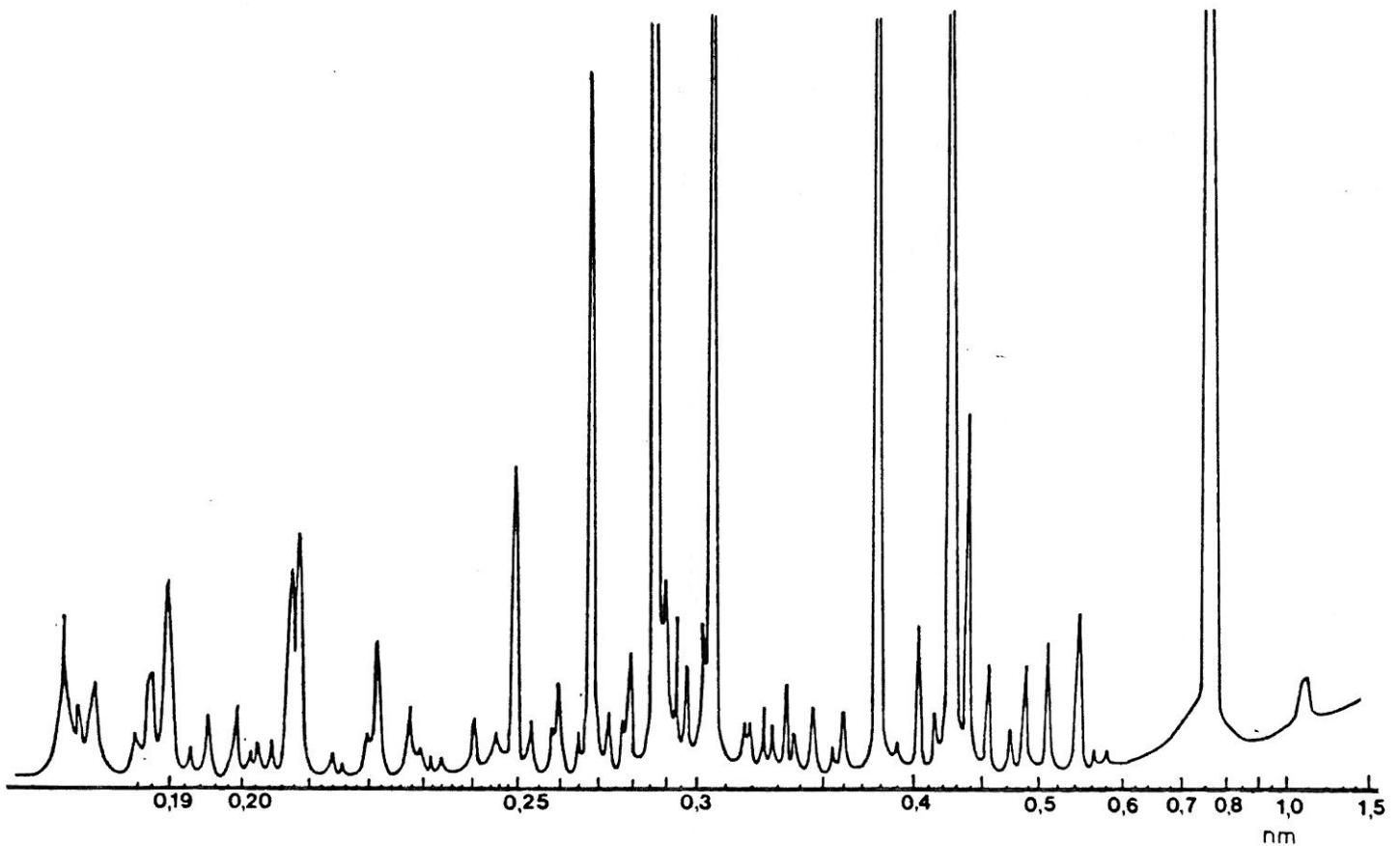


Fig. 6.- Difractograma de la eflorescencia salina superficial (muestra no orientada).

Los minerales hexahidrita, tenardita, mirabilita y bloedita son sulfatos que se encuentran comúnmente en costras salinas en ambientes desérticos (Stoops 1987b). La calcita está presente probablemente como parte de la matriz del suelo, y el mineral pirssonita se ha identificado en sebkhas (Vergouwen, 1981).

La presencia de estos minerales, y más concretamente de la hexahidrita, puede relacionarse con las características químicas de la capa freática, cuya composición permite la existencia de otros sulfatos además del yeso, y confirma que parte del yeso en superficie procede de la capa freática.

Cuadro nº 7.- Distancias basales características de los minerales identificados en la eflorescencia salina en superficie, ordenados según cantidades decrecientes. Las intensidades relativas teóricas se encuentran entre paréntesis.

Mineral	Distancias basales (nm) y intensidades relativas
Yeso (1) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.750 (100) - 0.429 (100) - 0.380 (15) - 0.307 (60) - 0.287 (60) - 0.268 (50) - [0.2088-0.2073] (50) - 0.190 (50)
Hexahidrita (1) $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.546 (28) - 0.512 (24) - 0.489 (24) - 0.440 (100) - 0.404 (32) - 0.292 (60) - 0.277 (28) - 0.268 (24)
Tenardita (1) Na_2SO_4	0.466 (73) - 0.384 (18) - 0.3178 (51) - 0.3075 (47) - 0.2783 (100) - 0.2646 (48) - 0.2329 (21) - 0.1864 (31)
Pirssonita (2) $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.513 (70) - 0.493 (60) - 0.2654 (90) - 0.2565 (80) - 0.2506 (100)
Calcita (2) CaCO_3	0.386 (12) - 0.3035 (100) - 0.2495 (14)
Mirabilita (1) $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0.612 (10) - 0.589 (7) - 0.546 (100) - 0.5329 (45) - 0.4771 (60) - 0.341 (15) - 0.3264 (20) - 0.3206 (15)
Bloedita (1) $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.454 (90) - 0.4275 (30) - 0.328 (100) - 0.325 (90) - 0.2962 (35) - 0.2728 (65)
Arcanita (2)(3) K_2SO_4	0.4162 (41) - 0.2997 (92) - 0.2902 (100) - 0.2886 (76)

(1)BRAITSCH, 1971

(2)VERGOUWEN, 1981

(3)Posiblemente presente.

4.4. Estudio micromorfológico.

4.4.1. Metodología.

Se han fabricado láminas delgadas de suelos siguiendo las directrices de Murphy (1988) y Stoops (1988). Las láminas se han fabricado en el DMCS (Lérida) y en el LMPM (Gante, Bélgica). La descripción se llevó a cabo según el sistema del "Handbook for Soil Thin Section Description" (Bullock et al. 1985) con algunas adaptaciones para suelos yesosos propuestas por Herrero (1987) que se discuten a continuación.

El sistema de Bullock et al. (1985) está concebido como descriptivo para evitar interpretaciones "a priori" de los rasgos observados, pero al describir materiales yesosos presenta ciertos problemas porque en algunos casos las definiciones están aún basadas en criterios claramente genéticos. Los rasgos edáficos cristalinos se definen como "consistentes en cristales que se consideran formados in situ, de cualquier tamaño visible bajo el microscopio" (op. cit. p. 118). El yeso, siendo una sal semi-soluble, puede ser a menudo identificado como componente de un rasgo edáfico (e.g. yeso lenticular rellenando un canal). Pero cuando el yeso es el material básico constituyente del horizonte, como ocurre en los horizontes hipergypsicos (ICOMAD 1989), la descripción va a depender de criterios genéticos -interpretativos-, ya que el microedafólogo deberá decidir a priori si describe el yeso como formado in situ, o bien como constituyente del material base del suelo (definición de masa basal p.p., op. cit. p. 19). Por otra parte, si se decide describirlo como rasgo edáfico, el mismo sistema afirma que cuando un rasgo edáfico cubre toda la lámina delgada, es más razonable describirlo como un horizonte o capa (op. cit. p. 95). Esta opinión se tiene en cuenta en la descripción de una lámina de un horizonte gypsico en el Apéndice II del Handbook (descrita por G. Stoops), donde el yeso lenticular se describe como componente mineral grueso constituyendo parte de la masa basal.

Siendo consciente de estos problemas, Herrero (1987) estableció criterios para poder describir láminas delgadas de suelos desarrollados sobre afloramientos yesosos. En relación con los tipos de yeso en las láminas descritas, los criterios son los siguientes:

a) Yeso Lenticular (YL)

- YL minoritario en suelos: intercalar, rellenos, revestimientos, radial y en empalizada derivados de YL se consideran rasgos edáficos específicos.
- YL en enrejado incluyendo islotes de material no yesoso se describe como rasgo edáfico.
- YL mayoritario con materiales no yesosos dispersos entre las lentejas como arcilla o limo o formando agregados de igual o menor tamaño que las lentejas se describen como masa basal.
- YL disperso en una masa apedral se describe como rasgo edáfico.

b) Yeso microcristalino (YM)

- YM en masas discretas (nódulos, revestimientos, rellenos, asociados a líquenes) son rasgos edáficos específicos.
- YM masivo cubriendo la lámina entera y descrito en el campo como yeso farináceo se describe como masa basal, pudiendo incluir otros rasgos edáficos.

c) Fábrica en islas: Término que se aplica cuando masas micríticas no yesosas están incluidas en una material formado por yeso lenticular.

4.4.2. Características micromórfológicas de los horizontes.

Se han descrito las láminas delgadas obtenidas a partir de muestras indisturbadas de los horizontes del perfil. A continuación se encuentra una síntesis de las descripciones.

Horizonte Ay

El material que forma este horizonte tiene una estructura en bloques subangulares con una microestructura intrapedal de cavitaria y de canales. Los poros son canales, cámaras, cavidades, fisuras y poros de empaquetamiento entre yeso lenticular.

La masa basal está constituida por yeso lenticular de tamaño arena fina y por una micromasa calcítica. La relación g/f varia entre enáulica a porfírica cerrada. La relación g/f es 35/30. Se encuentran frecuentes secciones de raíces y en la superficie del horizonte se observan fragmentos de carbón.

Los rasgos edáficos identificados están relacionados con el yeso:

- zonas con fábrica en islas, islas hasta 2 mm de diámetro, algunos redondeados y con yeso lenticular y otros alargados, sin yeso y con una estructura interna laminada.
- distribuciones en forma de media luna imbricadas ("bow-like") y disposiciones concéntricas de yeso lenticular alrededor de poros.
- revestimientos y nódulos agregados de yeso hipidiotópico.
- rellenos continuos y discontinuos, sueltos, de yeso lenticular.
- nódulos ameboidales de yeso microcristalino.

Horizonte Bwy1

Este horizonte tiene una estructura compleja, consistente en una estructura de fisuración y una microestructura en canales. La masa basal es la misma que en el horizonte anterior, excepto por la distribución relacionada g/f que puede variar de cerrada a porfírica de simple o doble espacio en algunas zonas. La relación g/f es 40/40 o 40/30, dependiendo de las áreas.

Junto a los rasgos edáficos descritos en el horizonte anterior, se han observado los siguientes:

- Fragmentos angulares de micromasa calcítica con una estructura interna laminada y con bandas de yeso lenticular orientadas paralelamente a la laminación. La orientación de los fragmentos es independiente de la superficie del suelo.
- Rellenos discontinuos sueltos de fragmentos redondeados de micromasa.
- Revestimientos y rellenos discontinuos de calcita micrítica, en y alrededor de algunos poros, y también como nódulos típicos.
- Agujas de calcita biogénica en algunos poros.
- Rellenos continuos sueltos de yeso lenticular muy fino.

Horizonte Bwy2

En este horizonte se observa una estructura en bloques subsingulares con una microestructura intrapedal en canales. La porosidad es del mismo tipo que en el horizonte descrito anteriormente, pero con más proporción de poros simples de empaquetamiento entre yeso lenticular.

La fracción gruesa de la masa basal, además de yeso lenticular, contiene fragmentos de cuarzo y de calizas. El resto de la masa basal es similar a la del horizonte superior excepto por la relación g/f, más elevada (40/20) y por la distribución relacionada porfírica cerrada.

Algunos de los rasgos edáficos están relacionados con el yeso lenticular, como distribuciones en forma de media luna, rellenos en canales y cámaras, y nódulos agregados y revestimientos de yeso hipidiotópico alrededor de poros. Se han encontrado otros rasgos, relacionados con la calcita, como calcita pseudomórfica de yeso lenticular y nódulos típicos de calcita micrítica.

Horizonte Y

El material que constituye este horizonte tiene una microestructura cavitaria. Las cavidades alcanzan 4 mm de diámetro, siendo los poros más frecuentes. También se observan canales y poros simples de empaquetamiento.

La masa basal está formada por yeso lenticular poco granoclasificado, de 15 a 500 μm , y por una micromasa calcítica irregularmente distribuida entre aquél, de manera que la distribución relacionada varía de mónica a enáulica o porfírica cerrada en algunas zonas. La relación g/f se estima en 37/3.

Los rasgos edáficos descritos son los siguientes:

- rellenos en canales, orientaciones en forma de media luna y rasgos de pasaje, formados por yeso lenticular.
- nódulos típicos de yeso microcristalino, de tamaño de arena mediana.
- calcita pseudomorfoseando cristales de yeso.

Horizonte Cy

Este horizonte está formado por dos tipos de materiales, I y II, distribuidos en bandas paralelas a la superficie. Las bandas del material I son onduladas, tienen un grosor de 0,1 a 15 mm y no contienen yeso en la masa basal. El material II (yesoso) ocupa los espacios entre el material I, con grosores de 0,5 a 1 mm, y su contenido absoluto aumenta hacia la base de la sección. Ambos materiales se han descrito separadamente.

Material I: Su microestructura es en canales, con una porosidad considerable. La masa basal está constituida por una arena fina de cuarzo, calcita y fragmentos de arenisca como componentes gruesos, y por una micromasa calcítica parda-amarillenta que muestra bandas más claras paralelas a la superficie del suelo. La relación g/f es 30/50 y la distribución relacionada es porfírica abierta o doble espaciada, dependiendo de las bandas. Los componentes orgánicos son de distintos tipos: materia orgánica amorfa en nódulos o puntuaciones, residuos de raíces y células, y excrementos de insectos. Se ha observado además una concha de gasterópodo. Los componentes gruesos y orgánicos están también distribuidos en bandas paralelas a la superficie del suelo.

Se han descrito diversos tipos de rasgos edáficos, bien relacionados con calcita micrítica (nódulos, revestimientos, acumulaciones en poros, pseudomorfoseando yeso lenticular en un nódulo), bien con yeso lenticular (distribuciones en nidos y al azar, rasgos de pasaje del material II consistentes en distribuciones en forma de media luna y concéntricas, rellenos), o bien como líneas de oxi-hidróxidos de hierro disturbadas por yeso lenticular.

Se han identificado, además de los rasgos edáficos precedentes, framboides de pirita en racimos, parcialmente alterados, en las zonas más ricas en materia orgánica.

Material II: Su masa basal está formada por yeso lenticular poco granoclasificado, de tamaño arena fina, y por una micromasa calcítica (relación g/f 50/10), con una distribución relacionada enáulica que puede convertirse en mónica o porfírica cerrada dependiendo de las zonas.

La mayoría de los rasgos edáficos son de fábrica, relacionados con el yeso lenticular (distribuciones en forma de media luna, disposiciones concéntricas, revestimientos de poros), aunque también existen nódulos de yeso microcristalino.

La banda de yeso más profunda tiene menos micromasa (relación g/f 60/10), formada completamente por yeso microcristalino. Los rasgos edáficos observados en él son intercalaciones, rellenos discontinuos sueltos y revestimientos de micromasa calcítica provenientes del material I, junto con distribuciones de yeso lenticular en empalizada, como nódulos o en revestimientos.

Horizonte 3Cg

Está constituido por un material arenoso apedral, con canales, poros planares y cavidades como tipos de poros principales. La masa basal está formada por cuarzo, microclina, plagioclasas, calcita, fragmentos de caliza y otros fragmentos de roca como elementos gruesos, y por una micromasa calcítica gris-amarillenta con bandas marrones. La relación g/f es 40/30 y la distribución relacionada es porfírica de simple espacio. Se han observado secciones de raíces. Los rasgos edáficos son nódulos de calcita micrítica y nódulos impregnativos de materia orgánica amorfa y de oxi-hidróxidos de hierro.

4.4.3. Formas de yeso y calcita en el perfil.

A continuación se discutirán los tipos de yeso y de calcita observados bajo el microscopio.

a) Yeso lenticular

El yeso lenticular, distribuido y orientado al azar, se ha descrito como componente de la masa basal en todos los horizontes, excepto en el material no yesoso del horizonte Cy. Tiene tamaño de arena fina, aunque puede llegar a formar parte de la fracción limo. Esta es la razón de las texturas limosas al tacto determinadas en el campo.

Se ha descrito también como componente de dos tipos de rasgos edáficos:

- Rasgos edáficos de fábrica: Son muy comunes en todos los horizontes yesosos, siendo los más frecuentes distribuciones en forma de media luna y concéntricas. Están asociadas generalmente a una microestructura en canales, como resultado de una actividad de la fauna elevada.

- Rasgos edáficos cristalinos: En este grupo se incluyen revestimientos, rellenos de canales y nódulos. Los revestimientos están formados de cristales hipidiotópicos más o menos agrupados, a lo largo de paredes de poros. Los rellenos son siempre sueltos, continuos o discontinuos. A veces resulta difícil distinguirlos de la masa basal cuando ésta contiene grandes cantidades de yeso lenticular, debido a que pequeños granos de micromasa están a menudo mezclados en el relleno. Los rellenos de canales se identifican con el yeso vermiforme descrito en el campo. Los nódulos son típicos o agregados, y en algunos casos están formados de cristales muy finos comparados con los de la masa basal. Es probable que muchos de los nódulos descritos correspondan a secciones transversales de rellenos.

En el material no yesoso del horizonte Cy se han descrito también intercalaciones y bandas horizontales de yeso lenticular.

b) Yeso microcristalino

Este tipo de acumulación se ha descrito como constituyente de la masa basal en una banda del material yesoso del horizonte Cy, pero en el resto de los casos forma parte de rasgos edáficos de tipo cristalino, como nódulos o rellenos.

c) Fábrica en islas

A pesar de que se denomina así a un tipo de organización, no siendo una forma de acumulación "per se", se discute bajo este apartado debido a que está genéticamente relacionado con los procesos de enriquecimiento de yeso en los horizontes.

En ninguna de las secciones se ha identificado la fábrica en islas cubriendo toda la sección, sino que se ha utilizado el término aplicado a rasgos edáficos donde esta organización estaba mejor representada. Ha sido difícil distinguir "yeso lenticular mayoritario" en la masa basal, del "yeso lenticular en enrejado incluyendo islotes de masa basal" como rasgos edáficos de la manera como están definidos por Herrero (1987), debido a que el yeso lenticular está siempre presente en grandes cantidades en la masa basal de estas secciones. Los fragmentos que podrían considerarse como islotes son más evidentes por el mayor contenido en micromasa más que por la distribución del yeso lenticular. Además, sus límites son muy difusos debido a las elevadas relaciones g/f de los materiales, porque resulta difícil percibir los cambios de densidad de la micromasa. En todos estos casos se ha decidido no utilizar los términos "islas" o "fábrica en islas".

El criterio seguido en las descripciones ha sido el considerar siempre el yeso lenticular como componentes gruesos de la masa basal, y reflejar los cambios de densidad de la micromasa como distribuciones g/f variables.

A pesar de estas consideraciones, hay algunas zonas en las láminas delgadas donde la fábrica en islas se ha descrito como rasgo edáfico. En los casos más evidentes los islotes son fragmentos angulares de micromasa calcítica que pueden mostrar una fábrica interna laminada (incluso con intercalaciones laminadas de yeso lenticular) con orientación independiente de la superficie del suelo.

d) Formas de la calcita

La calcita está omnipresente en las láminas formando parte de la micromasa en distintas proporciones, excepto en el lentejón de yeso más profundo del horizonte Cy, donde está ausente como tal.

Como rasgo edáfico se presenta en nódulos o revestimientos de calcita micrítica, o bien pseudomorfoseando cristales lenticulares de yeso en forma micrítica o esparítica, incluidas o no en nódulos de calcita.

4.4.4. Estudio micromorfométrico.

Se ha realizado el conteo de unidades micromorfológicas mediante un contador de puntos automático (Swift & Son) siguiendo las directrices de Stoops (1988) a intervalos de 0,1 mm. Se ha aplicado a secciones horizontales de tamaño petrográfico de los horizontes yesosos, donde no menos de 1000 puntos fueron contados en cada sección.

Las unidades micromorfológicas determinadas fueron las mismas en todas las secciones para poder comparar los resultados del conteo. Pueden clasificarse en dos grandes grupos:

Unidades de la fase sólida:	Cristales gruesos de yeso Otros componentes minerales gruesos Micromasa Componentes orgánicos
Unidades de la porosidad:	Poros de empaquetamiento simple entre yeso lenticular Canales y cámaras (bioporos) Cavidades Poros planares Otros poros

El resultado del conteo de las unidades de la fase sólida y de la porosidad total se muestra en el cuadro nº 8. Los datos referentes a los distintos tipos de poros se presentan en el cuadro nº 9 y en la figura 7.

Cuadro nº 8.- Resultados del conteo de las unidades micromorfométricas en las láminas delgadas (unidades de la fase sólida y porosidad total).

Horizonte	Poros % (1)	Fase sólida (2)				Yeso % (3)
		Yeso grueso	Micro-masa	OCG (4)	Compon. orgánicos	
Ay superficie	24.2	51.7	47.3	1.0	-	59.6
Ay	16.7	44.7	52.9	1.7	0.7	59.6
Bwy1	18.2	26.9	68.3	4.2	0.6	64.4
Bwy2	27.8	38.8	56.8	2.2	2.2	77.7
Y	47.3	71.2	27.7	1.1	-	87.9

(1)Expresado en porcentaje de volumen referido a la sección total.

(2)Unidades de conteo expresadas en porcentajes de volumen de la fase sólida.

(3)Porcentaje en peso del yeso obtenido por ATG.

(4)Otros componentes gruesos.

Cuadro nº 9.- Resultados del conteo de poros en las láminas delgadas, expresados en porcentajes volumétricos referidos a la porosidad total. Los valores entre paréntesis corresponden a porcentajes respecto a la sección total de la lámina.

Horizonte	Poros de empaquetamiento	Canales y cámaras	Cavidades	Poros planares	Otros poros
Ay sup.	36.4 (8.8)	40.5 (9.8)	15.0 (3.6)	-	8.1 (2.0)
Ay	49.1 (8.2)	23.4 (3.9)	20.5 (3.4)	0.6 (0.1)	6.4 (1.1)
Bwy1	22.5 (4.1)	43.4 (7.9)	31.9 (5.8)	-	2.2 (0.4)
Bwy2	14.0 (3.9)	72.3 (20.1)	9.7 (2.7)	0.4 (0.1)	3.6 (1.0)
Y	38.9 (18.4)	55.8 (26.4)	5.1 (2.4)	-	0.2 (0.1)

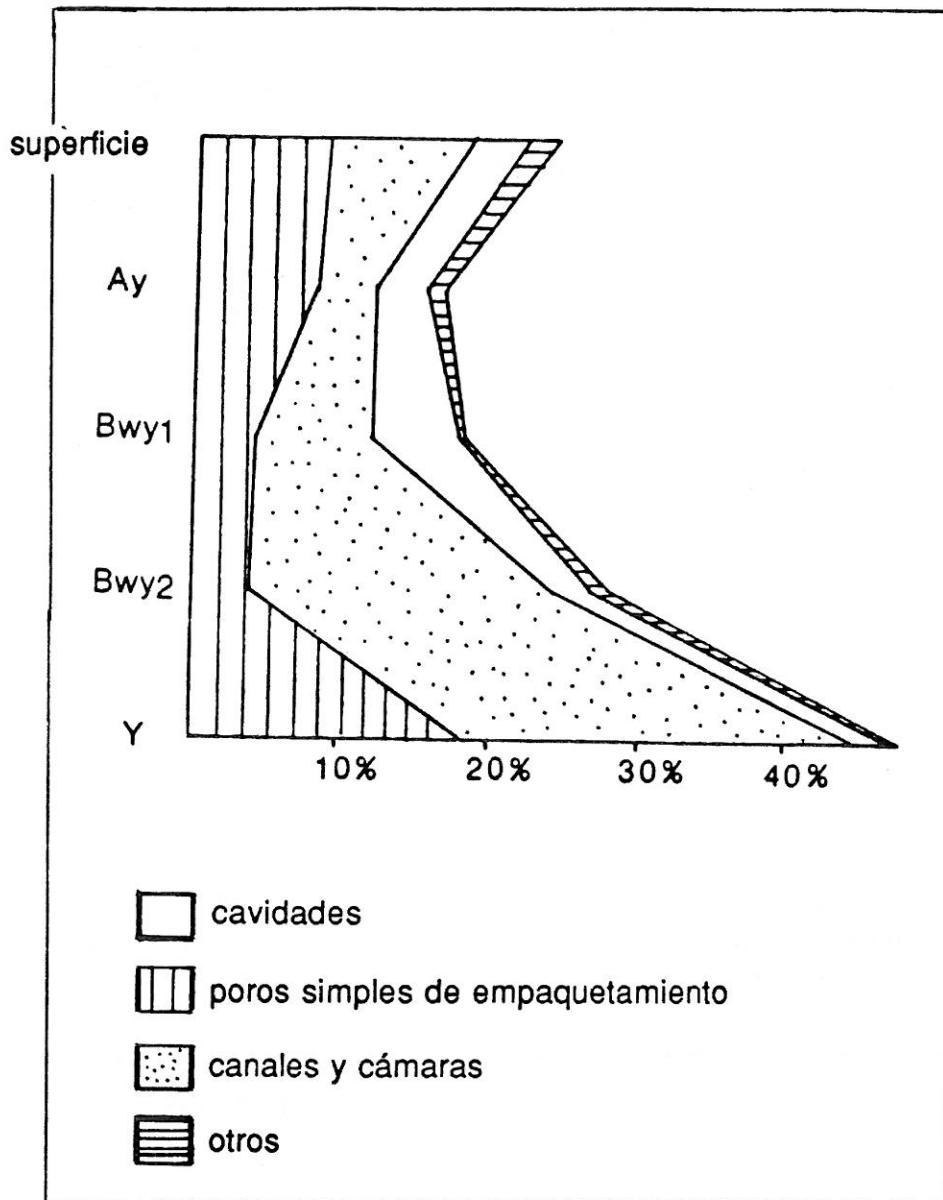


Fig.7.- Distribución de los volúmenes ocupados por poros de distintos tipos en el perfil.

Previamente a cualquier interpretación de estos datos hay que tener en cuenta algunas consideraciones. Los resultados obtenidos son porcentajes en volumen, y la comparación con datos analíticos, expresados en peso, resulta compleja. Además, la heterogeneidad de los horizontes a nivel microscópico -presencia de grietas, grandes rellenos, secciones de raíces, grandes cavidades debidas a la disolución del yeso- no permite una discusión detallada de los resultados.

El porcentaje de yeso como elemento grueso es siempre menor que el contenido total en yeso en los horizontes, porque a la escala de observación, pequeños cristales de yeso no son contados como tales. El conteo se llevó a cabo con los polarizadores parcialmente o totalmente cruzados, ya que el yeso es transparente con nicols paralelos. Esta es la razón por la cual incluso grandes cristales de yeso y de otros componentes cristalinos pueden haber sido omitidos cuando estaban en extinción.

Respecto a los valores de porosidad total, se observa un incremento en profundidad, excepto el valor en superficie. El incremento es debido a la mayor proporción de bioporos que tienden a aumentar con el contenido en yeso en los horizontes hipergypsicos, y de poros de empaquetamiento entre yeso lenticular en el horizonte Y, ya que las lentejas se encuentran principalmente en la fracción arena. La distinción entre canales y cavidades no es siempre evidente. Pueden aparecer cavidades en rellenos de yeso lenticular en canales, ya que la disolución del yeso se da preferentemente a lo largo de ellos. Esto es debido a que contienen más poros de empaquetamiento, más favorables para el flujo no saturado de agua que la matriz. En estas condiciones es posible que las cavidades que aparecen en los canales se hayan contado como canales.

4.5. Discusión general.

4.5.1. Relación entre características físicas y micromorfológicas.

Los resultados del conteo de poros en el estudio micromorfométrico (fig. 7) pueden relacionarse con las características físicas de los horizontes, concretamente con las curvas características de humedad que son las más relacionadas con la distribución del tamaño de poros (fig. 3, cuadro 4).

El contenido de agua a potenciales hídricos elevados depende de los poros de mayor diámetro: canales, poros planares y parcialmente cavidades en las láminas estudiadas. En los tres horizontes superiores el contenido de agua a estos potenciales (hasta -6,86 kPa) disminuye en profundidad. Este agua está contenida en poros con un diámetro equivalente mayor de 43 μm , los cuales no están bien representados en las láminas delgadas de tamaño petrográfico en las que se ha realizado el conteo porque corresponden en parte a grietas entre elementos de estructura. Al estar la estructura más desarrollada en los horizontes superiores, este tipo de poros es más frecuente en superficie, y sería el responsable de su mayor contenido de agua a potenciales elevados.

A potenciales hídricos de -9,8 a -19,6 kPa (correspondientes a poros con diámetros equivalentes de 15 a 30 μm), el contenido de agua es aproximadamente igual en los tres horizontes. A partir de este punto el horizonte Bwy_2 retiene menos agua a menores potenciales comparado con los otros dos. Estos resultados pueden relacionarse con el contenido en yeso de los horizontes. En efecto, la presencia de yeso lenticular en la masa basal no afectaría el tipo de poros si una proporción suficiente de micromasa mantuviera la distribución relacionada g/f como porfírica. No obstante, el yeso lenticular aparece siempre separado de la micromasa calcítica, como cristales independientes, y la distribución porfírica tiende a ser enáulica en las zonas donde la relación g/f es mayor. Esta distribución afecta a la retención de agua a bajos potenciales hídricos: el yeso lenticular es de tamaño normalmente grueso, y en los horizontes donde es más abundante, el número de poros pequeños derivados de su empaquetamiento (menores de 10 μm) no es suficiente para retener grandes cantidades de agua a esos bajos potenciales.

De esta manera, las texturas sin destrucción del yeso de los tres horizontes superficiales: franca (Ay), franca-arcillosa (Bwy_1) y franca-arcillo-arenosa (Bwy_2) explicarían la mayor retención de agua de los dos horizontes superiores, menos arenosos, comparados con el tercero, más arenoso.

El horizonte Y se comporta de un modo distinto, ya que el predominio de yeso lenticular de tamaño de arena y limo, la elevada actividad biológica y las cavidades derivadas de la disolución del yeso originan una elevada porosidad de gran diámetro. La retención de agua en estado de saturación es por lo tanto elevada, aunque la ausencia de una microporosidad importante debido al elevado contenido en yeso lenticular (cercano al 90%) es el responsable de los bajos contenidos de agua a potenciales muy negativos, llegando a un mínimo de 3,8% de agua a -1520 kPa.

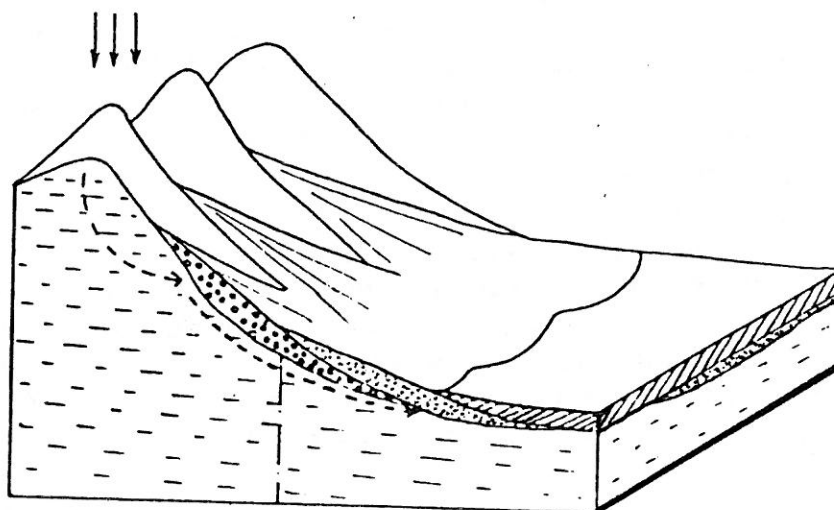
En el horizonte Cy la existencia de una masa basal sin yeso lenticular, con relaciones g/f menores y la distribución relacionada porfírica permiten la presencia de poros de menor diámetro, responsables de los altos contenidos de agua a bajos potenciales.

4.5.2. Procesos de formación del suelo

4.5.2.1. La presencia del yeso en El Pla d'Urgell

La existencia de depósitos de yeso en El Pla d'Urgell parece relacionada con la dinámica de abanicos aluviales en depresiones cerradas bajo climas áridos, i.e. "playas" o sebkhas continentales. Estas depresiones tienen una capa freática poco profunda, y a veces contienen lagos salinos (Colinson, 1978).

Las "playas" típicas pueden estar bordeadas de dunas, o de abanicos aluviales si el origen de la depresión es tectónico. En El Pla d'Urgell la existencia de una zona llana sería debida a la erosión diferencial de los materiales terciarios del substrato comparada con los de la zona adyacente de la Formación Tàrrega (Calvet 1977), pero el resultado sería comparable desde un punto de vista funcional a los márgenes de una "playa" como se ha definido aquí, de un modo similar al modelo que se presenta en la fig. 8.







-  Calizas de las Formaciones Tàrrega (izq.) y Urgell (der.)
-  Gravas de los abanicos aluviales
-  Materiales arenosos de los abanicos aluviales
-  Depósitos yesosos

Fig. 8.- Modelo simplificado del depósito de los materiales en los conos de deyección de El Pla d'Urgell.

Las zonas oriental y meridional de El Pla d'Urgell están ocupadas por depósitos detríticos con gravas derivados de la Formación Tàrrega, extremadamente permeables, que permiten que una buena parte de la esorrentía se realice por vía subsuperficial. A menudo, la elevada evapotranspiración en las "playas" provoca la precipitación de sales a partir de la capa freática, en o debajo de la superficie del suelo. Estas sales pueden presentar una zonación en la cuenca en función de su solubilidad, como se ha observado en Kenia y Turquía (Vergouwen, 1981) y en el Valle de la Muerte (Hunt et al., 1966), donde carbonatos, sulfatos y cloruros se encuentran en una disposición concéntrica desde los bordes al centro de la cuenca.

La sequía constante en El Pla d'Urgell durante el Cuaternario y la existencia de yeso en el área fuente (ap. 3.1.) son probablemente las razones de la presencia de yeso en esta zona, transportado por lo tanto en solución por la capa freática del río Ondara en el caso del perfil estudiado.

La presencia de yeso en "playas" y lagos fluviales poco profundos está citada en la literatura (Hunt et al. 1966; Gile et al. 1979). Más concretamente, los depósitos de yeso pueden localizarse rodeando partes distales de abanicos aluviales, como se ha observado en los márgenes de algunas sebkhas de Irán. Se interpreta que estos últimos depósitos se desarrollan cuando el agua capilar intercepta la superficie del suelo (Krinsley, 1970). En este punto, las áreas con componente granular más elevada -más permeables- tienden a favorecer el desarrollo de depósitos evaporíticos, debido a que la evaporación absoluta es más elevada a través de ellos (Neal, 1972).

Estos depósitos de yeso evaporítico ("gypsum aprons"), en su forma más típica, se extienden paralelamente a la zona frontal en los pies de los abanicos aluviales. Este no es el caso de los suelos yesosos en El Pla d'Urgell, que están distribuidos en zonas más o menos dispersas, aunque relacionadas con las partes distales de los abanicos del Corb y del Ondara. De hecho, una distribución de este tipo es esperable si se consideran los siguientes factores:

- El substrato terciario no es homogéneo desde los puntos de vista topográfico y textural. Su régimen hidrológico al inicio y durante el establecimiento de los abanicos aluviales fue probablemente complejo, con una disposición irregular de las áreas con capa freática poco profunda.
- Los depósitos clásticos aluviales se encuentran en proporciones elevadas en El Pla, comparados con playas típicas donde los abanicos aluviales bordean amplias depresiones llanas. La interacción entre esos depósitos en lo que se refiere a la topografía y hidrología influyó probablemente en la localización irregular de zonas pantanosas.
- El cambio de cauce del río Corb durante el Cuaternario (Gallart et al., 1984) podría haber inducido la formación de nuevas áreas de intercepción con la capa freática, principalmente las formadas por materiales gruesos que se encontraban lejos de la capa freática al principio de la formación de los depósitos aluviales.

Hay otros rasgos observados en el suelo que apoyan estas hipótesis del origen del yeso en esta zona:

- La presencia de horizontes ricos en carbonato cálcico debajo de los materiales yesosos, identificados en depósitos yesíferos en distintas localidades en El Pla d'Urgell (Poch, 1989) podría ser causada por la precipitación de carbonatos previa a la del yeso a partir de la capa freática. Este proceso ha sido ya observado en suelos formados en limo lacustre en Egipto (Labib et al., 1986) y en algunas depresiones de las Altas Planicies en Argelia (Bertrand et al., 1974).

- En el horizonte arcilloso subyacente en el perfil ha sido observado un modelo de fisuración vertical acompañada de una alta porosidad, las cuales estarían relacionados con la desecación temporal (Neal 1972) y/o la actividad biológica en estos materiales en un ambiente pantanoso.

4.5.2.2. Formación de depósitos yesosos.

Se ha demostrado experimentalmente que el yeso disuelto en capas freáticas cristaliza principalmente en poros pre-existentes o en la superficie del suelo (Najib, 1984).

Estudios llevados a cabo en evaporitas del Pleistoceno laminadas (Schreiber et al., 1975) permiten afirmar que la capacidad de un cristal para continuar creciendo tras el depósito de materiales detríticos en su superficie está relacionada con el grosor del mismo. Si es mayor que 100 μm , el crecimiento del cristal subyacente queda inhibido y se produce una nueva nucleación en superficie siempre que se den de nuevo condiciones de saturación. Este proceso origina depósitos laminados de yeso, que han sido observados en condiciones actuales por los mismos autores en California, y en zonas pantanosas de la India y en Australia (Venkatarathnam, 1965; Hardie et al., 1971 respectivamente, citados por Schreiber et al., 1975).

Los materiales con intercalaciones de yeso lenticular en bandas en la base del perfil estudiado, y como fragmentos en el solum tienen probablemente un origen similar al descrito. La cristalización de yeso en lentejas sería debida a la presencia de materia orgánica disuelta en la solución del suelo y a un ambiente alcalino (Cody, 1979; Porta et al., 1988).

La formación de sulfuros biogénicos se ha identificado en lagos y zonas pantanosas de Italia (Schreiber et al., 1975), en lagos salinos australianos y en Texas (Bass-Becking et al., 1956; y Friedman 1966 respectivamente, citados por los primeros autores). Estas observaciones explicarían la presencia de framboides de pirita en el mismo horizonte y confirmarían las hipótesis de formación de los depósitos yesosos estudiados.

4.5.2.3. Formación de horizontes hipergypsicos.

La precipitación de yeso a partir de la capa freática tal como se ha expuesto en los apartados precedentes no explica completamente las características actuales observadas en el suelo. Una de ellas es la presencia de un horizonte Y, con casi un 90% de yeso, en posición subsuperficial.

La presencia de fragmentos con estructura interna laminada en el solum sugiere que no se dan discontinuidades litológicas, como podría interpretarse en campo y a partir de la descripción del perfil, y que el suelo se ha formado por mezcla de las capas. La textura de los horizontes superficiales tras la destrucción del yeso (Cuadro nº 2) es en efecto similar a la del material arcilloso subyacente, y

en el estudio micromorfológico se ha identificado una actividad biológica acentuada. Por lo tanto parece razonable pensar que la fauna edáfica es la responsable de la mezcla de los materiales y de la formación de canales, en los que el yeso reprecipitaría a partir de la capa freática por ascenso capilar, en un proceso similar al descrito por Barzanji et al. (1974).

La existencia del horizonte hipergypsico en posición subsuperficial también tiene probablemente un origen edáfico. De hecho, el contenido en yeso del perfil es menor en superficie, en oposición a zonas desérticas bajo un clima árido donde el yeso puede aparecer como costras superficiales. Un régimen de humedad xérico, con amplias oscilaciones de los valores de evapotranspiración a lo largo del año impediría la presencia de fuertes acumulaciones de yeso en superficie, debido al lavado parcial del perfil. Esta afirmación no se contradice con la presencia de frecuentes rellenos de yeso, observados en las láminas delgadas de la superficie del perfil, ya que el muestreo y la descripción se llevaron a cabo en verano, periodo de máxima evapotranspiración. Durante periodos más lluviosos este yeso sería parcialmente disuelto y reprecipitaría en el sistema de poros (canales) en horizontes inferiores donde se incorporaría a la masa basal por la actividad de la fauna, en un proceso similar al propuesto por Carter et al. (1988) bajo un régimen de humedad ústico. La composición mineralógica de la eflorescencia en superficie, concordante con las características químicas de la capa freática, apoyaría la hipótesis propuesta.

5. CONCLUSIONES

1. Los resultados de la determinación de la granulometría según el método de Hesse (mod. Vieillefon, 1979) en materiales yesosos concuerdan con sus características micromorfológicas y físicas.
2. Es posible establecer relaciones cualitativas y semicuantitativas entre características micromorfológicas y físicas, principalmente referidas a porosidad.
3. El sistema de Bullock et al. (1985) para la descripción de láminas delgadas de suelos, con algunas adaptaciones propuestas por Herrero (1987) para suelos yesosos ha sido adecuado para la descripción de las láminas estudiadas.
4. Se han identificado dos tipos de yeso en el suelo: lenticular y microcristalino, formando parte de la masa basal o de rasgos edáficos.
5. Las propiedades físicas de los horizontes ricos en yeso dependen en un grado elevado del tipo y distribución de los cristales de yeso en ellos, y por lo tanto, están sujetas a su dinámica en el suelo.
6. El yeso en el perfil estudiado resulta de la precipitación a partir de una capa freática saturada en yeso en una zona distal de un abanico aluvial, en un ambiente sedimentario similar al de los márgenes de una "playa" o sebkha continental.
7. El material de partida en la formación del suelo consiste en un depósito de materiales micríticos carbonáticos finos, con intercalaciones de yeso lenticular en bandas de origen evaporítico, formado en un medio saturado de agua.
8. Se propone una hipótesis de formación de horizontes enriquecidos en yeso, donde la actividad biológica sería la responsable de la mezcla de los materiales y de la formación de un sistema de poros en los que el yeso precipitaría a partir de la capa freática. La posición subsuperficial de los mismos sería debida al régimen de humedad xérico.
9. Es necesario llevar a cabo posteriores estudios micromorfológicos, basados en un muestreo estacional, para confirmar las hipótesis propuestas de edafogénesis de este perfil.

6. BIBLIOGRAFIA

- AL-MUKTAR, ALA'A DAUD (1987): "Mapping and Microscopic Investigation of the Gypsiferous Soils in the Dour and Jezira area of Irak". Tesis Doctoral, Rijksuniversiteit Gent, Bélgica, p. 71-86.
- ALPHEN, van J.G. & de los RIOS ROMERO, F. (1971): "Gypsiferous Soils. Notes on their characteristics and management". Bulletin 12, International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen. 44 p.
- BARZANJI A.F. & G. STOOPS (1974): "Fabric and mineralogy of gypsum accumulations in some soils of Irak". Proc. 10th Int. Congress of Soil Science, Moscú. p. 271-277.
- BERTRAND, J.P. & A. JELISEJEFF (1974): "Formation d'évaporites par des processus d'évaporation capillaire". Révue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique (2), vol XVI, fasc 2, p. 161-170.
- BRAITSCH, O. (1971): "Salt Deposits, their origin and composition", Springer Verlag, NY, 297 p.
- BOIXADERA, J. et al. (1989a): "Cartografía de Suelos Semiáridos de Regadío: Area Regable de los Canales de Urgell (Lérida)". XVI Reunión de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo. Lérida.
- BOIXADERA, J. et al. (1989b): "Els Sòls de l'Àrea Regable dels Canals d'Urgell". Draft. DARP, Barcelona.
- BOUMA, J. & M.J. KOOISTRA (1987): "Soil Morphology and Soil Water Movement", in FEDOROFF et al (eds): "Soil Micromorphology", AFES - Plaisir. p. 505-511.
- BULLOCK, P., N. FEDOROFF, A. JONGERIUS, G. STOOPS & T. TURSINA (1985): "Handbook for Soil Thin Section Description", Waine Research Publications., Wolverhampton, Reino Unido.
- BURKE, W., D. GABRIELS & J. BOUMA (1986): "Soil Structure Assessment", A.A. Balkema. Rotterdam, Países Bajos.
- CALVET, J. (1977) : "Contribución al Conocimiento Geomorfológico de la Depresión Central Catalana". Tesis Doctoral, U. C. de Barcelona. p. 140-170.
- CARTER, B.J. & W.P. INSKEEP (1988): "Accumulation of pedogenic gypsum in Western Oklahoma Soils". Soil Sc. Soc. of Am. J. 52, p. 1107-1113.
- C.B.D.S.A. (1983): "SINEDARES, Manual para la Descripción Codificada de Suelos en el Campo". Ministerio de Agric. Pesca y Aliment. de España. 137 p.

- CODY, R.D. (1979): "Lenticular gypsum: Occurrences in nature, and experimental determinations of effects of soluble green plant material on its formation". *J. of Sed. Petrol.*, 49 (3), p. 1015-1028.
- COQUE, R. (1984): "Geomorfología", Alianza Editorial S.A., Madrid. 475 p.
- COLLINSON, J.D. (1978): "Deserts", in READING H.G. (ed): "Sedimentary Environments and Facies", Blackwell Scientific Publications, Oxford, Reino Unido.
- DARP - Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, Secció de Sòls i Fertilizant (1984): "Estudi de la Qualitat de l'Aigua de Reg a la Zona Regable del Canal d'Urgell, any 1983", DARP-GC.
- DRIESSEN, P.M. & R. SCHOORL (1973) : "Mineralogy and Morphology of Salt Efflorescences on Saline Soils in the Great Konya Basin, Turkey", *J. Soil Sc.*, 24 (4), p. 436-442.
- ELPRINCE, A.M., M.A. AL-SHAMMARY & A.M. MAGBOUL (1982): "Kinetics of thermal dehydration of gypsiferous soils". *Soil SC. Soc. of Am. J.*, 46, p. 530-535.
- F.A.O. (1976) : "Prognosis of Salinity and Alkalinity" *FAO Soil Bull.* 31, Roma.
- F.A.O. (1985) : "Water Quality for Agriculture", *FAO Irrigation and Drainage Paper* 29, Roma.
- GALLART, F., J. CALVET & N. CLOTET (1984): "Observaciones geomorfológicas en el Pla d'Urgell. Posible Influencia de deformaciones tectónicas en el origen de esta depresión". *Acta Geolog. Hisp.*, 19 (2), p. 75-80.
- GILE, L.H. & R.B. GROSSMAN (1979): "The Desert Project Soil Monograph", SCS-USDA, 984 p.
- HANSEN, V.E., O.W. ISRAELSEN & G.E. STRINGHAM (1980): "Irrigation Principles and Practices" (4ª ed.), Wiley, NY.
- HALITIM A. & M. ROBERT (1987): "Interacions du gypse avec les autres constituants du sol. Analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études experimentales", in FEDOROFF et al. (eds): "Soil Micromorphology", AFES-Plaisir. p. 179-186.
- HALITIM, A. (1985): "Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes Plaines Steppiques de L'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des soils". Tesis Doctoral, U. de Rennes. p. 109-140.
- HERRERO, J. (1987): "Suelos sobre yesos Paleógenos Barbastro-Balaguer-Torá", Tesis Doctoral, U. de Zaragoza.

- HERRERO, J. & J. PORTA (1987) : "Gypsiferous soils in the North East of Spain", in FEDOROFF et al. (eds): "Soil Micromorphology", AFES-Plaisir. p. 187-192.
- HESSE, P.R. (1976): "Particle size distribution in gypsic soils". Plant and Soil 44, p. 241-247.
- HUNT, C.B., T.W. ROBINSON, W.A. BOWLES & A.L. WASHBURN (1966): "Hydrologic Basin Death Valley, California". US Geol. Survey Prof. Paper 494-B.
- ICOMAD - International Committee on Aridisols (1989): "Aridisols, version 6.0", Draft.
- IGME (1944): "Mapa Geológico de España 1:50.000, Hoja 390 (Cervera)". Madrid.
- KINSMAN, D.J.J. (1976): "Evaporites: Relative humidity control of primary mineral facies". J. of Sedim. Petrol. 46 (2), p. 273-279.
- KRINSLEY, D.B. (1970): "Sabzevar Basin", in "A Geomorphological and Paleo-Climatological Study of the Playas of Iran", Gov. Print. Office, Washington DC, p. 88-104.
- LABIB, F. (1970): "Contribution to the mineralogical characteristics of the most important soil parent materials in the United Arab Republic". Tesis Doctoral, Ain Shams University, El Cairo.
- LABIB, F., F.H. SOLIMAN & M.I. EL-TAWEEL (1986): "Micropedological approach to the gypsum crystallization in the soils of Egypt", Egypt. J. Soil Sc. 26 (1), p. 1-8.
- LABIB, F., M.F. KHANDIL & M.I. EL-TAWEEL (1986): "Factors influencing gypsum accumulation in some soils of Egypt". Egypt. J. Soil Sc. 26 (1), p. 9-20.
- MARDOUD, T. (1981): " Gypsiferous soils in the Balikh Basin. Characteristics and Productivity". Proc. 3rd Int. Soil Class. Workshop. Damasco. p. 308-320.
- MURPHY, C.P. (1986): "Thin Section Preparation of Soils and Sediments". A.B. Academic Publishers, Berkhamsted, Reino Unido. 149 p.
- NEAL, J.T. (ed.) (1975): "Playas and Dried Lakes", Wiley & Sons, 411 p.
- NELSON, R.E., L.C. KLAMETH & W.D. NETTLETON (1978): "Determining soil gypsum content and expressing properties of gypsiferous soils". Soil Sc. Soc. Am. J. 42, p. 659-661.
- PLET-LAJOUX, C., G. MONNIER & G. PEDRO (1971): "Etude experimentale sur la genèse et la mise en place des encroûtements gypseux". C.R. Acad. Sc. Paris, t. 272, Série D, p. 3017-3020.

- POCH, R.M. (1989): "Relation between micromorphological and physical characteristics of some gypsiferous soils of the Urgell Irrigated Area (N-E Spain)". Tesis M. Sc., Rijksuniversiteit Gent, Bélgica.
- PORTA, J. (1986): "Edafogénesis en medio semi-árido". DMCS, UPC - Lérida.
- PORTA, J., M. LOPEZ-ACEVEDO & R. RODRIGUEZ (1986): "Técnicas y Experimentos en Edafología" (vol I), Col.legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya, Barcelona. 281 p.
- PORTA, J. & J. HERRERO (1988): "Micromorfología de suelos con yeso". Anal. de Edaf. y Agrobiol. XLVII, 1-2, p. 179-197.
- POUGET, M. (1968): "Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappe dans le Sud Tunisien". Cahier ORSTOM, se Pédologie, VI, 3-4 : 309-364.
- READING, H.G. (ed.) (1978): "Sedimentary Environments and Facies", Blackwell Scient. Publ., Oxford, Reino Unido, 557 p.
- SCHREIBER, B.C. & D.J.J.KINSMAN (1975): "New observations on the Pleistocene Evaporites of Montalegro, Sicily, and a modern analog". J. Sed. Petrolog. 25 (2), p. 469-479.
- S.S.S. -Soil Survey Staff (1989): "Keys to Soil Taxonomy", Soil Management Support Services (en prensa).
- S.S.S. -Soil Survey Staff (1987): "Keys to Soil Taxonomy", Soil Management Support Services, Technical Monograph n. 6, Ithaca, EEUU.
- S.S.S. -Soil Survey Staff (1977): "Soil Taxonomy, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys". Agriculture Handbook nº 436, SCS-USDA. 754 p.
- STOOPS, G. (1988): "Micropedology". Lecture notes, ITC-RUG, Gante, Bélgica.
- STOOPS, G. (1987a): "Soil Mineralogy". Lecture notes, ITC-RUG, Gante, Bélgica.
- STOOPS, G. (1987b): "Mineralogy of Desertic Areas", in De BOODT & HARTMANN (eds.) : "Eremologie", RUG, Gante, Bélgica. p. 105-113.
- STOOPS, G. & M. ILAIWI (1981): "Gypsum in Arid Soils. Morphology and Genesis", in Proc. 3rd Int. Soil Class. Workshop. Damasco. p. 175-185.
- TOLCHEL'NIKOV, YU. S. (1962): "Calcium - Sulphate and Carbonate Neof ormations in Sandy Desert Soils", Soviet Soil Science 5, p. 643-650.
- VERGOUWEN, L. (1981): "Salt Minerals and Waters from soils in Konya and Kenya". Tesis Doctoral, Landbouwniversiteit, Wageningen, Países Bajos.

- VIEILLEFON, J. (1979): "Contribution à l'étude analytique des sols gypseux", Cahiers ORSTOM, ser. Pédologie, vol. XVII (3), p. 195-223.
- VILLAR, P. (1987): "Estudio de los Suelos Afectados por Salinidad en la Zona Regable de los Canales de Urgell", Trabajo Fin de Carrera, EUET Agrícola de Lleida.
- WATSON, A. (1979): "Gypsum crusts in deserts". J. Arid Environments 2, 1 : 3-20.