

**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 DE SECANO EN ZONA SEMIARIDA

Lleida



A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and strokes.

Septiembre 1989

© 1989. Depósito legal : L-1449/ 89

J. Porta & al.
Suelos de Secano en Zona Semiárida
D.M.C.S. - U.P.C. & S.E.C.S. Lérida

Jaime Porta	UPC
Jaime Boixadera	DARP & UPC
Juan Herrero	UPC
Angela Bosch	UPC
Carmen Herrero	DARP
Marta López-Acevedo	UPC
Jordi Roca	UPC
Rafael Rodríguez	UPC

con la colaboración:

Modelización regímenes de humedad	
Eusebi Jarauta	UPC

Vegetación:	
Juan Pedrol	UPC

Mineralogía de arcillas	
M ^a Teresa García	CSIC

Geoestadística	
Juan Carlos Cuchi	UPC

Microscopía electrónica	
Montserrat Marsal	UPC

INDICE

1.	Introducción.	1
1.1.	Aspectos generales.	1
1.2.	Localización de la zona.	3
1.3.	Objetivos.	4
2.	Rasgos del clima, geología y vegetación.	5
2.1.	Clima.	5
2.2.	Geología, geomorfología y suelos.	8
2.3.	Vegetación.	17
2.4.	Cultivos.	19
3.	Régimen de humedad de los suelos.	22
3.1.	Niveles de información disponible.	22
3.2.	Problemas en las definiciones de los regímenes de humedad.	23
3.3.	Estado de la sección control: Régimen de humedad del suelo.	25
3.4.	Modelo Jarauta para la determinación del régimen de humedad en suelos de zona semiárida.	28
3.5.	Aplicación del modelo Jarauta a los suelos del área meridional de Lleida.	31
4.	Horizontes petrocálcicos y su significación.	33
4.1.	Posición en el paisaje.	33
4.2.	Tipo de depósitos, potencia y procedencia de los materiales.	34
4.3.	Unidad de suelos con endopediación petrocálcico.	34
4.4.	Papel de los horizontes petrocálcicos en la evolución del paisaje: Inversión del relieve.	42
4.5.	Procesos en los horizontes petrocálcicos.	43
4.6.	Translocación y acumulación de carbonatos: Discusión.	46
5.	Procesos y suelos en vertientes.	51
5.1.	Procesos geomorfológicos.	51
5.2.	Materiales originarios y suelos en vertientes.	52
6.	Origen y formas del yeso en el suelo.	55
7.	Movilización de sales solubles en el paisaje.	56
7.1.	Procesos de salinización en seco.	56
7.2.	Suelos en posiciones de fondo.	57
7.3.	Variabilidad espacio-temporal de la salinidad en condiciones de seco.	61
8.	Fertilidad de suelos y evaluación de tierras.	76
8.1.	Fertilidad de los suelos.	76
8.2.	Evaluación de tierras.	78

9. Nuevas tendencias en clasificación de Aridisoles.	81
9.1. Problemas en clasificación de Aridisoles.	81
9.2. Tendencias actuales.	82
9.3. Clasificación de los suelos del área meridional de Lleida.	84
10. Metodología utilizada.	85
10.1. Macromorfología de los perfiles.	85
10.2. Micromorfología de los horizontes de acumulación .	85
10.3. Microscopía electrónica.	85
Agradecimientos	87
11. Bibliografía.	88

1. INTRODUCCION.

1.1. Aspectos generales.

El estudio de las relaciones entre la cubierta edáfica y las formas del territorio constituye una etapa muy importante en el conocimiento de los suelos. Una buena comprensión de dichas relaciones permite abordar la clasificación, cartografía y evaluación, así como profundizar en el conocimiento de la génesis sobre bases firmes, llegando a modelos de formación de suelos más generales.

En condiciones semiáridas y áridas, la ausencia de vegetación facilita la observación de los procesos superficiales y el establecimiento de las relaciones entre la cubierta de suelos y el paisaje. Este enfoque, dentro de la línea naturalista en Ciencia del Suelo, ha sido seguido por Friedland (1976), así como por Hole & al (1985), entre otros muchos autores. La integración de los puntos de vista edafológico y geomorfológico se hace necesaria, no sólo por las palabras un tanto sarcásticas de Ollier (1976) cuando afirma que "los edafólogos pueden describir los suelos con todo lujo de detalles ignorando la geomorfología, mientras que los geomorfólogos describen las laderas con sumo detalle e inadecuadamente los suelos", sino porque resulta especialmente enriquecedor (Jungerius, 1985).

Las relaciones de tipo estático entre suelo y geomorfología, como por ejemplo en una catena, presentan serios problemas de autocorrelación (Richards & al, 1985). Por el contrario, las interrelaciones de tipo dinámico suelo-geomorfología tienen mayor consistencia, ya que surgen debido a que los procesos superficiales vienen controlados por las propiedades de los suelos y éstas por las características de aquellos. A partir de los años 70, se ha ido confiriendo cada vez mayor importancia a la dinámica de las laderas, de modo que, las relaciones de tipo estático entre la cubierta de suelo, material subyacente y paisaje, deben ser cuidadosamente establecidas, caso de existir. El esclarecimiento de las relaciones dinámicas permite una mejor comprensión, tanto de la procedencia de los materiales originarios y de la formación de los suelos, como de su comportamiento y posibilidades de uso.

Las velocidades de transporte y de meteorización en laderas han permitido diferenciar aquellas cuyo desarrollo viene limitado por el transporte, de aquellas cuya velocidad de meteorización es el factor condicionante. Los procesos de denudación-transporte pueden tener lugar a diferentes escalas. En unos casos sus efectos son muy evidentes, así la escorrentía superficial con los consiguientes procesos erosivos, o el transporte por movimientos de masa, en los que el material meteorizado se desplaza por acción de la gravedad y sin circulación de agua. En otros casos puede no haber evidencia de erosión, ni de movimientos de masa, por ello, la dinámica de estas laderas resultará difícil de constatar e incluso puede llegar a pasar desapercibida. Los procesos de creep (reptación) son los que permitirán explicar la denudación, superposición y mezcla de materiales. Ello invalida también en este caso, la utilización de modelos que presupongan una posición estática de los materiales.

Los movimientos de solutos están íntimamente relacionados con la posición geomorfológica y con las condiciones climáticas. Son frecuentes los edaforrasgos asociados a la dinámica de carbonatos que prácticamente se han encontrado en todos sus grados de desarrollo en la zona. La mayor solubilidad de los sulfatos hace que puedan aparecer horizontes con yeso edafogénico en posiciones de fondo. Por otro lado, hay que tener en cuenta la dinámica de las sales más solubles que el yeso que, ligada a la posición en el paisaje, puede condicionar las transformaciones en regadío.

La zona estudiada permite establecer claramente las unidades geomorfológicas, así como las unidades de suelos a nivel de Subgrupo de Soil Taxonomy, cuyas relaciones conducen a una coincidencia en los límites de unas y otras, al ser el resultado de un origen y una evolución comunes en un medio semiárido. En tales circunstancias es posible definir unidades morfoedáficas en el sentido introducido por Gaucher (1972).

El estudio de los suelos con acumulaciones calizas se enriquece notablemente al basarlo en las relaciones dinámicas suelo-paisaje, empleando diversas escalas de paisaje y de tiempo. Dada la extensión ocupada por los suelos con horizontes petrocálcicos en el área meridional de Lleida, éste será uno de los temas que se presentan a discusión. No se pretende un tratamiento exhaustivo del tema de las acumulaciones calizas, limitándose a plantear algunos aspectos de especial relevancia. La Reunión celebrada en Estrasburgo (Vogt & al. 1980), así como la excursión científica del International Working Meeting on Soil Micromorphology a las Cruces (New Mexico, USA) en 1988, indican que los conocimientos alcanzados sobre costras calizas son aún insuficientes para la adecuada comprensión de su génesis en todos los casos, a pesar de que desde los años 60 se han multiplicado los trabajos dedicados a este tema (Boulaine, 1958; Gile, 1966; Ruellan 1970; Goudie, 1973, 1983, 1985; Zuidam, 1976; Kappla, 1979; Blumel, 1982; Julia & al. 1981; Courty & al. 1987; Gomez-Miguel, 1988, entre otros).

España ocupa un lugar preferente para el estudio de las acumulaciones calizas, por la extensión que representan los suelos con horizontes cálcicos y petrocálcicos, diferentes grados de cementación, variedad de formas y estadios de evolución identificables. Por ello resulta de interés intensificar las investigaciones tendentes a mejorar el uso y manejo de estos suelos.

En un área semiárida, el régimen de humedad es un aspecto importante para el uso de los suelos, de ahí que tenga trascendencia taxonómica ya a nivel de Orden en Soil Taxonomy (S.S.S. 1975, 1987). La aplicación del método de Newhall conduce en esta zona a un régimen de humedad ústico, por lo que se ha desechado tal procedimiento de cálculo, al dar resultados contradictorios con las observaciones de campo.

La clasificación de los suelos con régimen de humedad arídico está siendo objeto de revisión (ICA, 1989), por lo que deberá ser tenido en cuenta en las discusiones.

1.2. Localización de la zona.

Dentro del Valle del Ebro, el área meridional de Lleida constituye una transición entre la zona semiárida mediterránea y la árida que se extiende al Oeste, en tierras aragonesas (fig. 1). La zona estudiada ocupa unas 90.000 ha, que se pueden delimitar a grandes rasgos por los paralelos $41^{\circ} 17'$ a $41^{\circ} 37'$ de latitud Norte y los meridianos $4^{\circ} 01'$ a $4^{\circ} 45'$ E de Madrid.

La topografía del área va de los 150 m en las inmediaciones del río Segre a los 900 m en su parte más meridional, donde se halla la Sierra de la Llena.

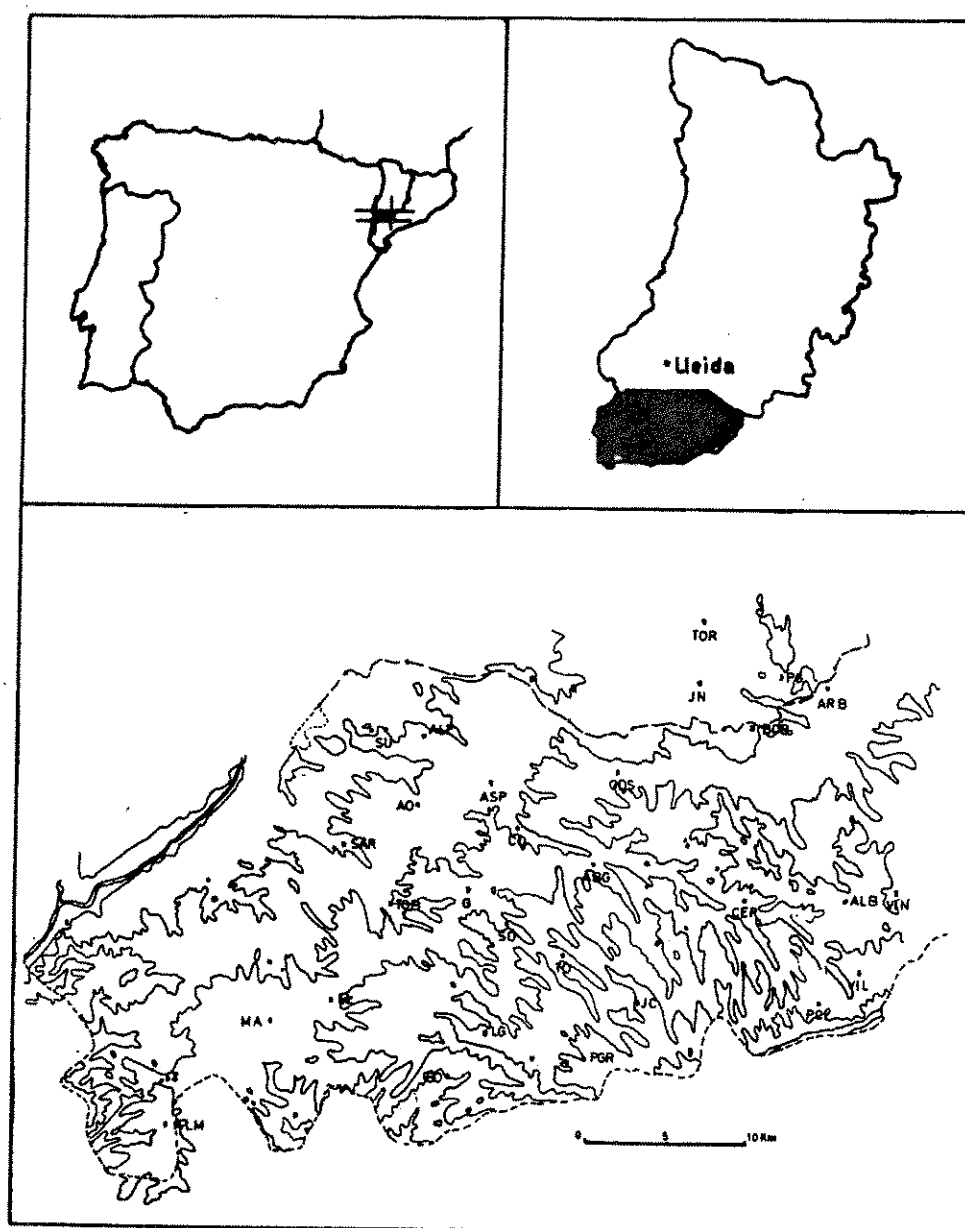


Fig 1.- Localización de la zona semiárida estudiada.

1.3. Objetivos.

El estudio de los suelos de secano de zona semiárida permite abordar una serie de temas que, por el nivel de información disponible, puede resultar de interés.

Los aspectos tomados en consideración son:

- los suelos y su relación con el paisaje.
- el régimen de humedad de los suelos.
- los horizontes petrocálcicos y su significación.
- el origen del yeso y su morfología en el suelo.
- los procesos de salinización.
- el uso y evaluación de los suelos.
- las nuevas tendencias en Soil Taxonomy en la clasificación de suelos de zonas áridas.

2. RASGOS DEL CLIMA, GEOLOGIA Y VEGETACION.

2.1. Clima.

a. Elementos y clasificación del clima.

El intervalo de variación de los valores de la pluviometría anual media en el área meridional de Lérida va desde los 390 a los 560 mm. Los valores próximos a los 400 mm corresponden al área más occidental, mientras que las precipitaciones más importantes se producen en la Sierra de la Llena (SE). Dentro de la Comarca, la zona semiárida queda mejor representada por las isoyetas de 400-450 mm que en torno a las de 500-550 mm.

La distribución de las precipitaciones a lo largo del año presenta un máximo en primavera y otro en otoño. En invierno se produce el 18% de la precipitación anual, en primavera el 34%, en verano el 21% y en otoño el 27%. La distribución de la pluviometría a lo largo del año resulta, pues, aparentemente bastante regular, con mayor aporte de agua en verano que en invierno.

Estos datos, aunque reales a nivel global, deben ser manejados con prudencia para no caer en extrapolaciones erróneas. El 21% de la precipitación anual cae en verano, sin embargo estos aportes son insuficientes para asegurar el normal crecimiento de la vegetación en esta estación del año. La lluvia en verano es aportada de forma muy irregular, son lluvias de tipo tormentoso de gran intensidad. Los 18,1 mm de julio, o los 24,3 mm de agosto, son el resultado de tres días de lluvia, en término medio.

Los resultados del estudio de los períodos de retorno según la distribución de Gumbel (Pomar & al.1981) muestran que, con un período de retorno de dos años, la precipitación máxima en 24 horas en Agosto puede alcanzar los 15 mm y en Julio los 12 mm. Si el período de retorno es de 5 años, la precipitación máxima en 24 horas supera el valor mensual medio. La variación interanual presenta grandes oscilaciones, para Les Borges Blanques, con una precipitación anual media de 440 mm, la desviación típica es de 108,4 mm. El valor anual máximo ha sido de 620 mm, mientras que el menor ha sido de 260 mm.

El estudio del régimen termométrico muestra que los meses más cálidos son julio y agosto con una temperatura media de 24°C. Los meses más fríos son enero, seguido de diciembre y febrero (Fig. 2).

En la Fig. 3 se muestra el diagrama ETP - P correspondiente al observatorio de Les Borges Blanques. Los valores de la ETP según diferentes métodos se indican en el Cuadro nº 1.

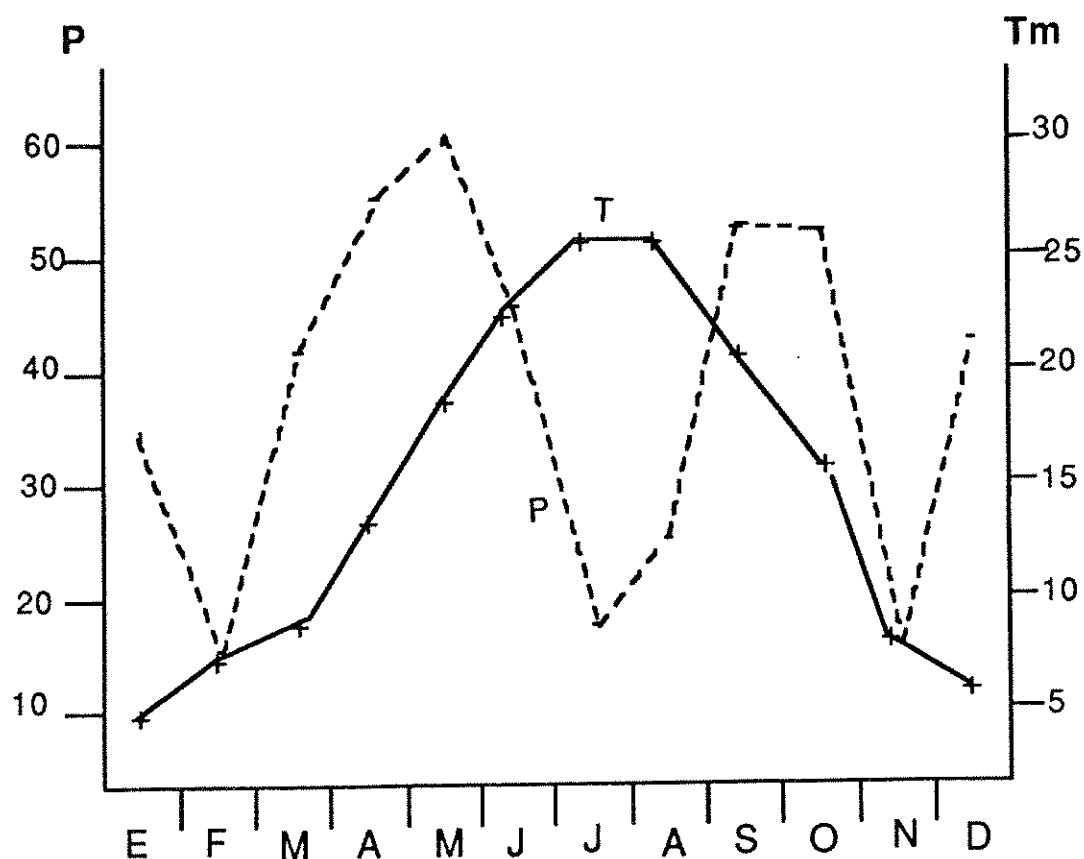


Fig.2.- Diagrama ombrotérmico

Cuadro nº 1.-ETP calculada según diferentes métodos (Borges Blanques, 1968-80)

AUTOR	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiemb	Octubre	Nov.	Dic	A
PENMAN	21,5	51,0	93,4	137,4	179,1	213,0	247,5	215,2	137,1	77,0	32,0	17,6	1.422
THORNTHWAITE	7,5	15,9	26,2	49,1	87,6	124,4	160,4	146,1	99,6	58,9	20,4	9,7	805
PAPADAKIS	29,1	48,7	59,5	77,4	106,2	142,4	203,9	179,5	126,7	82,5	47,2	32,0	1.135
TURC	18,8	41,1	63,2	96,2	128,2	154,5	172,4	149,3	110,1	70,9	34,9	18,9	1.058

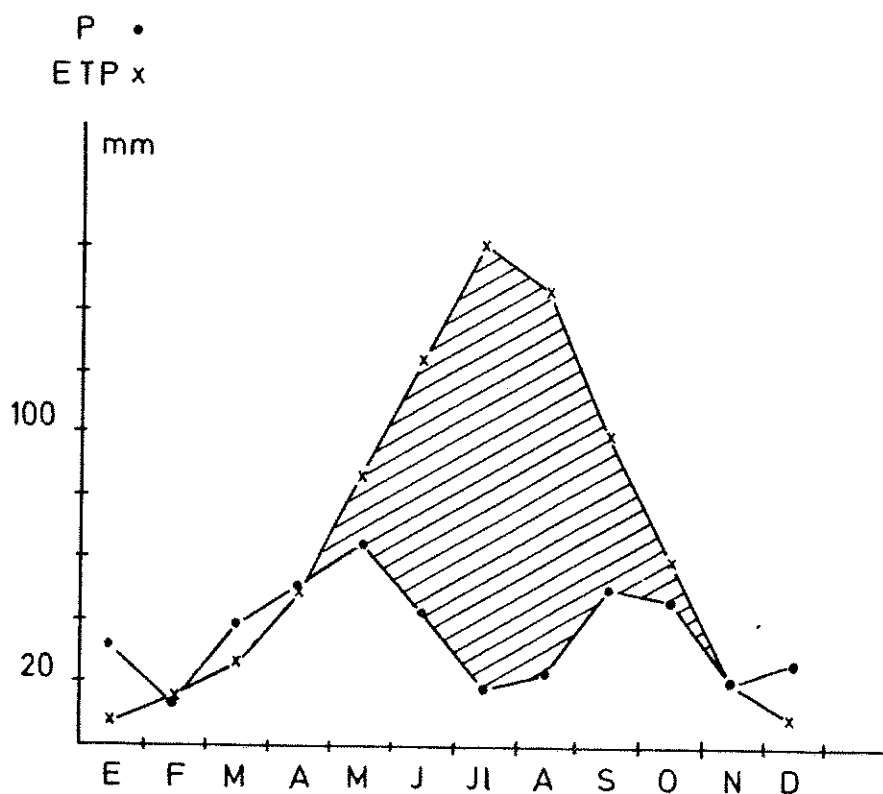


Fig. 3.- Diagrama evapotranspiración potencial (Thorntwaite) y precipitación (Les Borges Blanques, 1968-80).

El índice de Emberger tiene un valor de 37,5 lo que corresponde al piso mediterráneo semiárido. El clima es semiárido DB₂ db'₃, mesotérmico con pequeño o ningún exceso de agua y una concentración en verano de la eficacia térmica del 53%, de acuerdo con la clasificación de Thorntwaite. Según la clasificación agroclimática de Papadakis, el invierno es de tipo avena fresco (av), el régimen térmico es tipo templado cálido (TE) y el régimen de humedad mediterráneo seco (Me), resultando un régimen climático Mediterráneo templado, para el observatorio de Borges Blanques.

De acuerdo con los criterios de Soil Taxonomy el régimen de temperatura del suelo es térmico; el régimen de humedad es objeto de estudio en el Apartado 3.

b. Condiciones climáticas actuales y meteorización.

El clima es uno de los principales factores condicionantes de la formación de los suelos de la zona, de su tipología y posibilidades de uso. La meteorización de rocas y minerales es escasa, por la poca agresividad del clima, como lo refleja el índice de Bryssine, cuyo valor $E = P \times T = 6680$ es considerablemente bajo.

Los suelos son poco profundos, ricos en carbonatos y de pH básicos. La poca profundidad natural y la importancia de los procesos erosivos ha obligado a construir infinidad de bancales en otros momentos históricos. Los suelos más profundos sin horizontes cementados se hallan en los fondos de valle, resultando de la acumulación de los materiales allí depositados por la esorrentía superficial.

El régimen de humedad de los suelos es de tipo no percolante aplicando los criterios de Gerasimov & al. (1965). Puede haber translocaciones de la parte superior del suelo, produciéndose acumulaciones dentro del propio perfil. Esto afecta tanto a carbonatos como al yeso. El índice de lavado propuesto por Arkley (1963), que expresa el exceso medio estacional, da un valor de $I = \Sigma(P - ETP) = 41,1$. Un valor bajo del índice, como en este caso, traduce una falta de lavado y la riqueza en bases de estos suelos.

En algunos fondos puede llegar a haber régimen de humedad con saturación de agua durante cortos períodos, así como acumulación de sales, ligada a un régimen de humedad de tipo ascensional y a la presencia de una capa freática próxima a la superficie del suelo durante algunas épocas del año.

2.2. Geología, geomorfología y suelos.

a. Marco geológico: la Depresión del Ebro.

La Depresión del Ebro es una de las grandes unidades morfoestructurales de la Península Ibérica. Su forma es triangular y queda delimitada por los Pirineos al N y por el Sistema Ibérico y el Sistema Mediterráneo al S. La historia geológica de las unidades mencionadas, marcada por la Orogenia Alpina, se divide en tres etapas: preorogénica, orogénica y postorogénica.

La etapa preorogénica comprende los tiempos geológicos anteriores a la Orogenia alpina. En ella se formaron las rocas de edad paleozoica y mesozoica que constituyen el zócalo de la Depresión del Ebro y que afloran en los sistemas circundantes.

Durante la etapa orogénica se formaron las cadenas de plegamiento alpino que actualmente se denominan Pirineos, Sistema Ibérico y Sistema Mediterráneo, al tiempo que la región donde se localiza la Depresión del Ebro subsidía. La erosión sobre los macizos montañosos en pleno levantamiento produjo una gran cantidad de materiales que se depositaron en la zona subsidente de la Depresión del Ebro. El resultado es un gran espesor de rocas sedimentarias, especialmente detríticas, de edades comprendidas entre el Paleoceno en el fondo y en los bordes de la cuenca y el Oligoceno en posiciones más altas y más centrales.

Durante la etapa postorogénica se han producido movimientos tectónicos distensivos que han afectado en gran medida la configuración de las cordilleras que circundan la Depresión. Sin embargo en la Depresión sólo se registra la continuación de la sedimentación en su parte más central, en los alrededores de Zaragoza.

La zona estudiada se encuentra cercana y al S del eje de la Depresión, que discurría aproximadamente por la carretera de Lleida a Tárrega. Los materiales no cuaternarios que afloran en ella son oligocenos en su totalidad. Se trata de materiales detríticos y lacustres, los primeros mayoritariamente de grano fino debido a la lejanía del área madre, situada en el Sistema Mediterráneo. Consisten en margas (calcilutitas) con areniscas. Las areniscas se presentan tanto como cuerpos sedimentarios estratiformes como en forma de canales. Su mayor resistencia a la erosión, respecto a las margas en las que se encuentran intercaladas, les confiere un importante papel en el modelado del paisaje.

En los alrededores de Sunyer también se encuentran algunos estratos calizos, originados en un ambiente lacustre (calizas de playa-lake).

La estratificación es subhorizontal, con un ligero buzamiento hacia el centro de la Depresión.

b. Geomorfología: Contexto regional.

La unidad del paisaje en la que se engloba la zona es de transición entre el Llano de Urgell al N y el área con predominio de relieves tabulares de Les Garrigues al S. El Llano de Urgell en su sector más representativo se caracteriza por la ausencia casi total de relieves y su posición topográfica baja, por lo que es una llanura en uno de los sentidos más estrictos de la palabra.

Por otra parte, Les Garrigues consisten en varias plataformas escalonadas ascendiendo hacia el S para enlazar con los montes del Sistema Mediterráneo; se trata de una consecuencia de la granulometría más grosera en este sentido de las rocas sedimentarias paleógenas y a la estructura geológica esencialmente horizontal (Fig. 4). La zona de Sunyer, considerada a pequeña escala, constituye el enlace entre las superficies formadas por materiales del sustrato terciario del área meridional de Lleida y el Llano de Urgell.

La representación esquemática de las relaciones entre unidades de paisaje y litología en una sección transversal de la Depresión del Ebro, pasando por el Llano de Urgell se indica en la Fig.4. La superficie topográfica desciende escalonadamente a lo largo de las zonas de sedimentación proximal, media y distal de los abanicos aluviales paleógenos, desde el sistema mediterráneo (Serra la Llena, 1023 m) hasta el Llano de Urgell donde se situa el eje de la Depresión (Mollerusa, 247 m).

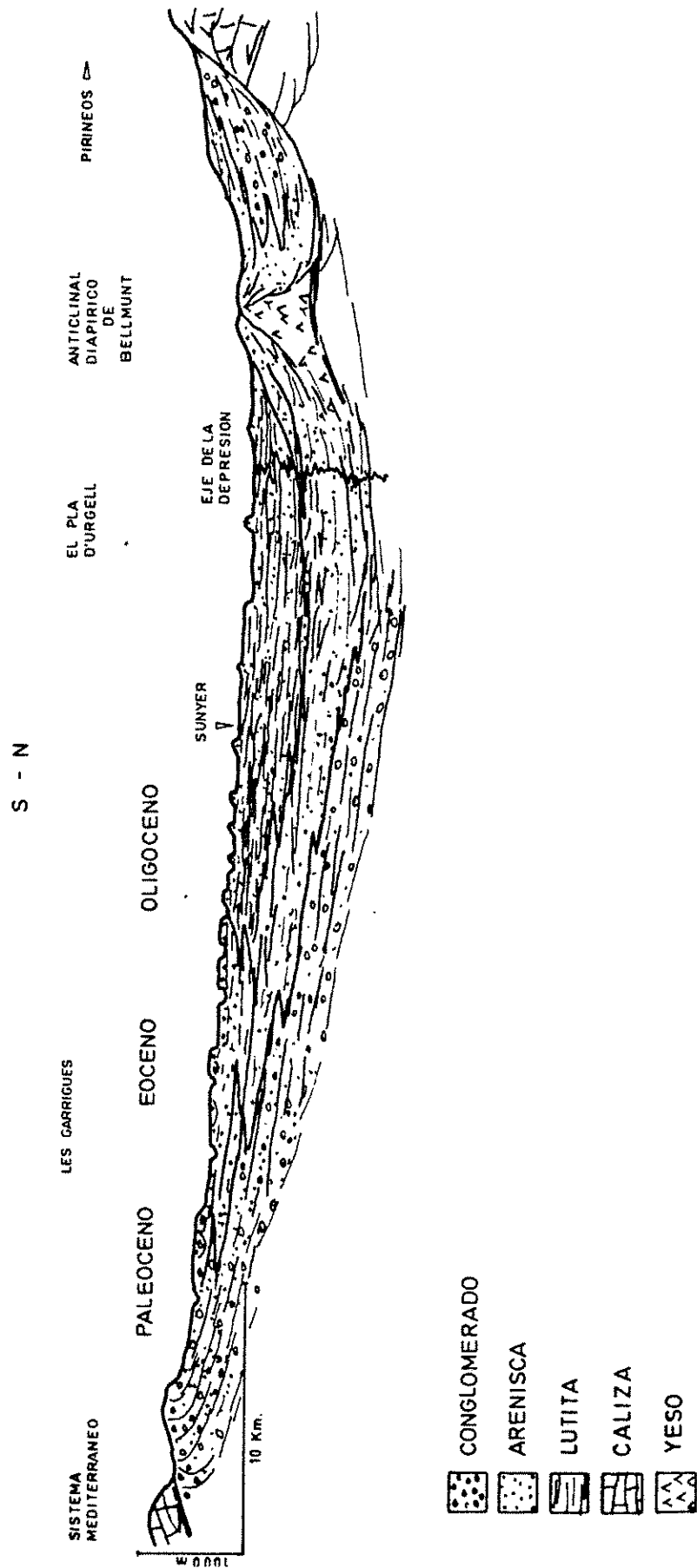


Fig. 4. Esquema de las relaciones entre litología, estructura y morfología de un corte transversal de la Depresión del Ebro por el Llano de Urgell.

En la primera predominan los conglomerados, en la segunda las areniscas y en la tercera las calcilutitas, sin que en cada zona se excluyan los demás tipos litológicos. El número e importancia de los valles de fondo llano aumenta hacia el N, de manera que la superficie llana en posición topográfica alta (plataforma) queda igualada por la superficie de los fondos de valle llanos. Siguiendo esta tendencia hacia el N los restos de plataforma quedan aislados y son cada vez más pequeños, habiendo ya desaparecido los conglomerados oligocenos de la superficie que han sido sustituidas en su papel de material más resistente a la erosión por areniscas. Estas a su vez se presentan en paleocanales cada vez más estrechos hasta el mismo eje de la Depresión, constituyendo el armazón de los relieves estructurales. En toda la parte distal de los abanicos paleógenos, dominada por calcilutitas, el esquema estructural del paisaje se complica por el hecho de que las formaciones superficiales son asimismo más competentes (horizontes petrocálcicos) que las calcilutitas y originan plataformas residuales.

c. Historia geomorfológica.

El enlace entre las plataformas de Les Garrigues y el Llano de Urgell no se efectúa de manera directa sino a través de una serie de formas del relieve, muchas de ellas con formación superficial asociada (formas de sedimentación), pudiendo distinguir los siguientes grupos:

- superficie aluvial antigua.
- terrazas del Segre.
- vertientes.
- formas estructurales.
- red de drenaje subactual y actual.

La descripción de las formas pertenecientes a cada grupo se hará más adelante, así como la de los materiales asociados a las formas de sedimentación. En este apartado se tratará de delinear a grandes rasgos la historia del paisaje. Esta se resume en las siguientes etapas:

- La reactivación de la dinámica terciaria de transporte fluvial desde el Sistema Mediterráneo hacia el eje de la Depresión, esta vez con la novedad de la existencia de la red fluvial del Ebro, que ya habrá capturado el drenaje de la Depresión. Con un nivel de base absoluto más bajo, el del Mar Mediterráneo, la red fluvial procedente del Sistema Mediterráneo se encaja en los materiales terciarios y aporta material hacia la llanura de inundación del Segre, probable nivel de base regional. Se desarrolla en la zona objeto de estudio una formación superficial aluvial a la salida del encajamiento de la red, con las características de un glacis: espesor creciente hacia la parte distal. La presencia de varios niveles de paleosuelos en esta formación indica períodos de estabilidad durante su construcción. Estos depósitos, consistentes esencialmente en gravas calizas, deben pasar lateralmente a los de alguna terraza del Segre, pero dicho paso lateral ha sido eliminado por la erosión subsiguiente.

- Cese de la dinámica constructiva en la región. Se inicia la disección de la superficie aluvial antigua a través de una nueva red de drenaje iniciada desde el Segre: valles del río Set y del Secà. A medida que se ensanchan estos valles se van desarrollando las vertientes.

- Se reanuda la erosión. Las calcilutitas del substrato oligoceno se erosionan más rápidamente y quedan restos de la terraza formada en la fase 3 dominando el resto de la superficie topográfica, excepto los restos de la superficie aluvial antigua que por su parte se siguen erosionando a un ritmo más lento. Afloran cuerpos sedimentarios de arenisca y caliza oligocenas originando rellanos y cornisas en las vertientes, plataformas estructurales y relieves en forma de cordón (paleocanales).

- La red de drenaje que ha excavado la cubeta al NW de Sunyer se desliga del Segre y el Set y no reduce más su nivel.

- Fase de inicio muy reciente y actualmente activa de erosión antrópica a partir del Set en forma de cárcavas remontando su cabecera hacia el S.

d. Las formas del paisaje en los alrededores de Sunyer.

Las formas que definen la unidad del paisaje en los alrededores de Sunyer son las plataformas residuales, la terraza alta del Segre, las laderas, las formas estructurales y la red de drenaje (Fig. 5).

d.1. Plataforma de Sunyer-Torres de Segre.

Se desarrolla a altitudes comprendidas entre 210 m (Ermita de Carrasumada) y 252 m sobre el nivel del mar (Tossal Gros), puntos distantes en 7 Km (pendiente $\approx$ 0.5 %). Se encuentra dividida en 11 retazos aislados constituyendo la mayor parte de la divisoria de aguas entre el río Set y el valle del Secà. El extremo más occidental conservado de esta plataforma se encuentra colgado a 100 m sobre el curso actual del Segre y a 2700 m de distancia y como se ha indicado es la forma más antigua de la zona. Se separa netamente de las vertientes mediante una ruptura de pendiente convexa.

Los materiales asociados a esta forma son mayoritariamente gravas de cantos rodados y matriz arenosa. Los cantos son en su mayoría calizos y de tamaños inferiores a 10 cm. Muchos de ellos son aplanados. Muestran estructuras sedimentarias de corriente indicando un sentido hacia el W. Además se encuentran pasadas de arenas poco cementadas donde las estructuras de corriente son aún más notorias. El espesor de la formación aumenta de E a W, entre 2 m en el Tossal Gros y más de 5 m visibles en Carrasumada. Todo ello lleva a interpretar el depósito como formado por corrientes entrelazadas de pie de montaña procedentes del Sistema Mediterráneo a través de cañones encajados en las rocas terciarias de la Depresión (Fig. 11).Tendrán su nivel de base en una llanura de inundación del Segre situada a unos 80 m por encima de la actual.

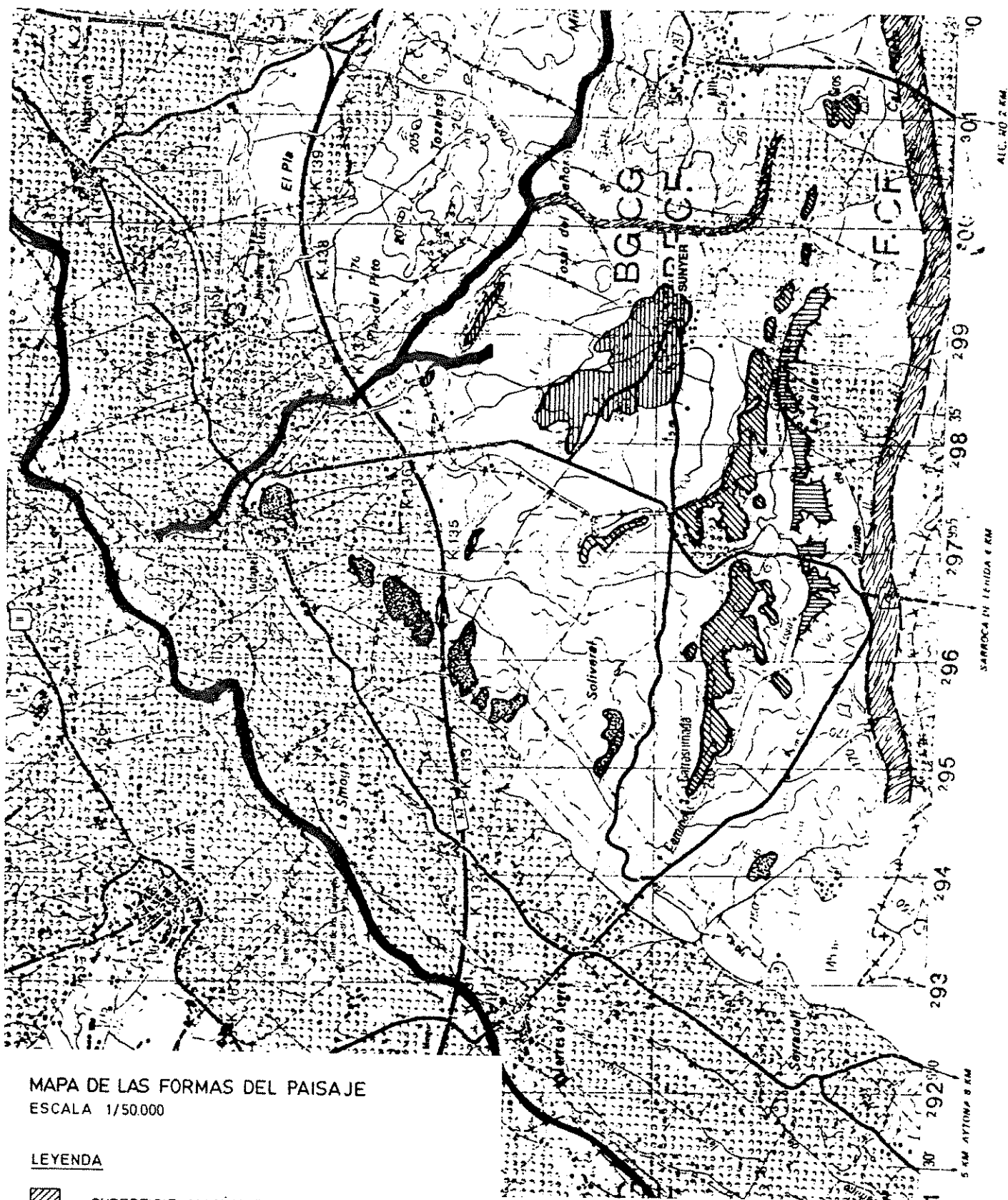


Fig.5. Mapa de las formas del paisaje.

d.2. Terraza alta del Segre.

Se usa aquí el calificativo "alta" con significado puramente local. Esta terraza se encuentra a 70 m sobre el nivel actual del Segre y a 40 m bajo la plataforma de Carrasumada. Los restos que se conservan forman un rosario de cerros aislados, paralelo al curso del Segre, que delimita una cubeta junto con los restos de la superficie de Sunyer-Torres de Segre.

El depósito asociado está constituido por gravas poligénicas de procedencia pirenaica y por clastos de tamaño mucho mayor que las de las gravas monogénicas asociadas a la superficie de Sunyer.

d.3. Vertientes.

El tipo de vertiente predominante en la zona es en glacis, característico de climas semiáridos. En el caso de mayor complicación (Fig. 6) presenta banquetas o rellanos rocosos que desfiguran el trazado parabólico propio de este tipo de vertientes, se trata de vertientes "afacetadas".

La vertiente en glacis típica disminuye progresivamente su pendiente hacia la parte distal a partir de una rotura de pendiente convexa. En el primer tramo puede existir un afloramiento rocoso y la formación superficial asociada gana en espesor a medida que la pendiente disminuye, pasando al final a una formación superficial de fondo de valle en cuna.

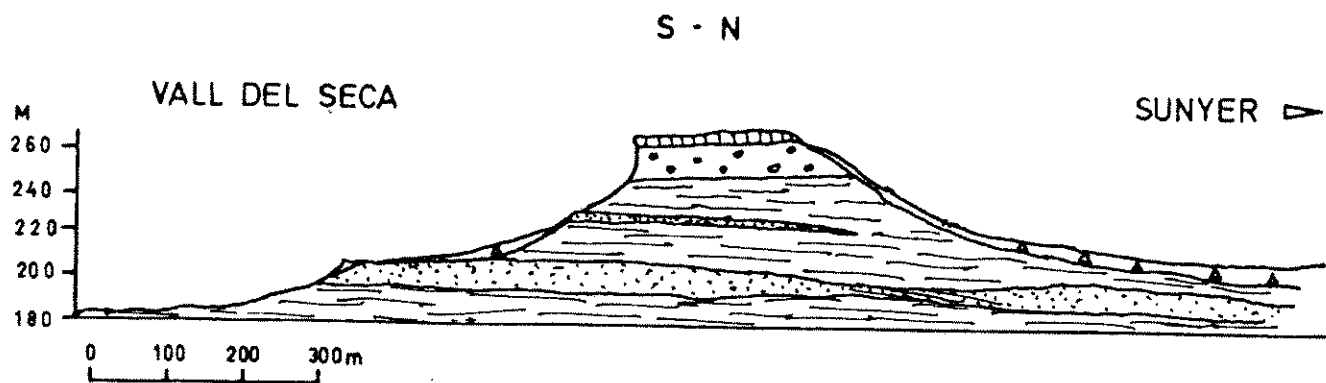
Una gran parte de las vertientes en glacis han sido abancaladas, por lo menos en sus sectores inferiores.

Se presentan procesos de movimiento de masa en los bordes de las plataformas y de erosión hídrica en las vertientes, aunque las incisiones tipo arroyadero son raras.

d.4. Formas estructurales.

Además de los resaltes y rellanos rocosos en las vertientes, se encuentran en la zona otras formas originadas por la presencia de un material más resistente a la erosión que las margas: las plataformas estructurales y los "paleocanales".

Las plataformas estructurales son sustentadas por un estrato relativamente más resistente a la erosión, que en esta zona puede ser de arenisca o de caliza (Fig.7). A menudo los relieves estructurales soportados por arenisca tienen una forma netamente elongada debido a que el cuerpo sedimentario de arenisca es un paleocanal.



-  HORIZONTE PETROCALCICO
-  FORMACION SUPERFICIAL DE LA PLATAFORMA SUNYER-TORRES
-  MARGAS OLIGOCENAS
-  ARENISCAS OLIGOCENAS
-  FORMACION SUPERFICIAL DE VERTIENTE

Fig. 6. Sección de las vertientes opuestas de la plataforma a la altura de Sunyer. La vertiente orientada al valle del Secà se ve complicada por la aparición de resaltes rocosos de arenisca que actúan como nivel de base local a sucesivos segmentos parabólicos de vertiente. Por el lado de Sunyer un único segmento parabólico llega a un nivel de 20 m más alto que el del valle del Secà



-  ARENA CALCAREA
-  CALIZA
-  MARGA
-  ARENISCA

Fig.7. Plataforma estructural caliza.

d.5. Red de drenaje.

Los fondos de valle actuales no son activos y a lo sumo discurre por ellos un pequeño cauce. En general originariamente eran fondos en cuna y por abancalamiento han pasado a fondos de valle llanos. Los fondos del valle del Secà y a menor escala el valle de la Coma son ejemplos de ello. Es notable la acción remontante del sistema de cárcavas del llamado Clot de l'Om que parece haber vuelto a abrir la cubeta al sistema de drenaje del Segre a partir del río Set.

e. Relaciones cubierta de suelos-formas del paisaje.

Las relaciones entre unidades geomorfológicas y unidades de suelos a nivel de Subgrupo (S.S.S. 1975, 1987) son notables en el área meridional de Lleida, resultando asimismo relativamente fácil su observación y establecimiento. La naturaleza del clima y de los materiales originarios en el área explicaría la estrecha relación suelo-paisaje (Cuadro nº 2).

Cuadro nº2.- Relaciones unidades geomorfológicas-unidades de suelos (S.S.S., 1987) en el Área meridional de Lleida.

Formas	Suelos dominantes	Suelos asociados	CRAD (mm)	Salinidad (CEe>2dS/m)	Observaciones
Plataforma estructural residual	Torriorthent lítico xérico	Paleorthid xerolico	≤ 50	No	Calizas y areniscas
	Paleorthid xerolico	Paleorthid típico	≤ 50	No	Petrocálcico, centro forma. Petrocálcico < 18 cm.
		Calciorthid xerolico		No	Borde forma
Laderas rectilíneas	Torriorthent xérico	Xerorthent típico	≤ 50	Salino	
afacetadas	Torriorthent xérico		≤ 50	No	Lutitas, contacto paralítico
	Torriorthent lítico xérico		≤ 50	No	Areniscas, calizas
en glacis	Torriorthent típico	Xerochrept calcixerolico	> 50	Salino	
	Xerorthent típico		> 50	No	
abancalada	Torriorthent xérico		< 50	No	Lutitas; contacto paralítico
Fondos de valle bien drenados	Xerofluvent típico		> 50	No	
	Xerochrept calcixerolico		> 50	No	
drenaje limitado	Xerofluvent acuico	Xerofluvent típico	> 50	Salino	Translocación de yeso.
		Xerochrept gypsico	> 50	Salino	

CRAD: Capacidad de retención de agua disponible (-33 kPa a -1500 kPa).

La aparición de dos Subgrupos en las plataformas residuales, caracterizadas por suelos con endopediación petrocálcica, se explica por uno de los criterios de separación entre los subgrupos típico y xerolico dentro de los Paleorthids, que sitúa el límite del horizonte petrocálcico a 18 cm, y que en el presente caso conduce a una subdivisión un tanto innecesaria.

La salinidad es responsable de la aparición de dos subgrupos en las laderas en glacis (Apartado 5). El empleo de este criterio ($CEs > 2dS/m$ a 25 °C) que diferencia los Xerorthents de los Torriorthents dificulta la cartografía de estos suelos.

La capacidad de retención de agua disponible (CRAD) para las plantas condiciona en este caso el régimen de humedad; situando el límite Xeric/Aridic a 50 mm de CRAD (Apartado 3) aparecen los Torriorthents xéricos, en este caso por régimen árido, y los Torriorthents típicos, por salinidad.

En los fondos existe una gradación de procesos desde los suelos bien drenados hasta los que tienen algún problema acumulándose en el último caso sales y/o yeso.

2.3. Vegetación.

La vegetación climática o zonal en la cuenca del valle medio del Ebro está condicionada por la aridez, que disminuye al alejarse del centro y forma una catena de zonas más o menos concéntricas, con un carácter cada vez menos xerofítico hacia el exterior (O.Bolòs, 1973).

Según el trabajo, ya clásico, de Braun-Blanquet & O.Bolòs (1957) el dominio del *Rhamno-Quercetum cocciferae*, en sus diferentes variantes, es el que ocupa el centro del valle, desde Navarra hasta Cataluña. La aridez y las temperaturas extremas no permiten la existencia de la carrasca (*Quercus rotundifolia*) y el paisaje vegetal, en condiciones naturales, estaría dominado por la coscoja (*Quercus coccifera*) y el espinio negro (*Rhamnus lycioides*), junto con otras especies adaptadas a soportar las bajas temperaturas ocasionadas por las inversiones térmicas en invierno. Dentro del *Rhamno-Quercetum cocciferae* aún pueden distinguirse tres subasociaciones de carácter climático: la típica (subas. *cocciferetosum*), septentrional y tolerante a los fríos y vientos hibernales; la subas. *pistacietosum*, meridional, adaptada a un clima más templado, donde son abundantes el pino blanco (*Pinus halepensis*) y el lentisco (*Pistacia lentiscus*) y, finalmente, la subas. *thuriferetosum*, que ocupa la parte central del valle de clima más continental y donde destacan la sabina (*Juniperus thurifera*) y el espinio negro.

El otro dominio climático de la zona es el carrascal, *Quercetum rotundifoliae* (= *Bupleuro-Quercetum rotundifoliae*), que se distribuye en una franja del territorio que envuelve el dominio anterior, con límites altitudinales que van desde 300-600 m, aunque puede alcanzar los 1.200 al S del Ebro.

En el dominio del *Rhamno-Quercetum cocciferae* el matorral climácico está muy degradado, cuando no destruido totalmente. En estas condiciones, se establecen los matorrales del *Rosmario-Ericion* en suelos calizo-pedregosos o del *Gypsophilion* en suelos yesosos; sobre los suelos profundos y ricos en limo prosperan -cuando no se utilizan para la agricultura- los prados de anuales con tendencia estépica del *Agropyro-Lygeion*. En ambientes particulares aparecen otro tipo de comunidades, así en los fondos de valle con nivel freático alto se instalan bosquecillos de tamarices (*Tamarix canariensis*), de la alianza *Tamaricion africanae* y, cuando la salinidad es elevada, aparecen los matorrales de *Suaedion brevifoliae*. Las llanuras se aprovechan para el cultivo de cereales de secano (*Secalium mediterraneum*), donde en los lugares nitrificados aparecen comunidades del *Salsolo-Peganion* (Conesa, 1986).

La zona de Sunyer-Torres de Segre (Fig.8) está situada en el dominio climácico del *Rhamno-Quercetum cocciferae* subas. *cocciferetosum*. En la parte superior de la plataforma, sobre el horizonte petrocálcico, se halla instalada la comunidad *Sideritetum cavanillesii*, estadio de la degradación del *Rhamno-Quercetum cocciferae*; están presentes, además de *Sideritis scordioides* subsp. *cavanillesii*, que da nombre a la comunidad, *Stipa offneri*, *Thymus vulgaris*, *Genista scorpius*, *Atractylis humilis*, etc. Esta comunidad es una de las más empobrecidas de la alianza *Rosmarino-Ericion* (matorrales calcícolas con romero) y representa, en la zona, las últimas etapas de degradación del matorral.

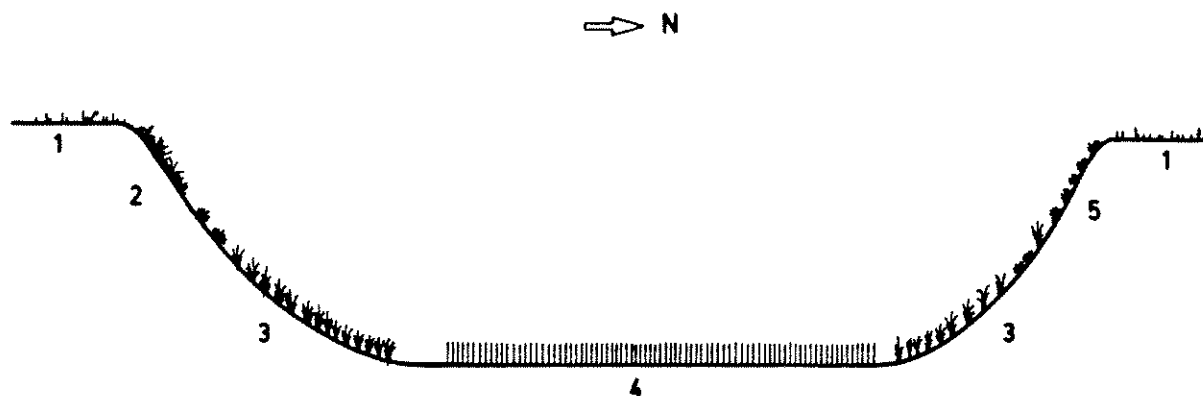


Fig 8.-Secuencia tipo de vegetación en el área meridional de Lérida.

1. *Sideritetum cavanillesii* (matorral degradado con *Sideritis*).
2. *Rosmarino-Linetum suffruticosi* (matorral con lino blanco).
3. *Agropyro-Lygeion* (albardinar con terófitos).
4. Cultivos de cereal con *Roemerio-Hypochaeris penduli*.
5. *Ruto-Brachypodietum retusi* (prados de fenal).

En la parte superior de la ladera, orientada al N, aparece la comunidad *Rosmarino-Linetum suffruticosi*, también del *Rosmarino-Ericion*, con especies como *Bupleurum frutescens*, *Linum suffruticosum*, *Brachypodium retusum*, etc. Es una comunidad menos degradada que *Sideritetum cavanillesii* pero, como ella, adaptada a soportar los fríos hivernales y la sequía estival. La orientación geográfica juega aquí un papel importante; cuando las vertientes están expuestas al S, en lugar de esta comunidad aparece *Ruto-Brachypodietum retusi*, un prado con una gran cantidad de especies vegetales de ciclo vital muy corto y adaptado a las lluvias primaverales.

Ya en la base de la ladera se instala la alianza *Agropyro-Lygeion*, los prados continentales de zonas áridas, donde predomina el albardín o esparto basto (*Lygeum spartum*) y junto al cual crecen abundantes terófitos. En los campos de cereales del fondo de valle, se establece la comunidad *Roemerio-Hypecoetum penduli* condicionada, lógicamente, por el uso de productos herbicidas. Estos fondos de valle, cuando los campos se quedan yermos, se cubren con sisallo (*Salsola vermiculata*) y ontina (*Artemisia herba-alba*), instalándose entonces una comunidad (*Salsolo-Artemisietum herba-albae*) que es, teóricamente (Conesa, 1986), el punto de partida de las series progresivas de regeneración en estas áreas; pero que en la actualidad representa la máxima degradación del paisaje vegetal.

2.4. Cultivos.

Dentro del Area Meridional de Lleida se cultivan 73.452 ha, de las cuales 60.731 son de secano. Los principales cultivos de secano (Cuadro nº3) son olivo (43%), almendro (25%), cereales (23%) y viña (4%).

a. Olivo

La principal variedad de olivo que se cultiva en la zona es la arbequina, que, en general, presenta una baja productividad (10 kg/árbol). La baja productividad se encuentra mayoritariamente asociada a las condiciones climáticas adversas. Aunque la precipitación anual varía entre 400 y 500 mm existen oscilaciones importantes de las precipitaciones en los períodos críticos, es decir entre el inicio de la floración (finales de mayo - principios de junio) y el endurecimiento del hueso (segunda quincena de junio - primera quincena de agosto).

Un factor limitante importante son las temperaturas mínimas de invierno. Como cultivo arbóreo que es el olivo sufre graves pérdidas que pueden llevar a la muerte de la parte aérea cuando la temperatura desciende en invierno por debajo de -7°C, cosa que ocurre con cierta periodicidad. Debido a las condiciones en que se alcanzan estas temperaturas (nieve, escarcha o inversiones térmicas) no todas las posiciones geomorfológicas se ven afectadas por igual. Ello ha llevado a que los olivos hayan desaparecido de los fondos.

En la zona, las necesidades de vernalización son ampliamente satisfechas por lo que no existen problemas en la diferenciación de las yemas florales. El olivo

tolera temperaturas máximas absolutas superiores a 40° C. En la zona, en verano se alcanzan 43° C lo que, unido a la falta de agua en el suelo, provoca una disminución de los rendimientos. El comportamiento del olivo es bueno en suelos calcáreos, donde se ha comprobado que influyen positivamente en la calidad del aceite. El factor limitante para obtener buenos rendimientos es la disponibilidad de agua y en la zona viene determinado por la profundidad efectiva del suelo; así en los Torriorthents xerico líticos, Paleorthids xerolicos y típicos, y en los Torriorthents xericos sufren rápidamente de sequía debido a su baja capacidad de retención de agua.

Los Xerofluvents que ocupan posiciones de fondo presentan mejores condiciones de suministro de agua, pero debido a la posición geomorfológica deprimida que ocupan se ven afectadas por el frío.

b. Almendro.

Los rendimientos de los almendros en secano oscilan entre un mínimo de 2 kg/árbol y un máximo excepcional de 8 kg/árbol. El cultivo se ve afectado por las heladas tardías que destruyen las flores o hielan los frutos recién cuajados, en especial en las posiciones de fondo de valle y partes bajas de vertientes, donde se concentran masas de aire frío. Las horas frío necesarias para el almendro son satisfechas incluso para las variedades más exigentes, aún cuando el otoño sea cálido y el árbol entre en reposo tardíamente.

La acumulación rápida de calor (temperaturas superiores a + 6° C) permite que la interrupción del reposo invernal vaya seguida de una pronta floración. Las temperaturas elevadas de verano no presentan ningún problema por ser el almendro una de las especies frutales que mejor las resiste. Las temperaturas medias de los meses de febrero-mayo permiten la actividad de insectos polinizadores.

El pH básico es favorable para el almendro. Los valores elevados de caliza activa descartan la posibilidad de utilizar el melocotonero franco o el ciruelo como patrones.

La disponibilidad de agua es asimismo limitante para el almendro, de modo similar al olivo. No obstante el almendro ocupa principalmente las partes altas y bajas del paisaje. En las primeras (Torriorthents xerico líticos y Paleorthids) porque las plataformas están menos expuestas a las heladas primaverales y por ser más resistente a la sequía que el olivo, debido a que los períodos críticos se producen antes. En las partes bajas (Xerofluvents) se cultivan por la imposibilidad de que crezca el olivo por las heladas invernales. No obstante, aquí el almendro, aparte de sufrir graves daños por las heladas primaverales, sufre graves problemas de asfixia y podredumbre radicular (Xerofluvents acuicos).

c. Cereales.

La cebada se cultiva con preferencia en la zona de secano con rendimientos máximos de 2000 kg/ha y una gran irregularidad de los mismos. Se siembra en

invierno y no suelen existir daños por el frío invernal.

El asurado es frecuente debido a los golpes de calor. En mayo las temperaturas máximas absolutas superan los 30° C nueve de cada trece años y los 35° C dos de cada trece años; los daños son cuantiosos si el suelo está seco.

Los cereales sufren como todos los cultivos la falta de agua. Los suelos con elevada capacidad de reserva (Xerochrepts y Xerofluvents) son los que dan mejores cosechas, pero algunos de ellos están afectados por salinidad y la cosecha se puede perder, bien porque haya mala nascencia o porque en estadios mas avanzados la planta sufra una segunda sequía fisiológica.

Cuadro nº 3.- Principales cultivos, rendimientos estimados y factores climáticos condicionantes.

Cultivo	% sup.cultivo sup.agr.secano	Observa- ciones	Rendimiento		Principales factores climáticos condicionantes
			Mínimo	Máximo	
Olivo	43	-	7 Kg/árbol	30 Kg/árbol	Escasa pluviometría durante el inicio de la floración y/o endurecimiento del hueso.
Almendro	25	-	2 Kg/árbol	8 Kg/árbol	Heladas tardías en floración y/o con frutos recién cuajados.
Cereales	23	Trigo	800 Kg/ha	2500 Kg/ha	Golpes de calor durante el último tercio del periodo de maduración
		Cebada	500 Kg/ha	2000Kg/ha	
Vid	4	-	600 Kg/ha	8000Kg/ha	Heladas que coinciden con el "lloro"

d.Vid

La integral térmica eficaz en las Garrigas para el cultivo de la viña en el período mayo-octubre, incluye la zona dentro de la Región Térmica IV, según los criterios de Winkler y Amerine. Los altos contenidos de caliza activa y la sequía priman los portainjertos vigorosos, que permiten un incremento de la producción y una disminución del contenido de azúcares.

El clima condiciona el número de cultivos posible, y hace que todos los que se llevan a cabo lo sean en condiciones límite.

3. REGIMEN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS.

3.1. Niveles de Información disponible.

Las posibilidades de uso de los suelos de la zona vienen condicionadas por la disponibilidad de agua. Una adecuada utilización de la información de suelos a todos los niveles exige que ésta pueda ser correctamente interpretada. El uso de Soil Taxonomy, hoy generalizado, exige definir y determinar con precisión el régimen de humedad de los suelos para posibilitar dichas interpretaciones.

La aplicación generalizada del modelo de Newhall (1976) no está exenta de problemas y en el área meridional de Lleida conduce a resultados contradictorios con las observaciones de campo (Cuadro nº 4), desde un punto de vista de posibilidades de uso agrícola de estos suelos.

Esta discordancia con la realidad se debe fundamentalmente a la distribución de las precipitaciones, a defectos en el diseño del mecanismo que simula la infiltración y la evapotranspiración y a que el modelo de Newhall no tiene en cuenta las características de los suelos y su diferente capacidad de retención de humedad (van Wambeke, 1989; Jarauta, 1989).

Al desechar el método de Newhall para el cálculo del régimen de humedad, se hizo necesario iniciar trabajos de investigación para superar el nivel de información sobre este importante condicionante de las posibilidades de uso agrícola del territorio.

Cuadro nº 4.- Regímenes de humedad determinados a partir del modelo de Newhall (1976) y datos de diversos observatorios (Jarauta, 1989).

OBSERVATORIO	SERIE	CRITERIOS SOIL TAXONOMY (frecuencia en %)					REGIMEN DE HUMEDAD
		A	B	C	D	E	
ALBAGES	66-87	27	64	95	90	50	USTIC
BORGES BL	69-87	37	74	100	90	47	USTIC
JUNEDA	66-87	35	60	100	100	35	USTIC
LLARDECANS	68-87	45	60	100	95	40	USTIC
OMELLONS	51-87	49	54	100	95	38	USTIC
VILOSELL	67-87	10	90	95	81	81	XERIC
ALMATRET	84-87	25	75	100	100	50	USTIC
ASPA	85-87	33	33	100	100	67	XERIC
CASTELLDANS	84-87	25	75	100	100	50	USTIC
SARROCA	84-87	50	25	100	100	25	USTIC
SUÑE	84-87	50	50	100	100	25	USTIC
TORREBESES	86-87	0	0	100	100	50	USTIC

3.2. Problemas en las definiciones de los regímenes de humedad.

Los criterios establecidos por Soil Taxonomy (S.S.S. 1975) para definir los regímenes de humedad se resumen en el Cuadro nº 5. El Cuadro nº 6 incluye las ecuaciones lógicas que describen los distintos regímenes de humedad (Gascó & al. 1978).

Cuadro núm 5.- Criterios para definir los regímenes de humedad según Soil Taxonomy (S.S.S. 1975).

Régimen de humedad	Parámetros de la temperatura	Criterios Soil Taxonomy (frecuencias en porcentaje)						
		A	B	C	D	E	F	G
Aridic y Torric		> 50	≤ 50					
Udic(1)	Tm < 22°C y Tv-Ti ≥ 5 °C			≤ 50	< 60			
Udic(2)	Tm ≥ 22 °C y/o Tv-Ti < 5° C			≤ 50				
Ustic(1)	Tm < 22 °C y I Tv - Ti ≥ 5 °C II	≤ 50		> 50	< 60	≥ 60		
Ustic(2)	Tm ≥ 22 °C y/o I Tv-Ti < 5 °C II			> 50			> 50	
Xeric	Tm < 22 °C y I Tv - Ti ≥ 5 °C II	≤ 50			≥ 60	≥ 60		
			≥ 60		≥ 60	≥ 60		

A = Seca > = 1/2 días acumulados con T > 5 °C
 B = Húmeda o parc. húm. > = 90 días consec. con T > 8 °C
 C = Seca o parc. seca < = 90 días acumulados
 D = Seca > = 45 días consec. en los 4 meses sig. solst. verano
 E = Húmeda > = 45 días consec. en 4 meses sig. sols. invierno
 F = Parcialmente húmeda > = 180 días acumulados
 G = Parcialmente húmeda > = 90 días consecutivos
 Tm = Temperatura media anual del suelo a 50 cm .
 Tv = Temperatura media del suelo en verano
 Ti = Temperatura media del suelo en invierno

Cuadro nº 6.- Ecuaciones lógicas que describen los regímenes de humedad (Gasco & al., 1978).

	REG. HUMEDAD	ECUACION LOGICA
	ARIDIC (1)	(A = 1) y (B = 0)
	UDIC (1)	(C = 0) y (D = 0)
$T_m \leq 22^\circ \text{C}$	USTIC (1)-I	(A = 0) y (C = 1) y (D = 0) y (E = 1)
	USTIC (1)-II	(A = 0) y (C = 1) y (E = 0)
$y d > 5^\circ \text{C}$	XERIC-I	(A = 0) y (B = 0) y (D = 1) y (E = 1)
	XERIC-II	(A = 1) y (B = 1) y (D = 1) y (E = 1)
	XERIC-III	(A = 0) y (B = 1) y (D = 1) y (E = 1)
$T_m > 22^\circ \text{C}$	ARIDIC (2)	(A = 1) y (B = 0)
$y/o d \leq 5^\circ \text{C}$	UDIC (2)	(C = 0)
	USTIC (2)-I	(C = 1) y (F = 1)
	USTIC (2)-II	(C = 1) y (F = 0)
	USTIC (2)-III	(C = 1) y (F = 1) y (G = 1)

A = Seca > = 1/2 días acumulados con $T > 5^\circ \text{C}$
 B = Húmeda o parc.húm. > = 90 días consec.con $T > 8^\circ \text{C}$
 C = Seca o parc. seca > = 90 días
 D = Seca > = 45 días consec.en los 4 meses sig.solst.verano
 E = Húmeda = 45 días consec. en 4 meses sig.sols.invierno
 F = Parcialmente húmeda > = 180 días acumulados
 G = Parcialmente húmeda > = 90 días
 T_m = Temperatura media anual del suelo a 50 cm.
 d = Temp. media suelo en verano - temp media suelo invierno.
 1 = Cumple el criterio
 0 = No cumple el criterio.

El estudio de las ecuaciones lógicas muestra que los criterios no siguen normas basadas en la dicotomía, de modo que aparecen algunas lagunas e indefiniciones, como ya fue señalado por Gascó & al.(1978). Existen también coincidencias en la definición de dos subtipos del régimen Udico (1) con otros dos del regimen Arídico (1), así como entre tres subtipos de regímenes Udico(2) y Ustico(2) con Aridico(2). Para evitar estas coincidencias entre subtipos, Jarauta (1989) propone modificar las ecuaciones lógicas tal como indica el Cuadro nº 7.

Cuadro nº 7.- Ecuaciones lógicas que se proponen para describir los regímenes de humedad de los suelos de acuerdo con los criterios definidos por Soil Taxonomy (1975).

REGIMEN DE HUMEDAD		ECUACION LOGICA
Tm ≤ 22 °C	ARIDIC (1)	(A = 1) y (B = 0)
	UDIC (1)	(C = 0) y (D = 0) y no ((A = 1) y (B = 0))
	USTIC (1)-I	(A = 0) y (C = 1) y (D = 0) y (E = 1)
	USTIC (1)-II	(A = 0) y (C = 1) y (E = 0)
yd > 5 °C	XERIC-I	(A = 0) y (B = 0) y (D = 1) y (E = 1)
	XERIC-II	(A = 1) y (B = 1) y (D = 1) y (E = 1)
	XERIC-III	(A = 0) y (B = 1) y (D = 1) y (E = 1)
	ARIDIC (2)	(A = 1) y (B = 0)
Tm > 22° C	UDIC (2)	(C = 0) y no ((A = 1) y (B = 0))
y/o d ≤ 5° C	USTIC (2)-I	(C = 1) y (F = 1) y no ((A = 1) y (B = 0))
	USTIC (2)-II	(C = 1) y (F = 0) y no ((A = 1) y (B = 0))
	USTIC (2)-III	(C = 1) y (F = 1) y (G = 1) y no ((A = 1) y (B = 0))

A = Seca > = 1/2 días acumulados con T > 5°C
 B = Húmeda o parc. húm. > = 90 días consec. con T > 8°C
 C = Seca o parc. seca > = 90 días acumulados
 D = Seca > = 45 días consec. en los 4 meses sig. solst. verano
 E = Húmeda > = 45 días consec. en 4 meses sig. sols. invierno
 F = Parcialmente húmeda > = 180 días acumulados
 G = Parcialmente húmeda > = 90 días consecutivos

3.3. Estado de la sección control: Régimen de humedad del suelo.

La caracterización y seguimiento del estado de la sección control a lo largo de cuatro años ha permitido conocer el régimen de humedad real de las principales unidades de suelos de la zona (Jarauta, 1989). Se ha determinado la sección control en veintidós suelos del área (Cuadro nº 8). Los parámetros climáticos se han determinado a partir de los datos del observatorio de Omellons para la serie 1948-1987.

**Cuadro nº 8- Sección control de humedad de suelos del área meridional de Lérida:
Límites de la sección control.**

Punto de control	Límite	
	Superior	Inferior
ALB-1 Albagés	14	55
ALC-1 Alcanó	20	65
ALM-1 Almatret	8	18 (1)
BOR-1 Borges B.	13	35
BOR-2.Borges B.	10	30
CAS-1 Castellldans	15	40
CAS-2 Castellldans	14	50
CER-1. Cerviá	17	40
ETR-1 Els Torms	12	50
JUN-1 Juncosa	13	25 (2)
LGR-1 Granadella	12	35
LGR-2 Granadella	19	35
LLA-2 Llardecans	17	35
LLA-3 Llardecans	12	55
LLA-4 Llardecans	13	60
MAI-2 Maials	12	55
SAR-1 Sarroca	12	45
SAR-3 Sarroca	9	60
SOL-1 Solerás	14	45
SUN-2 Sunyé	10	20 (3)
TOR-1 Torrebeses	16	35
VIN-1 Vinaixa	15	40
(1) Contacto lítico a 18 cm		
(2) Contacto lítico a 25 cm		
(3) Hor. petrocálcico a 20-25 cm		

Contrastando estos datos con las medidas de perfiles hídricos en campo, se observa que las lluvias de verano, debido a su gran intensidad, repercuten escasamente en el contenido de agua en la sección control. Esta es una de las causas por las que el modelo de Newhall conduce al régimen ústico en lugar del régimen árido o xérico, que son los señalados por la vegetación y los cultivos. La definición del régimen árido en Soil Taxonomy (S.S.S. 1975) establece

claramente que la carencia de agua disponible en el período de crecimiento puede deberse a cualquier causa. En este caso hay una pluviometría considerable, pero la eficacia media de tales precipitaciones es baja, debido en parte a su torrencialidad y en parte a características propias del suelo: estado de su superficie y capacidad de retención de humedad.

La determinación periódica de perfiles hídricos cada 7-14 días y las dimensiones de la sección control han permitido la caracterización experimental de los regímenes de humedad en un suelo de plataforma con horizonte petrocálcico a 20 cm de profundidad media y en un suelo de ladera con cultivo de almendro. A partir de los datos de la sección control de humedad cada 7-14 días se ha determinado por interpolación el estado diario de la sección control. Con ello puede evaluarse el número de días del año en que la sección control está totalmente húmeda (estado M), parcialmente húmeda (estado B) y totalmente seca (estado D). Los porcentajes de cada estado a lo largo del año se indican en el Cuadro nº 9. Los regímenes de humedad determinados experimentalmente (Cuadro nº 10) han resultado ser Xérico I-1 y Arídico (1) y Arídico (1)-2.

Paralelamente se determinó la temperatura del suelo a 50 cm con un geotermómetro cedido por el Centro Zonal del Ebro del INM.

Cuadro nº 9.- Porcentaje de estados de la sección control de humedad medidos en los puntos de control SAR-3 y SUN-2 (Serie 1985-1988).

Punto de Control	Años	Estados Sección Control de Humedad		
		M	B	D
SAR-3	1985	23.02	31.51	45.48
	1986	28.77	40.82	30.41
	1987	27.12	30.68	42.20
	1988	23.56	38.35	38.09
SUN-2	1985	28.49	26.84	44.67
	1986	20.82	34.52	44.66
	1987	43.56	13.70	42.74
	1988	22.74	33.97	43.29
M= húmeda en todas partes. B= húmeda en alguna parte. D= seca en todas partes.				

Cuadro n° 10.- Criterios de Soil Taxonomy (1975) para la determinación del régimen de humedad de los suelos, verificados en la determinación experimental del estado de la sección control de humedad en cada uno de los puntos de control.

PUNTO DE CONTROL	AÑO	CRITERIOS					SUBTIPO RESULTANTE
		A	B	C	D	E	
SAR-3	1985	0	0	1	1	1	Xeric-I-1
	1986	0	0	1	1	1	Xeric-I-1
	1987	0	0	1	1	1	Xeric-I-1
	1988	0	0	1	1	1	Xeric-I-1
SUN-2	1985	1	0	1	1	1	Aridic(1)-1
	1986	1	0	1	1	0	Aridic(1)-2
	1987	0	0	1	1	1	Xeric-I-1
	1988	0	0	1	1	1	Xeric-I-1

A= Seca $\geq 1/2$ días acumulados con $T > 5^{\circ}\text{C}$

B= Húmeda o parc. húm. ≥ 90 días consec. con $T > 8^{\circ}\text{C}$

C= Seca o parc. seca ≥ 90 días acumulados.

D= Seca ≥ 45 días consec. en los 4 meses sig. solst. verano.

E= Húmeda ≥ 45 días consec. en 4 meses sig. sols. invierno.

1= Cumple la condición.

0= No cumple la condición.

3.4. Modelo Jarauta (1989) para la determinación del régimen de humedad en suelos de zona semiárida.

Como resultado de la investigación realizada se ha propuesto un nuevo modelo simulativo del régimen de humedad de los suelos (Jarauta, 1989), cuyas principales características (Cuadro n° 11) son:

- posibilita utilizar datos de precipitación diaria o mensual.
- posibilita tener en cuenta la eficacia de las precipitaciones en el suelo.
- incorpora las características de los suelos de la zona a la que se aplica el modelo, incidiendo en las secuencias de infiltración y evapotranspiración.
- posibilita utilizar perfiles de distintas capacidades de retención de humedad.
- considera el cultivo como elemento activo en la extracción de agua del suelo.
- tiene en cuenta las características climáticas locales.
- permite conocer el régimen de humedad de los suelos año a año, así como de una serie de años.
- permite conocer el estado de la sección control de cada día de los años de la serie estudiada.
- evita las imprecisiones y lagunas observadas en las definiciones de Soil Taxonomy (S.S.S. 1975).

Cuadro nº 11.- Características de diseño del modelo de Newhall (1976) y del modelo Jarauta-89.

	MODELO DE NEWHALL	MODELO JARAUTA-89
Modelización del perfil de suelo	Perfil homogéneo e isótropo, bien drenado, de 200 mm de capacidad de retención de ag. dispon.	Perfil homogéneo, no isótropo, bien drenado de capacidad de retención de ag. dispon. variable adaptada a las características del suelo
Cantidad de agua infiltrada en el suelo	Toda la precipitación mensual. Imposibilidad de utilizar datos de precipitación diaria.	Precipitación mensual corregida en función de la eficacia de las precipitaciones. Posibilidad de utilizar datos de precipitación diaria.
Secuencia de llenado del perfil.	Fija para todos los tipos de suelo.	Adaptable a las características de los suelos. Secuencia de referencia.
Mecanismo de entrada de agua en el perfil.	Fijo para precipitaciones mensuales con tres entradas para cada mes.	Adaptado a datos de precipitación diaria o precipitación mensual con entrada diaria de la precipitación correspondiente.
Cálculo de la evapotranspiración	Fórmula de Thorntwaite (1945)	Adaptación del modelo de Blaney-Criddle según Doorenbos & al. (1977)
Secuencia de extracción de agua	Universal, por diagonales de perfil.	Adaptable a las características del suelo, con secuencia de referencia.
Cálculo del régimen de humedad de los suelos	Criterios de Soil Taxonomy (1975).	Criterios de Soil Taxonomy (1975), y precisando la definición de los subtipos

Para la estimación del régimen de humedad de los suelos según este modelo se tienen en cuenta las ecuaciones lógicas mencionadas en el Cuadro nº 7, como consecuencia de las cuales resultan los subtipos que figuran en el Cuadro nº 12 y que se agrupan en los regímenes de humedad referidos en el Cuadro nº 13.

Cuadro núm 12.- Propuesta de definición de los subtipos de regímenes de humedad de los suelos (régimen de temperatura no-trop).

REGIMENES HUMEDAD	CRITERIOS SOIL TAXONOMY				
	A	B	C	D	E
ARIDIC(1)-1	1	0	1	1	1
ARIDIC(1)-2	1	0	1	1	0
ARIDIC(1)-3	1	0	1	0	1
ARIDIC(1)-4	1	0	1	0	0
ARIDIC(1)-5	1	0	0	1	1
ARIDIC(1)-6	1	0	0	1	0
ARIDIC(1)-7	1	0	0	0	1
ARIDIC(1)-8	1	0	0	0	0
XERIC-I-1	0	0	1	1	1
XERIC-I-2	0	0	0	1	1
XERIC-II-1	1	1	1	1	1
XERIC-II-2	1	1	0	1	1
XERIC-III-1	0	1	1	1	1
XERIC-III-2	0	1	0	1	1
UDIC(1)-1	1	1	0	0	1
UDIC(1)-2	1	1	0	0	0
UDIC(1)-3	0	1	0	0	1
UDIC(1)-4	0	1	0	0	0
UDIC(1)-5	0	0	0	0	1
UDIC(1)-6	0	0	0	0	0
USTIC(1)-I-1	0	1	1	0	1
USTIC(1)-I-2	0	0	1	0	1
USTIC(1)-II-1	0	1	1	1	0
USTIC(1)-II-2	0	1	1	0	0
USTIC(1)-II-3	0	0	1	1	0
USTIC(1)-II-4	0	0	1	0	0
PERXERIC	1	1	1	1	0
FUERA DE CONTROL	1	1	1	0	1
	1	1	1	0	0
	1	1	0	1	0
	0	1	0	1	0
	0	0	0	1	0

Cuadro 13.-Frecuencias que definen los regímenes de humedad de los suelos según el modelo Jarauta-89.

Régimen de humedad	Régimen de temperatura	Criterios Soil Taxonomy (en porcentaje)						
		A	B	C	D	E	F	G
Arídico y Torric		>50	≤50					
Udic(1)	Tm < 22°C y Tv - Tl ≥ 5°C			≤50	<60			
Udic(2)	Tm ≥ 22°C y/o Tv - Tl < 5°C			≤50				
Ustic(1)	Tm < 22°C y I Tv - Tl ≥ 5°C II	≤50		>50	>60	≥60		
		≤50		>50		<60		
Ustic(2)	Tm ≥ 22°C y/o I Tv - Tl < 5°C II			>50			>50	
				>50				>50
Xeric	Tm < 22°C y I Tv - Tl ≥ 5°C II	≤50	<60		≥60	≥60		
		>50	≥60		≥60	≥60		
	III	≤50	≥60		≥60	≥60		
A= Seca > = 1/2 días acumulados con T > 5°C B= Húmeda o parc. húm. > = 90 días consec. con T > 8° C. C= Seca o parc. seca > = 90 días acumulados. D= Seca > = 45 días consec. en los 4 meses sig. solst. verano. E= Húmeda > = 45 días consec. en 4 meses sig. solst. invierno. F= Parcialmente húmeda > = 180 días acumulados. G= Parcialmente húmeda > = 90 días consecutivos.								

3.5. Aplicación del Modelo Jarauta a los suelos del área meridional de Lleida.

El modelo de simulación propuesto se ha validado aplicándolo a series de datos de estados de humedad medidos en la sección control.

El resultado de las aplicaciones del modelo, pone de manifiesto la existencia generalizada del régimen Xeric en los suelos de capacidad de retención de agua disponible (CRAD) mayor o igual que 50 mm, pudiéndose distinguir entre el Xeric-I y el régimen Xeric-III en algunas zonas. Al disminuir la capacidad de retención del suelo, aumenta la probabilidad de obtención del régimen Arídico dándose este régimen con toda seguridad en los suelos de menor capacidad de retención de agua disponible (CRAD < 50 mm). Se ha procedido a realizar el análisis de los regímenes comparando la influencia de los siguientes parámetros:

- 1) tipo de cultivo
- 2) perfil de suelo
- 3) tipo de datos empleado en la estimación.

El régimen Ustico que resultaba de aplicar el modelo simulativo de Newhall parece no existir en la zona, de acuerdo con las medidas realizadas en campo.

Para ultimar esta aplicación del modelo y la verificación del mismo, se representa en la figura una comparación entre los resultados del modelo propuesto por Newhall (1976), del modelo propuesto por Jarauta (1989) y de los resultados obtenidos experimentalmente; puede apreciarse cual de los dos modelos proporciona una estimación más aproximada a los datos de campo.

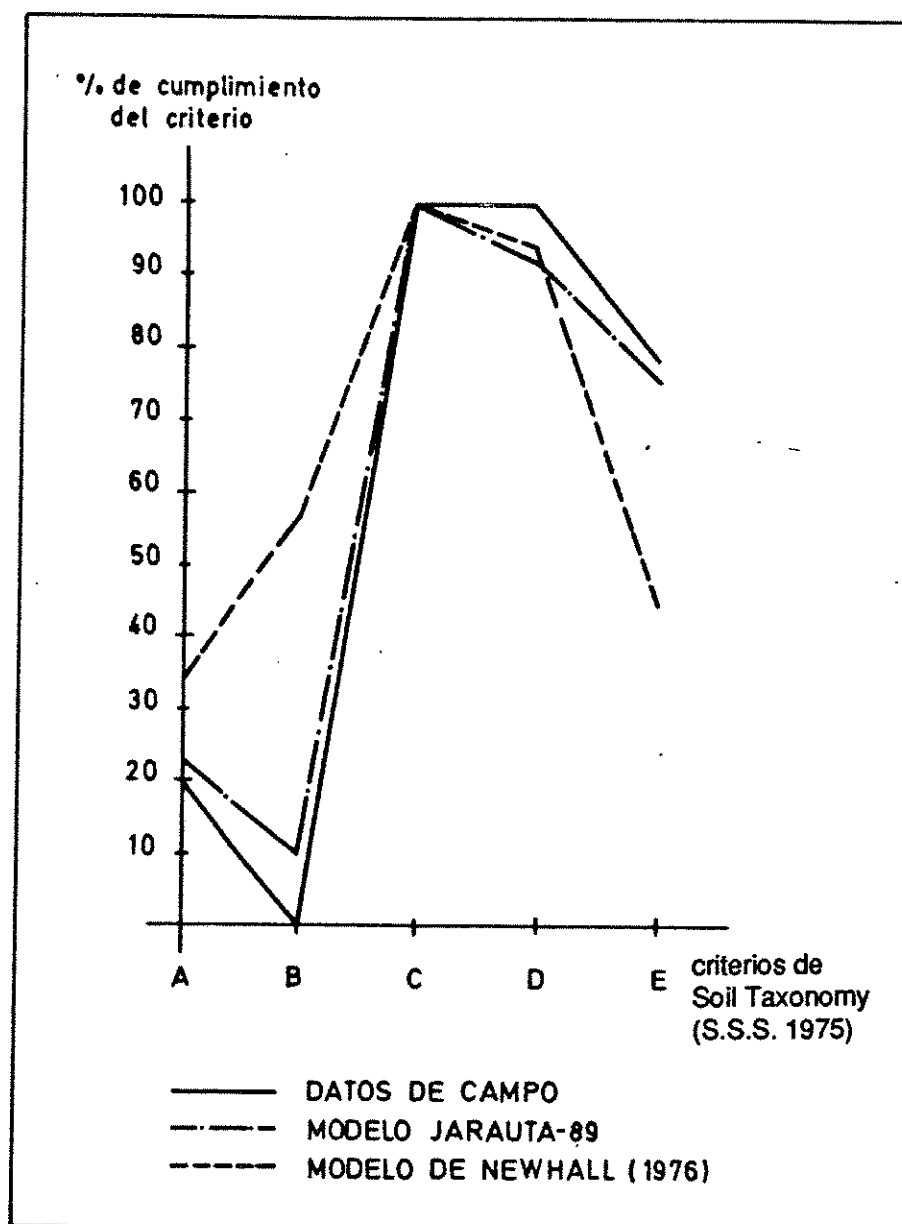


Fig. 9. Comparación entre los criterios de Soil Taxonomy en el área meridional de Lleida, según los datos de campo, el modelo de Newhall y el modelo Jarauta-89.

4. HORIZONTES PETROCALCICOS Y SU SIGNIFICACION.

4.1. Posición en el paisaje.

Los suelos con acumulaciones de carbonatos cementadas se hallan en una posición topográfica elevada, formando plataformas residuales. La plataforma residual mejor conservada, más extensa y más elevada es la de Almatret al Sur del área (Fig.10). Su altitud es de 450 m y se alza unos 300 m sobre el Ebro. Esta superficie enlaza al NE con la plataforma de Maials y Llardecans, que tiene cotas inferiores, alrededor de los 400 m (Julia & al. 1983). Las plataformas de Sunyer, denominadas Les Pletes de Sunyer, constituyen una superficie cuya cota es de unos 250 m, siendo las situadas más al Norte dentro del área estudiada (Fig. 5). Todas las plataformas residuales se caracterizan por la presencia de suelos con horizontes petrocálcicos, como ya se ha indicado (Apartado 2.2).

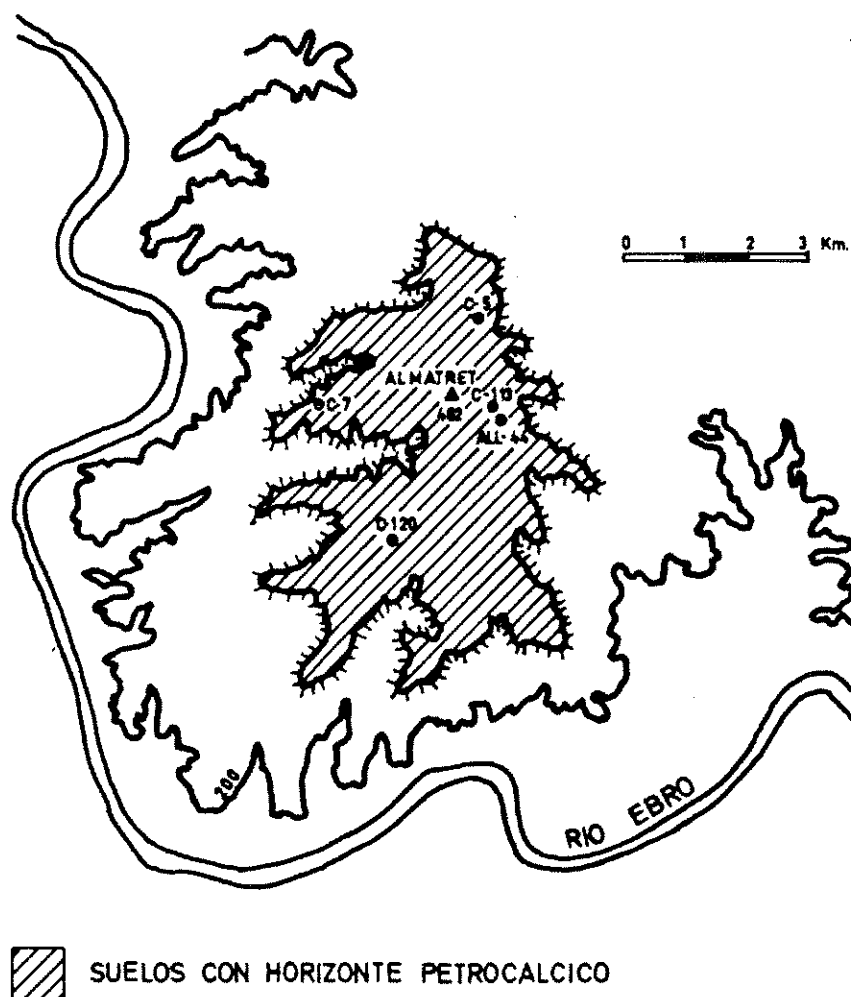


Fig. 10 .- Esquema de la plataforma de Almatret: Se observa su aislamiento actual en el paisaje.

4.2. Tipo de depósitos, potencia y procedencia de los materiales.

Centrando el estudio en la plataforma de Sunyer-Torres de Segre, interesa destacar el tipo de depósito de que se trata, su potencia y la procedencia de los materiales (Apartado 2.2). Las características de la formación superficial asociada a dicha plataforma se describen en el Apartado 2.2.d. En síntesis, se trata de un depósito de gravas con cantos calizos y aplanados de 5 a 10 cm y matriz arenosa. Su espesor aumenta de E a W, lo cual junto con las estructuras sedimentarias visibles indica el sentido de aporte. El tipo de material, además, parece indicar un ambiente de sedimentación de llanura al pie de un relieve con canales entrelazados. (Fig. 11).

4.3. Unidad de suelos con endopedi6n petroc6lcico.

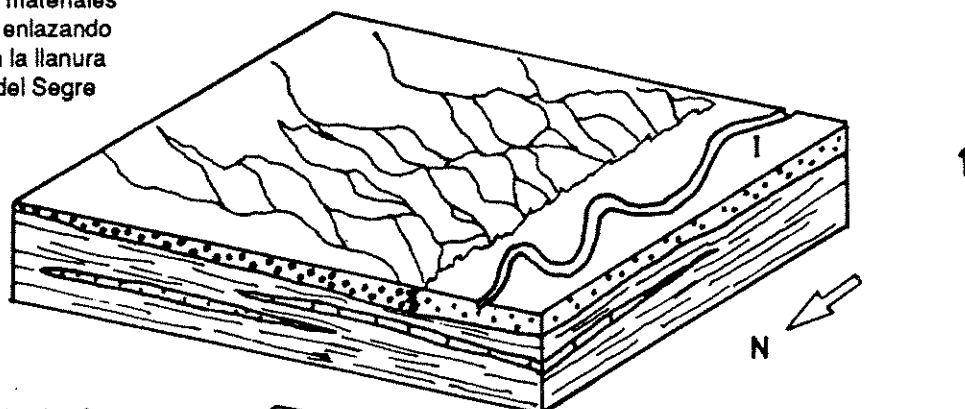
Se trata de suelos con perfiles de tipo $A_p B_{km1} B_{km2} \dots C_k$. El espesor del epipedi6n, 6crico, por t6rmino medio es de unos 20 cm, a veces 10-15 cm si la erosi6n ha sido intensa. El horizonte petroc6lcico se caracteriza por presentar capas acintadas y por ser de tipo conglomer6tico. Debajo del horizonte petroc6lcico, el horizonte c6lcico existente no presenta n6dulos debido a que el dep6sito est6 formado por abundantes elementos gruesos. El espesor de la capa cementada puede variar desde unos 20 cm a m6s de 2 metros. El laboreo ha incorporado fragmentos de horizonte petroc6lcico al horizonte A_p .

El pH de estos suelos es de 8.1 a 8.6, el contenido de carbonatos es elevado, con un 25-30% en los horizontes A_p , y m6s del 80% en los horizontes B_{km} . Con vegetaci6n espont6nea el contenido de materia org6nica es de un 2 a un 3% y bajo cultivo, inferior al 2%. Las texturas de los epipediones son predominantemente francas. Es una unidad de suelos sin problemas de salinidad en seco, no siendo esperable que aparezcan en caso de su transformaci6n en regad6o, a pesar de la presencia de un sustrato lut6tico debajo de la acumulaci6n de carbonatos. La posici6n geomorfol6gica que ocupa esta unidad y la potencia del dep6sito detr6tico, as6 permiten afirmarlo.

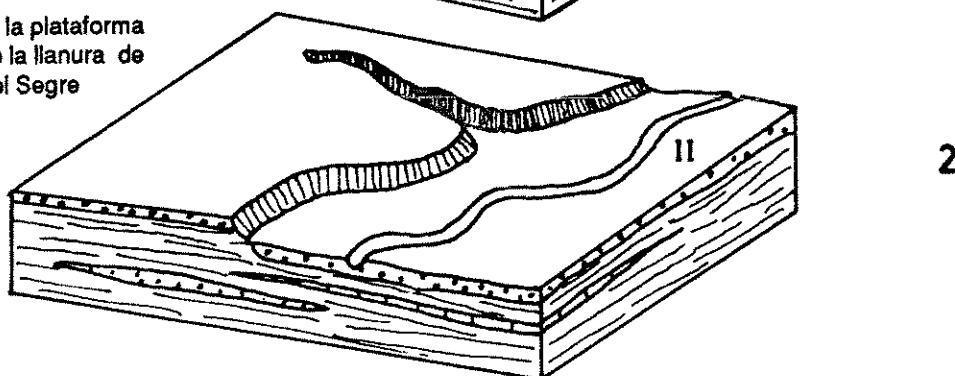
La mineralog6a de los epipediones de estos suelos se caracteriza, una vez eliminados los carbonatos, por el predominio de los filosilicatos que, en una evaluaci6n semicuantitativa, se estiman alrededor del 90%, con aproximadamente un 6% de cuarzo, un 3% de feldespatos y trazas de goethita. La mineralog6a de arcillas de los epipediones evidencia el predominio de la illita (~74%), seguida de aproximadamente un 4% de esmectita, un 6% de clorita, un 2% de caolinita, siendo de destacar la presencia de pirofilita, alrededor de un 4% (Cuadros n6 14 y 15).

En la capa acintada superior de un horizonte petroc6lcico la mineralog6a es an6loga a la del horizonte A_p , por lo que hace a filosilicatos y feldespatos, disminuyendo a la mitad la cantidad de cuarzo. En la mineralog6a de arcillas se observan notables diferencias. El contenido aproximado de illita baja a un 58%, a favor de un aumento de la esmectita que pasa a un porcentaje del orden de un 25%, la caolinita (Fig. 12) es del orden de un 2%. La pirofilita est6 ausente en la capa acintada.

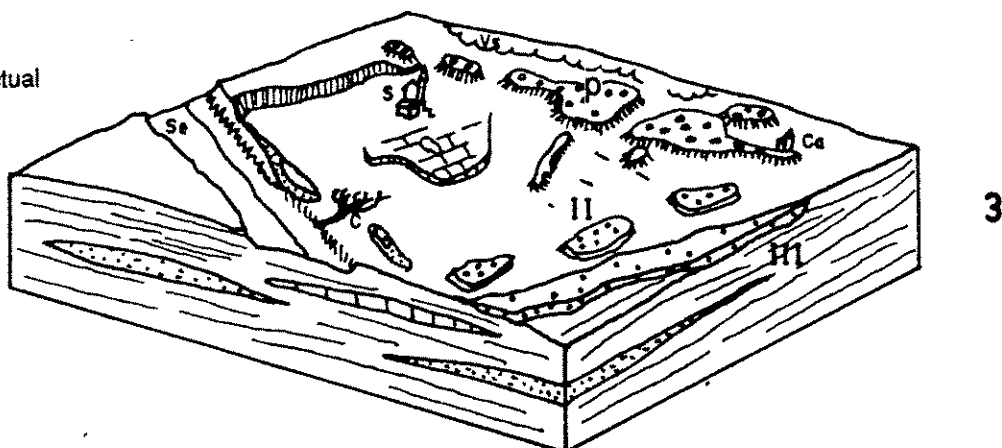
1. Agradación de los depósitos sobre materiales oligocenos y enlazando lateralmente con la llanura de inundación I del Segre



2. Disección de la plataforma y agradación de la llanura de inundación II del Segre



3. Situación actual



- | | | |
|--|--|--------------------------|
| | DEPOSITO ASOCIADO A LA SUPERFICIE DE SUNYER-TORRES DE SEGRE | |
| | I-II-III DEPOSITOS DE SUCESIVAS LLANURAS DE INUNDACION DEL SEGRE | |
| | CALIZAS | } OLIGOCENO |
| | ARENISCAS | |
| | CALCILUTITAS | |
| | RELLANO | } RELIEVES ESTRUCTURALES |
| | PLATAFORMA | |
| | PALEOCANAL | |
| | CORNISA | |

Fig. 11.- Evolución del paisaje: Situación actual caracterizada por formas residuales y estructurales.

S=Sunyer; P=Les Pletes; Ca=Carrasumada; Se=río Set; C=Clot de l'Om; Vs=Vall del Secà.

Cuadro nº14.- Mineralogía de materiales originales y suelos: Evaluación porcentual semicuantitativa a partir de los diagramas de rayos X en polvo.

Forma	Perfil	Horizonte	Filosilicatos	Cuarzo	Feldespatos	Goethita
Plataforma residual (Les Pletes de Sunyer)	C-27	Ap	91	6	3	trazas
		Bkm (capa acintada superior)	93	3	3	1
Ladera	C-26	2C (lutita)	80 95	17 3	3 2	- trazas
Fondo (El Clot de l'Om)	C-23	Ap	80	15	4	1
		Bwy	84	12	3	1

Cuadro nº 15.- Mineralogía de arcillas de materiales originarios y suelos: Evaluación porcentual semicuantitativa a partir de los diagramas de rayos X.

Forma	Perfil	Horizonte	Ilita	Caolinita	Clorita	Esmeclita	Pirofilita
Plataforma residual (Les Pletes de Sunyer)	C-27	Ap	74	2	6	4	4
		Bkm (capa acintada superior)	58	2	8	25	-
Ladera	C-26	2C (lutita)	54 78	- -	4 6	22 11	- -
Fondo (El Clot de l'Om)	C-23	Ap	64	1	5	10	trazas
		Bwy	67	trazas	5	11	-

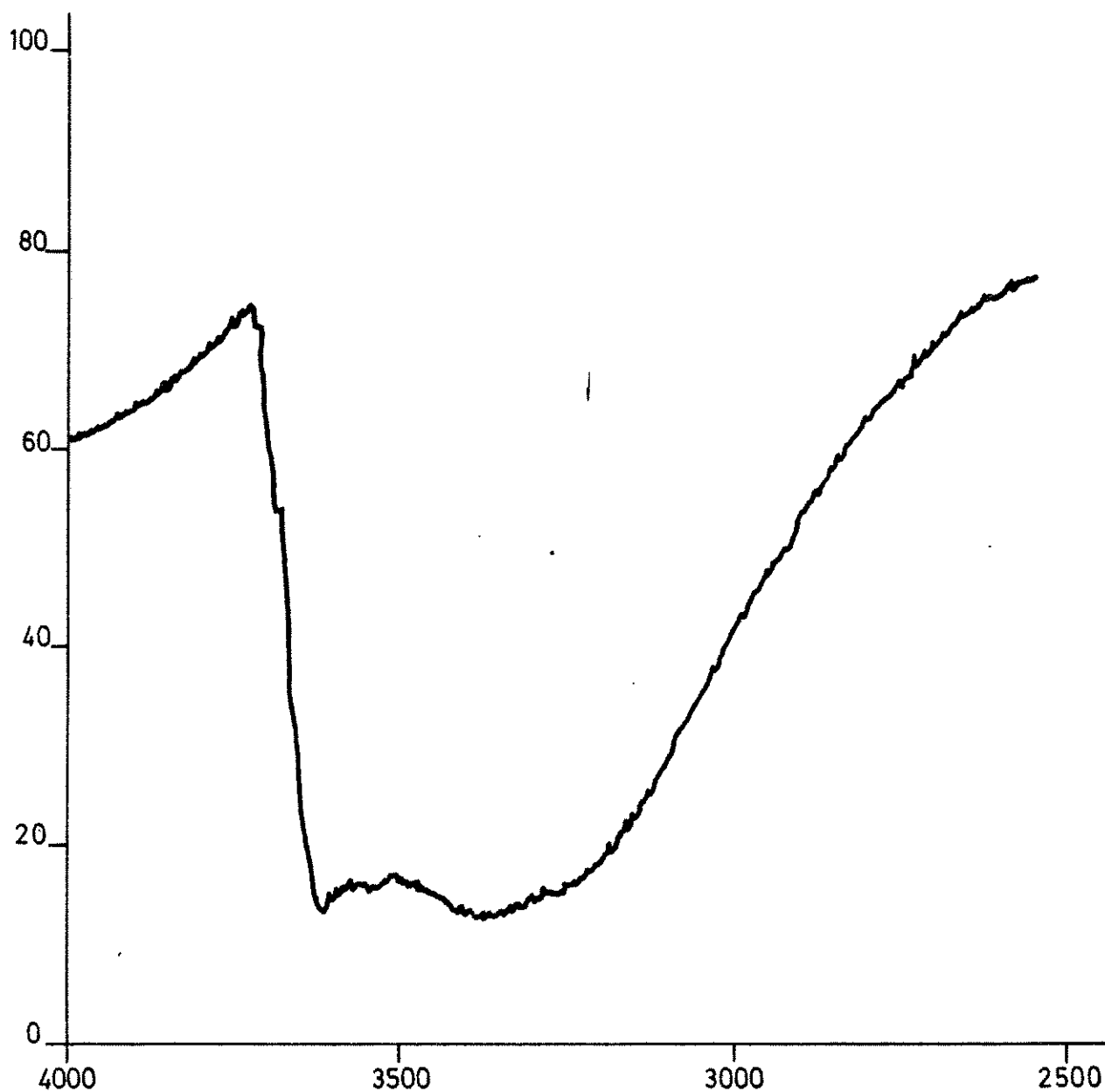


Fig. 12.- Espectro de difracción infrarroja de la arcilla contenida en una capa acintada de la parte superior de un horizonte petrocálcico: se observa la casi total ausencia de caolinita.

Se han seleccionado algunos suelos de referencia de esta unidad con endopedión petrocálcico en la plataforma de Sunyer-Torres de Segre (C-27-TS), y en la plataforma de Almatret (C-5-ALM y C-114-ALM), de los que se incluyen sus correspondientes análisis de caracterización (Cuadros nº 16 al 21). Los suelos de esta unidad, de acuerdo con los estudios realizados sobre el régimen de humedad, se han clasificado como Paleorthids xerolicos.

Cuadro nº16.- Descripción macromorfológica del pedión C-27-TS.

Pedión: C-27-TS

Coordenadas: 31T BF 975 995 220

Descripción: J. Porta y J. Herrero.

Geomorfología

Tipo de superficie: Plataforma residual.

Dinámica de la forma: Ligera karstificación.

Acciones sobre la pendiente: Cultivo.

Longitud de la pendiente: 2.000 m.

Pendiente general: 1%-W, local: menos del 1%

Exposición:

Término municipal: TORRES DE SEGRE.

Localización: Les Pletes. Al Sur de la pista del IRYDA de Sunyer a Torres de Segre.

Escala: km.

Situación en la pendiente: En el centro de la forma

Morfología local: Area rectilínea.

Régimen hídrico: Sequía relativa por escasa pluviometría y horizonte petrocálcico a poca profundidad.

Drenaje: Bien drenado.

Nivel freático: Inaccesible.

Eflorescencia: No

Geología: Depósito de materiales detríticos.

Vegetación: Natural eliminada. Rastrojo de cereal, con *Salsola kali*. En las inmediaciones olivos.

Utilización: Cultivos de cereal con barbecho. Pedregosidad superficial abundante.

Clasificación: Paleorthid xerolico

00-10 cm Ap1 Un 50% de elementos gruesos, de hasta 20 cm, fragmentos de costra caliza, incorporados por laboreo. Húmedo. Estructura débil en bloques subangulares, estructura secundaria de tipo granular fina. Consistencia friable. Materia orgánica bien incorporada. Fauna no aparente. Raíces abundantes, finas y muy finas, vivas. Poroso. Estado de oxidación, buena aireación. Efervescencia al HCl. Límite neto por laboreo. Epipedión ochrico.

10-33 cm Ap2 Un 50% de elementos gruesos, de hasta 20 cm x 10 cm, fragmentos de costra incorporados por laboreo. Húmedo. Estructura moderada en bloques subangulares, fina a muy fina. Consistencia friable. Materia orgánica bien incorporada. Fauna no aparente. Raíces pocas, finas y muy finas, vivas. Poroso. Estado de oxidación, buena aireación. Efervescencia al HCl. Límite abrupto, ondulante. En la base del horizonte hay un nivel de pisolitos calizos de hasta 2 mm de diámetro. Epipedión ochrico.

33-93 cm Bkm Horizonte de acumulación de carbonato cálcico de tipo conglomerático, con bandas acintadas con distintas coloraciones. Se observan procesos de redisolución en los clastos. La costra presenta diferentes episodios y entre ellos aparecen capas con raíces. La dureza de la costra presenta cambios laterales. Endopedión petrocálcico.

93-120 cm Ck Horizonte de acumulación de carbonato cálcico no cementado. Abundantes elementos gruesos de naturaleza caliza.

Cuadro nº 17.- Descripción macromorfológica del pedión C-5-ALM.

Pedión: C-5-ALM

Coordenadas:

Descripción: J. Porta y J. Herrero.

Geomorfología

Tipo de superficie: Plataforma residual.

Dinámica de la forma: Erosión laminar.

Acciones sobre la pendiente: Cultivo.

Longitud de la pendiente:

Pendiente general: 1%, local: 1%

Exposición:

Término municipal: ALMATRET

Localización: Plataforma de Almatret.

Escala: km.

Situación en la pendiente: En el centro de la forma

Morfología local: Rectilínea.

Régimen hídrico: Sequía relativa

Drenaje: Bien drenado.

Nivel freático: Inaccesible.

Eflorescencia: No

Geología: Materiales detríticos.

Vegetación: Natural eliminada.

Utilización: Cultivos de cereal, olivos y almendros. Pedregosidad superficial formada por fragmentos de costra caliza incorporada por laboreo.

Clasificación: Paleorthid xerolico.

-
- 00-25 cm Ap Con elementos gruesos procedentes de la costra subyacente incorporados por laboreo, suponen un 10% del horizonte. Estructura en bloques subangulares gruesos y estructura secundaria granular fina. Consistencia friable. Fuerte reacción al HCl. Materia orgánica bien incorporada. Frecuentes raíces , finas y vivas. Poroso. Límite abrupto y ondulado. Epipedión ochrico.
- 25-45 cm Bkm Capa de fragmentos de costra, rota por laboreo, con presencia de gran cantidad de oolitos calizos, de 1 a 2 mm de diámetro asociados a raíces Presencia de raíces finas, vivas. Límite ondulado.
- 45-60 cm Bkm1 Costra caliza de tipo laminar, discontinua lateralmente. Horizonte petrocálcico.
- 60-80 cm Bkm2 Costra caliza fuertemente cementada, con inclusiones que pueden ser fragmentos de una costra más antigua. La costra presenta variaciones laterales importantes a lo largo de los 10 metros estudiados, que afectan a los espesores y características de los subhorizontes que forman el endopedión petrocálcico. La parte superior de la costra está acintada. Horizonte petrocálcico.

lateralmente

- 20-55 cm Bkm3 Costra caliza muy fragmentada, de tipo laminar. Entre las láminas aparecen capas oolíticas no cementadas, de color oscuro y con frecuentes masas de raíces finas.
- 55-60 cm Bkn Capa oolítica con frecuentes raíces finas a gruesas, vivas. Color grisáceo. Los pisolitos parecen asociados a raíces muy finas.
- 60 cm Bkm Costra caliza muy cementada, con fieltros de raíces intercalados hasta 80 cm.

Cuadro nº 18.- Descripción macromorfológica del pedión C-114-ALM.

Pedión:C-114- ALM

Término municipal: ALMATRET

Coordenadas: 944,7 752,4 480 m

Descripción: J. Porta y J. Herrero.

Geomorfología

Tipo de superficie: Plataforma residual.

Dinámica de la forma:

Acciones sobre la pendiente:

Longitud de la pendiente:

Pendiente general: 1%, local: menor 1%

Exposición:

Escala: km.

Situación en la pendiente: En el centro de la forma

Morfología local: Plana.

Régimen hídrico: Sequía relativa

Drenaje: Bueno.

Nivel freático: Inaccesible.

Eflorescencia: No

Geología: Materiales detríticos.

Vegetación: *Rosmarinus officinalis*; *Pinus halepensis*; *Juniperus*; *Quercus coccifera*; *Thymus vulgaris*; *Genista*.

Utilización: Forestal.

Clasificación: Paleorthid xerolico

00-07 cm A1 Color 10YR 4/3. Elementos gruesos muy frecuentes, heterométricos, de grava media a cantos, subangular-planos, sin orientación definida, fragmentos de petrocálcico. Ligeramente húmedo. Estado de oxidación. Estructura primaria muy débil, en bloques subangulares, fina; estructura secundaria moderada, granular fina. No coherente, suelta. Materia orgánica, bastante, humus de tipo mull calizo, unión fuerte con la fracción mineral. Actividad de la fauna muy intensa, turrículas y pellets fecales. Raíces de aspecto normal, frecuentes, finas y muy finas, vivas. Poroso. Límite gradual, plano. Epipedión ochrico.

07-35 cm A₂ Color 10 YR 3/2. Elementos gruesos muy frecuentes, heterométricos, de grava media a cantos, subangular-plano, en posición horizontal, fragmentos de petrocálcico. Húmedo. Estado de oxidación. Estructura primaria débil, en bloques subangulares, fina; estructura secundaria, fuerte, granular, fina. Poco compacto, friable. Materia orgánica, bastante, unión fuerte con la fracción mineral. Actividad de la fauna muy intensa, turrículas. Raíces muy abundantes, medianas, horizontales, distribuidas regularmente. En algunas zonas hay concentración de elementos redondeados de unos 2-3 mm de diámetro, asociados a raíces. Límite abrupto, ondulante. Epipedión ochrico.

35-65/80 cm B_{km} Endopedión petrocálcico, fuertemente cementado. Se observan inclusiones de color rojizo, recubiertas por carbonato cálcico con laminaciones.

65/80-210 cm B_k Horizonte de acumulación de carbonatos en masa, no cementado. Ausencia de raíces y de capas oolíticas. Dentro de este horizonte aparece una banda de caliza del sustrato, de unos 20 cm de potencia.

Cuadro nº 19.- Caracterización analítica del pedión C-27-TS.

Referencia	Horizonte	Profundidad cm	Color Munsell	pH H ₂ O 1:2,5	Mat. Org. %	CaCO ₃ equiv. %	
C-27-TS/1	Ap1	00-10	10 YR 4/6	8,1	1,7	25.16	
/2	Ap2	10-33	7,5 YR 4/4	8,1		30.78	
Granulometría USDA			Clase Textural	Ataque ácido			C.E. dS/m a 25 °C 1:5
Arena %	Limo %	Arcilla %		Ca ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ %	
43,16 36,49	34,11 38,76	22,73 24,75		F F	25.04 30.55	0.69 1.14	

Cuadro nº.20 - Caracterización analítica del pedión C-5-ALM.

Referencia	Horizonte	Profundidad cm.	Color Munsell	pH H ₂ O 1:2,5	Mat. Org. %	CaCO ₃ equiv. %	
C - 5 - ALM	Ap oolitos Bkm	00-25 25-45 55-60	7,5 YR 3/3 10 YR 6/3 5YR 5/2	8,1 7,8 7,5	3,9 1,4	37.4 88.2 90.6	
Granulometría USDA			Clase Textural	Ataque ácido			C.E.
Arena %	Limo %	Arcilla %		Ca ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ %	dS/m a 25 °C 1:5
33,22	42,86	23,92	F	45,72	10,43	18,48	0,16
-	-	-	-	73,18	3,78	1,05	-
60,22	20,44	19,34	FAr	93,31	4,16	4,24	0,62
ELEMENTOS meq/100 g extr. AcONH ₄				C.I.C. meq/100g			
Na+	Mg ²⁺	Ca ²⁺					
0,50	1,04	17,26	18,80				

Cuadro nº.21- Caracterización analítica del pedión C-114-ALM.

Referencia	Horizonte	Profundidad cm.	Color Munsell	pH H ₂ O 12,5	Mat. Org. %	CaCO ₃ equiv. %		
C-114-ALM	A ₁	00-07	10 YR 4/3	7,8	6,00	46,2		
	A ₂	07-35	10YR 3/2	7,9	6,10	43,6		
	B _k	95-110		8,6	0,19	90,3		
	B _k	170-180	7,5 YR 8/4	8,7	0,12	87,6		
Granulometría USDA			Clase Textural	Ataque ácido			C.E.	
Arena %	Limo %	Arcilla %		Ca ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ %	dS/m a 25 °C 1:5	
	5,7	54,1	32,7	FaL	42,83	2,24	4,88	0,23
	19,7	42,1	34,5	FaL	44,22	5,47	10,95	0,30
	61,2	19,9	18,8	FAR	95,88	3,61	3,77	0,17
	60,6	22,2	13,3	FAR	96,51	10,45	10,88	0,15
ELEMENTOS meq/100 g extr. AcONH ₄				C.I.C.meq/100 g				
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	meq/100 g				
	0,39	0,82	22,51	23,72				
	0,43	1,10	29,31	30,84				
	0,36	0,10	3,72	4,18				
	0,39	0,23	3,87	4,49				

4.4. Papel de los horizontes petrocálcicos en la evolución del paisaje: Inversión del relieve.

En la zona hay tres tipos de formaciones que actúan como elementos resistentes, los estratos de calizas terciarias, los horizontes petrocálcicos y los paleocanales.

Los antiguos glaciares, actualmente desconectados del área fuente, están formados por depósitos detríticos heterogéneos, que sufrieron una acumulación desigual de carbonatos con grados de cementación no uniformes. En épocas de mayor erosión, las zonas menos cementadas fueron cediendo al encajamiento de la red fluvial, lo que ha producido una inversión de relieve. Este modelo de evolución del paisaje ligado a la presencia de horizontes petrocálcicos ha sido aceptado por múltiples autores y parece adecuado para el área meridional de Lleida (Fig. 11).

4.5. Procesos en los horizontes petrocálcicos.

a. Acumulación de carbonatos.

Las acumulación de carbonatos en la plataforma de Sunyer-Torres de Segre se ha producido en el depósito detrítico superficial, independientemente del material terciario subyacente, que sólo habrá actuado como soporte. Las calcilutitas que lo constituyen, por su baja conductividad hidráulica, son un nivel impermeable que habrá condicionado el comportamiento de los flujos de agua en el depósito detrítico. En otros casos el sustrato está formado por calizas miocenas, como en la plataforma de Almatret.

b. Estructuras en las acumulaciones de carbonatos.

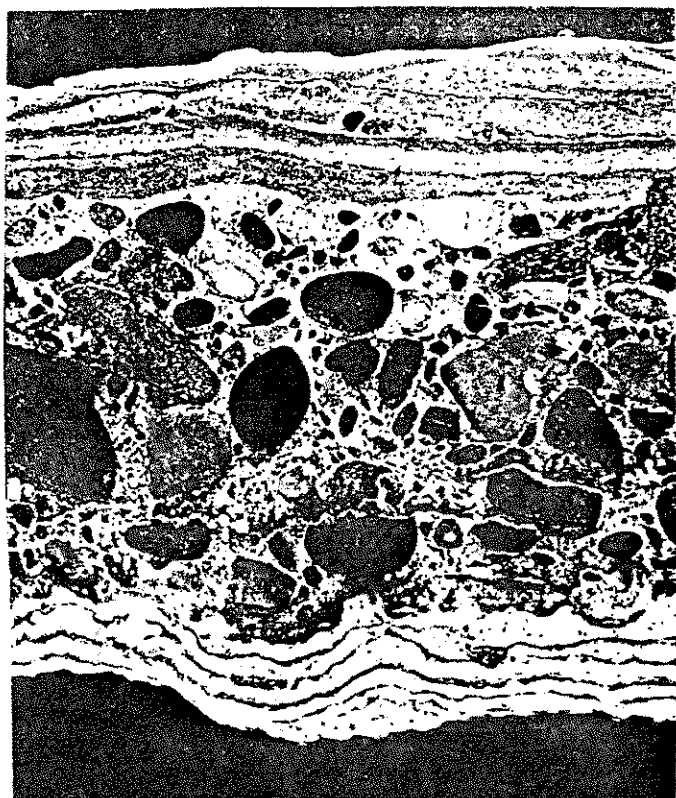
Se han estudiado acumulaciones de carbonatos en diversos suelos de la unidad, tanto en campo, como en laboratorio, con muestras de mano y mediante láminas delgadas. Se han identificado horizontes petrocálcicos de tipo conglomerático, de tipo oolítico, de tipo travertínico y petrocálcicos con inclusiones de horizontes de suelos anteriores (Porta, 1981). De entre todos ellos se describe de forma detallada la acumulación de carbonatos que caracteriza los suelos de la plataforma de Sunyer-Torres de Segre (Cuadro nº22 y Fig. 13).

Cuadro nº.22- Descripción de una acumulación de carbonatos con un horizonte petrocálcico de tipo conglomerático de la plataforma de Sunyer-Torres de Segre (Lérida).

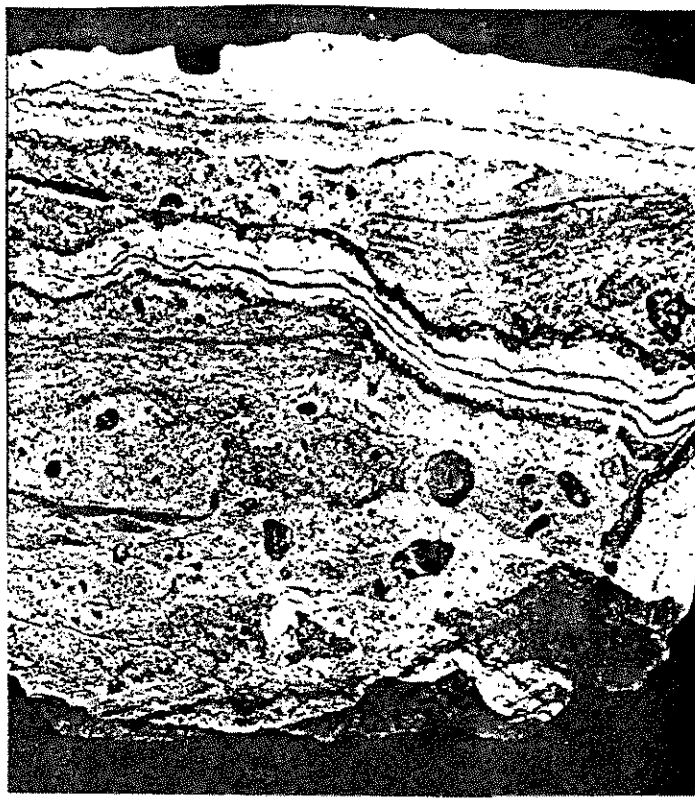
Profundidades cm	Descripción.
00-20	Horizonte Ap . Epipedión ochrico.
20-20, 1	Horizonte petrocálcico , en el que se diferencian: capa 1: nivel cortical en muestra de mano: a la lupa binocular se observa una capa blanca porosa. Aparecen manchas de color pardo (12 x) que presentan una estructura filamentosa (50 x). El límite inferior de la capa sigue el contorno del fragmento delimitado por fracturas naturales. en lámina delgada: capa micrítica con granos de cuarzo de tamaño limo. A veces su espesor puede alcanzar 3 mm.
20,1-20,5	capa acintada superior (2 a 4) ,de espesor variable , de 5 a 10 mm con: capa 2 en muestras de mano: a la lupa binocular capa rosada, poco porosa, cuyos límites superior e inferior son ondulantes con alteraciones de capas más oscuras y más claras. en lámina delgada: capa de micrita de color gris con muy pocos elementos detríticos, alterna con capas rojizas con mayor proporción de detríticos y laminaciones con microesparita. Esta capa tiene continuidad lateral y envuelve a todo el ejemplar. Límite inferior abrupto.

Cuadro nº.22- Descripción de una acumulación de carbonatos con un horizonte petrocálcico de tipo conglomerático de la plataforma de Sunyer-Torres de Segre (cont).

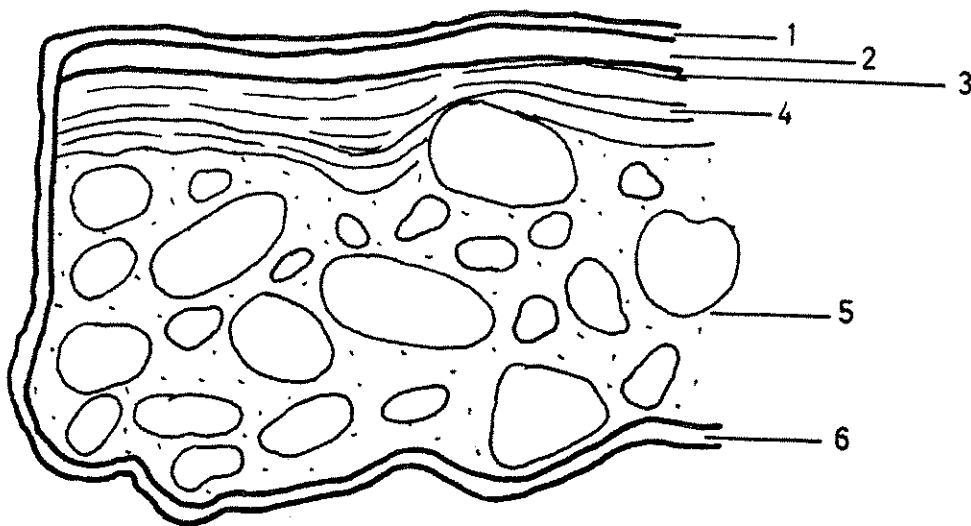
Profundidades cm	Descripción
20,5-20,6	capa acintada superior:capa 3 en muestras de mano: a la lupa binocular capa formada por láminas de color marrón oscuro sobre un fondo rosáceo. en lámina delgada: capa con pellets. Los granos de cuarzo son escasos. Hay estructuras de tipo orgánico, de sección aproximadamente circular, que dejan un espacio vacío en su interior y otras que presentan un relleno de cristales esparíticos. Estas estructuras se interpretan como antiguas raíces. Son de mayor diámetro que los pellets.
21,8-24,0	capa conglomerática capa 5 en muestras de mano: a la lupa binocular capa conglomerática formada por clastos heterométricos, calizos, de hasta 8 cm de diámetro, redondeados. Los huecos dejados por los clastos son rellenos por un material arenoso, poroso, cementado por calcita de colores blanco y rosa por zonas. La mayoría de los clastos presentan una superficie alterada, que se traduce en una aureola de color rosado. En algunas oquedades aparece una mineralización de color verde. en lámina delgada: los clastos presentan cemento geopital micrítico (pendents). Su superficie evidencia procesos de disolución. El relleno entre los clastos está formado por material micrítico de color amarillo-parduzco, con abundantes granos de cuarzo, alguno de chert, todos ellos de tamaño arena, angulosos. Alrededor de estos granos hay una capa micrítica (gris) y una segunda capa más clara formada por microesparita. Los granos de cuarzo no presentan alteración, sin embargo se observa una posible penetración de la caliza. En la capa conglomerática aparecen intercaladas capas acintadas de contornos irregulares, como siguiendo la morfología de antiguas grietas. Están formadas mayoritariamente por pellets, con moderada porosidad cuya proporción varía de unas zonas a otras. Materiales detríticos calizos tamaño 2-5 mm retrabajados como lo indica su cemento geopital con polaridad alterada. Algunos granos de cuarzo tamaño arena. Existen capas acintadas subverticales sin solución de continuidad con la capa acintada superior e inferior, de forma que algunos fragmentos cementados están totalmente rodeados por una capa acintada. capa detrítica arenosa. capa acufiada de aparición discontinua. Porosa, con huecos irregulares. Con oolitos y pellets. Abundancia de clastos retrabajados de tamaño milimétrico (4-6 mm) y arenas y limos predominantemente cuarzosos, fragmentos de concha. Cemento de micrita y microesparita.
24,0-24,5	capa acintada Inferior : capa 6 Alternancia de capas con pellets, capas detríticas y cemento geopital. Capas detríticas predominantemente carbonáticas, tamaño limo.
90-400	horizonte cálcico (capa no cementada) Formada por un 40% de clastos tamaño gravilla subredondeado tabulares de 3 a 8 mm, con predominio de calizas, algunas fosilíferas, otras oolíticas; alguna arenisca. Entre los clastos hay arena de cuarzo y calizas, subredondeada, fragmentos de conchas (muy escasos). Algún clasto de tamaño arena y naturaleza arcillosa. Matriz predominantemente esparítica que deja huecos (10%), donde aparecen cristales aciculares de calcita. Presencia de pellets que por zonas abundan, tamaño limo, agrupados a modo de racimo. Huecos con hiporrevestimientos.
> 400	calcilita alternando con areniscas.



a



b



c

Fig.13.- Fragmentos de horizonte petrocálcico (a y b) procedente de la plataforma de Sunyer -Torres de Segre (tamaño natural) y esquema (c) en el que las capas 1 a 4 corresponden a la zona acintada y la capa 5 es la conglomerática.

Se han observado además estructuras redondeadas de tamaño milimétrico de naturaleza caliza asociadas a las raíces actuales. Estas formas redondeadas reciben diferentes nombres, el más genérico es el de glómérulo, pellet o pelloide (Hay & al. 1978), estas denominaciones no hacen referencia al origen. En aquellos casos en que se conoce la configuración interna del cuerpo redondeado descrito, si ésta es concéntrica se puede hablar de oolito (Jongerijs, 1979), de ooidos (Freyet, 1981); si el revestimiento es criptocristalino o micrítico alrededor del núcleo con laminación concéntrica muy poco visible, se habla de bahamita (Humbert, 1976); si los revestimientos están formados por láminas más o menos regulares y continuas se utiliza pisolito, término que para unos autores implica un origen generalmente físico-químico (Humbert, 1976), mientras que otros confieren una gran importancia a las fungotufas en su desarrollo (Julia & al. 1981). Dentro de los horizontes petrocálcicos, asociados a las raíces que lo penetran a favor de grietas, se han observado con bastante frecuencia tales capas oolíticas, a diferentes profundidades.

4.6. Translocación y acumulación de carbonatos: Discusión.

a. Etapas iniciales.

Las estructuras de las acumulaciones de carbonatos muestran una complejidad tal, que es difícil aceptar que sean el resultado de un único proceso de translocación-acumulación. Inicialmente, la acumulación pudo tener lugar por translocación de carbonatos que, de acuerdo con la bibliografía (Goudie, 1983), pudo tener diversos orígenes. Podrían proceder de la meteorización de los materiales del propio depósito detrítico calizo que constituye el antiguo glacis; ser el resultado de la entrada en el sistema de polvo rico en carbonatos, proceso propuesto para explicar las acumulaciones de carbonatos en New Mexico (Gile & al., 1979); ser el resultado de la translocación de bicarbonatos en el agua que circule por el sistema; ser el resultado de translocaciones-acumulaciones ligadas a la actividad biológica dentro del sistema.

Los cuatro mecanismos señalados parecen aceptables y compatibles; de algunos existen evidencias, en otros casos, se trata de una mera hipótesis de trabajo.

Las hipótesis sobre la dirección y sentido de las translocaciones de carbonatos, lateral/vertical, per ascensum/per descensum, deben sustentarse en observaciones, que pueden ser de difícil realización. Resulta frecuente observar que la superposición de materiales de diferente permeabilidad pueda originar circulación lateral de agua en régimen saturado, pudiendo hablarse de niveles freáticos colgados circulantes y de carácter temporal. Para probar la validez de este mecanismo debe recurrirse a otras áreas en las que exista una conexión con el área fuente. Ello ha sido posible en Canet d'Adri (Gerona) donde se producen acumulaciones de carbonatos en capas de material volcánico de tipo piroclástico intercaladas en el depósito en aquellos casos en que el material que actúa de soporte presenta diferente permeabilidad. En este caso los carbonatos proceden

de la meteorización de las calizas cretácicas que, afectadas por la explosión, se hallan mezcladas con los materiales que constituyen el cono volcánico. El movimiento del agua en relación con los horizontes petrocálcicos en medio semiárido ha sido estudiado por Stuart & al. (1973). Estos autores destacan que la forma en que se mueve el agua y precipitan los carbonatos viene influenciada por la existencia de capas superpuestas de diferente permeabilidad. Estas mismas hipótesis son válidas para explicar la existencia de un horizonte fuertemente cementado, sobre otro de matriz arenosa, débilmente cementado.

Los modelos de transferencia lateral parecen ser aceptables en el área estudiada mientras la superficie, actualmente una plataforma aislada, estuvo conectada con el área fuente. En la posición geomorfológica actual parece más aceptable un modelo de translocación vertical descendente, que también pudo haber sido activo, en la fase anterior. Los procesos "per ascensum" a partir de una capa freática han recibido numerosas objeciones, que Goudie (1983) resume del siguiente modo: algunos petrocálcicos se presentan en áreas con niveles freáticos muy profundos; la altura a través de la cual puede existir una franja capilar es muy limitada, especialmente en materiales detríticos como los de Sunyer; el crecimiento de la capa cementada, incluso suponiendo que fuese delgada, haría disminuir considerablemente la velocidad de ascenso capilar; los petrocálcicos a menudo cubren superficies topográficas sin corresponderse a la disposición de la capa freática. Ensayos de laboratorio refuerzan los argumentos en contra del modelo de translocación de carbonatos "per ascensum" (Roquero, 1980).

b. Papel de los procesos orgánicos.

Los modelos recientes sobre la formación de horizontes petrocálcicos han ido confiriendo cada vez mayor importancia a los procesos orgánicos. Los trabajos experimentales de Krumbein (1968) han puesto de manifiesto mediante cultivos de flora aislada del suelo, que era capaz de formar grandes cantidades de calcita. En relación con los horizontes petrocálcicos del área meridional de Lérida, se destacan dos morfologías ligadas a procesos orgánicos, la formación de capas acintadas y la de niveles oolíticos.

b.1. Capas acintadas.

El estudio micromorfológico de las capas acintadas pone de manifiesto la existencia de gran cantidad de oolitos, así como de estructuras de origen radicular. El ataque con ácidos diluidos ha permitido eliminar parcialmente los carbonatos y observar al SEM estructuras calcificadas de tipo filamentosas de origen orgánico, algunas de ellas identificables como antiguas raíces en una matriz micrítica.

Las capas acintadas se hallan en la parte superior, en la inferior, y en posiciones interiores del horizonte petrocálcico. Klappa (1979) había indicado ya, que muchos horizontes petrocálcicos de Israel contienen filamentos orgánicos calcificados de hongos, algas y actinomicetos del suelo y pelos radiculares de plantas vasculares.

Estas observaciones microscópicas se complementan con información de

campo. La superficie de los horizontes petrocálcicos suele presentar ondulaciones que dan lugar a oquedades de poca profundidad y cierta extensión que favorecen la retención de agua después de las lluvias. Las raíces tienden a desarrollarse y concentrarse en estas posiciones. Estos fieltros de raíces han podido ser observados en la plataforma de Almatret en un área con pinos. En otros casos se ha observado como las raíces se introducen en el horizonte petrocálcico a favor de las grietas que éste puede presentar. Se interpreta que los fieltros de raíces se habrán ido calcificando por la parte inferior, creciendo la formación por la parte superior y dando lugar a las sucesivas capas oscuras que se observan en las capas acintadas (Cuadros nº 23 y 24). Algunos autores denominan a este tipo de estructuras estromatolitos de raíces o niveles laminares de oclusión (Multer & al. 1968, Goudie, 1975, Julià & al. 1983).

Los trabajos de Gile (1966) han puesto de manifiesto que la "costra" laminar es más joven que la "costra" subyacente. Blumel (1981) sostiene la teoría edafológica más generalizada, según la cual el nivel laminar se produce por circulación de agua que disuelve la matriz de la "costra" que vuelve a precipitar dando lugar a la laminación (Durand, 1963, Ruellan, 1968). Los estudios realizados en capas acintadas han permitido realizar algunas precisiones:

- la capa laminar es tanto más oolítica cuanto más oscuro es su color
- los oolitos están ausentes en la capa conglomerática, lo que sugiere un origen diferente, poligenetismo señalado por Gile (1966), basándose en dataciones.
- la capa laminar presenta con gran profusión estructuras de antiguas raíces.
- el bandeado sugiere más el aspecto de un sistema radicular que un depósito de materiales.

Cuadro nº 23.- Niveles laminares de oclusión: estructuras resultantes de la calcificación de niveles orgánicos, (Almatret, Lleida).

Nivel mm	Descripción (lupa binocular)
0-2	Coloración negruzca, con una superficie irregular, el límite inferior sigue la forma de la superficie. Muy porosa. Débilmente cementada. Se aprecia gran profusión de formas debidas a raíces.
2-6	Capa acintada, láminas ondulantes oscuras y bandas de mayor espesor de color claro.
6-10	Capa blanquecina, desaparecen las laminaciones. Porosa.

Cuadro nº 24.- Caracterización de las diferentes capas de los niveles laminares de oclusión (Almatret, Lleida).

Zona	Nivel mm	Estructuras de raíces	CaCO ₃ %	c.o. %	m.o. %	pH 12,5
superior	0-2	abundantes	78,3	3,35	5,76	8,1
central	2-6	frecuentes	83,1	1,38	2,37	8,3
basal	6-10	inexistentes	84,1	0,15	0,26	8,5

b.2. Formación de niveles oolíticos.

Los cuerpos redondeados que aparecen asociados a raíces se interpretan en la bibliografía como resultado de la acción microbiana. La medida de la actividad biológica "global" ha puesto de manifiesto que estos niveles son activos (Cuadro nº25). El desprendimiento de CO₂ explica la disolución de carbonatos en estos niveles. Los cambios de temperatura y la acción de los microorganismos pueden posibilitar la precipitación en forma de pellets. El paso del "pellets" a "oolitos" se produciría por una cortificación posterior, cuyo mecanismo ha sido discutido por Freynet (1981).

No se han encontrado en la zona niveles de pellets que no estuviesen asociados a un nivel de raíces vivas, que generalmente constituyen un fieltro. Por consiguiente, con los datos disponibles parece poderse afirmar que existe una relación causa-efecto entre los pellets o los oolitos y las raíces.

Las láminas delgadas han demostrado que las capas oolíticas incluidas en los horizontes petrocálcicos presentan frecuentemente estructuras de antiguas raíces.

También se ha observado en lámina delgada, una gradación entre zonas con concentración de oolitos individualizados y la matriz micrítica homogénea, en la que tan solo se reconocen fantasmas de oolitos, restos de la estructura inicial.

Esta transformación diagenética va generalmente acompañada de una progresiva oclusión de la porosidad que dejan las antiguas raíces al destruirse, debido a que constituyen vías de circulación preferente del agua. Este agua está cargada de bicarbonato cálcico movillizado en la parte superior del perfil.

Por todo ello se puede concluir que los procesos orgánicos desempeñan un importante papel en la evolución de los horizontes petrocálcicos, favoreciendo procesos de disolución-transformación-precipitación, frente a modelos exclusivamente físico-químicos.

Cuadro nº 25.- Actividad biológica global evaluada por un método respirométrico:
Se observa que las capas oolíticas presentan una cierta actividad biológica,
mientras que los horizontes petrocálcos no.

		mg CO ₂ /100 g suelo	
		sin glucosa	con glucosa
Horizonte A	ALM-112	330,3	562,6
	ALM-114	322,2	968,8
	ALM-114	542,9	875,1
	LLAR-115	401,4	626,3
Capa oolítica	ALM-112	212,8	555,9
	ASP-41	178,3	508,5
	LLAR-115	18,7	302,9
Petrocálcico	ALM-114	288,9	504,2
	LLAR-115	0,0	9,5
	ALM-114	0,0	6,2

5. PROCESOS Y SUELOS EN VERTIENTES.

5.1. Procesos geomorfológicos.

El factor más importante que determina la dinámica de las vertientes en general es el ángulo de pendiente. En esta zona éste tiende a disminuir vertiente abajo, como resultado de los procesos vigentes cuando las vertientes se formaron.

Los procesos actúan y dejan su huella en zonas concéntricas a las plataformas. En la vertiente N de la plataforma residual de Sunyer-Torres de Segre (Les Pletes de Sunyer) se distinguen tres segmentos diferentes y sucesivamente más largos hasta el fondo de la cubeta en una ládera cóncava (Fig. 14).

El segmento V1, inmediato a la ruptura de pendiente, constituye el frente de ataque de los procesos erosivos de vertiente sobre la plataforma. En ella aflora el horizonte petrocálcico por ser resistente a la erosión. Los procesos que actúan en ella son principalmente debidos a la acción de la gravedad y consisten en caídas de cantos sueltos o de bloques enteros del horizonte cementado.

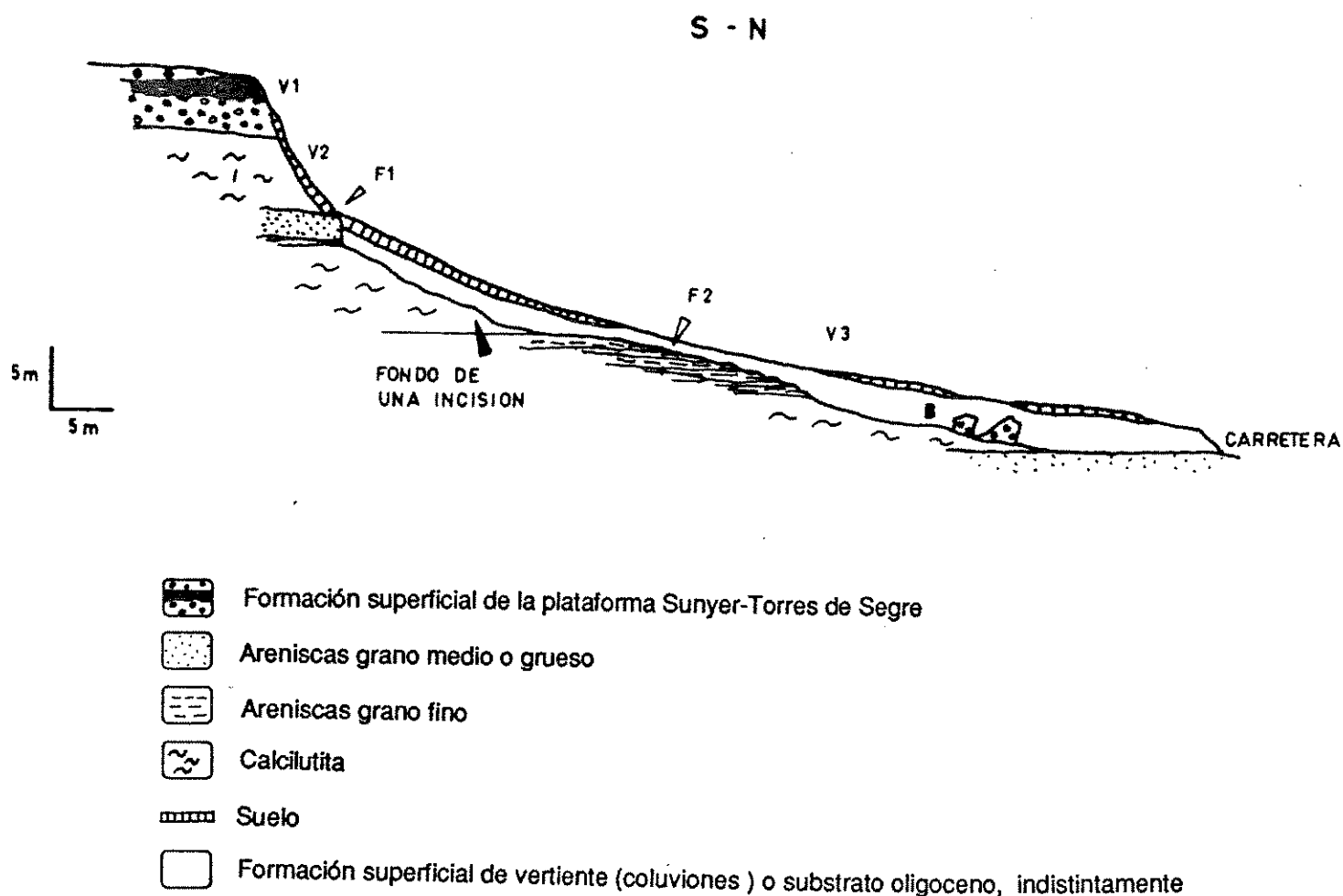


Fig 14.- Modelo de una vertiente de plataforma residual. Vertiente N de Les Pletes de Sunyer.

El segmento V2, aún de gran pendiente, está recubierto de coluviones en tránsito formados por los detritus procedentes de V1, cantos y arenas, y los del propio segmento. En esta parte de la ladera pueden ser muy activos procesos tales como los derivados del impacto de gotas de lluvia o de la escorrentía superficial difusa. Es especialmente notoria la reptación discontinua y la reptación de bloques que producen una serie de terracillas. Este segmento se puede ver interrumpido por algún afloramiento discontinuo de arenisca (F1).

El segmento V3, más largo y de menor pendiente, tiene la mayor cobertura de coluviones, creciendo en espesor hacia abajo. Es el dominio de los procesos hídricos por salpicadura y por escorrentía superficial tanto difusa como concentrada. En la mayor parte de su recorrido lateral este segmento se encuentra abanclado. En la figura se ha representado el fondo de una incisión, probablemente iniciada en un deslizamiento superficial, que actúa ahora como cárcava. En el fondo de la incisión aparece un nuevo resalte rocoso (F2) menos enérgico que F1 debido a su menor dureza, y varios bloques caídos, quizá transportados por corrientes de densidad desde la coronación de la vertiente.

5.2. Materiales originarios y suelos en vertientes.

Los procesos de formación y evolución de una ladera descritos conducen en este caso a la superposición de materiales sobre el substrato terciario. Dado que los materiales aflorantes en la ladera son de litologías muy diferenciadas, es posible constatar fácilmente tanto la discontinuidad litológica resultante de la superposición como la mezcla de materiales, lo que confiere una gran heterogeneidad a los materiales originarios, aspecto importante en el estudio de la génesis de suelos en vertientes y que podría pasar desapercibido en aquellos casos en que la litología de la ladera fuese uniforme.

Como ejemplos de suelos en vertiente se ha seleccionado el pedión C-26-SU (Cuadros nº 26 y 27). En el Cuadro nº 2 se indican las relaciones establecidas entre la forma y los suelos en vertientes, encontrándose principalmente Torriorthents (Cuadro nº 28). La mineralogía del horizonte 2C, después de eliminados los carbonatos, viene caracterizada (estimación semicuantitativa) por un 80% de filosilicatos, un 17 % de cuarzo y un 3 % de feldespatos (Cuadro nº 14). Los filosilicatos (Cuadro nº 15) están integrados por illita (54 %), clorita (4 %) y esmectita (22 %) (Fig. 15). En relación con la mineralogía de arcillas de la lutita se observa un enriquecimiento en esmectita en el horizonte C, concordante con un aumento del mismo tipo en la capa acintada del horizonte petrocálcico en relación a su correspondiente horizonte A.

Cuadro nº 26.- Descripción macromorfológica del pedión C-26-SU

Pedión: C-26-SU

Coordenadas: 31T BF 973 998 210

Descripción: J. Porta y J. Herrero. (23-12-80)

Geomorfología

Tipo de superficie: Vertiente rectilínea.

Dinámica de la forma: Escoorrentía difusa y concentrada.

Acciones sobre la pendiente: Pastoreo.

Longitud de la pendiente: 25 m.

Pendiente general: 30%, local: 15%

Exposición: N.

Geología: Calcilutitas recubiertas por materiales detríticos.

Vegetación: Herbácea (*Lygeum spartum*), matorral (*Genista sp.*) y musgos y líquenes.

Utilización: pastoreo y caza.

Clasificación: Torriorthent xerico.

Término municipal: Sunyer.

Localización: Pista de IRYDA de Sunyer a Torres de Segre cerca del cruce con la carretera C-230

Escala: Dm.

Situación en la pendiente: Tercio inferior.

Morfología local: Area rectilínea.

Régimen hídrico: Sequía relativa por escasa pluviometría.

Drenaje: Bien drenado.

Nivel freático: Inaccesible.

Eflorescencias: No

00-05 cm A1 Elementos gruesos, menos del 5%, el más grande de 1 cm, redondeados, calizos. Húmedo. Estructura granular, de mediana a gruesa, fuerte. Consistencia friable. Materia orgánica bien incorporada. Fauna muy activa. Raíces abundantes, finas y medianas, vivas. Porosidad abundante. En estado de oxidación y bien aireado. Efervescencia al HCl alta. Límite neto. Epipedión ochrico.

05-30 cm A2 Elementos gruesos en un 30 %, los mayores de 10 cm, coluvionados de la plataforma superior. Húmedo. Estructura media en bloques subangulares que se deshacen en agregados cilíndricos, fruto de la actividad de la fauna. Consistencia friable. Materia orgánica bien incorporada. Fauna muy activa. Raíces frecuentes, finas, algunas medianas, vivas, con cierta tendencia a la horizontalidad. Porosidad abundante. En estado de oxidación, buena aireación. Efervescencia al HCl alta. Límite gradual. Epipedión ochrico.

30-100 cm 2C Calcilutita, muy poco consolidada en su parte superior. Algunas raíces, muy finas, vivas.

Cuadro nº 27.- Caracterización analítica del pedión C-26-SU.

Referencia	Horizonte	Profundidad cm	pH 1:2,5 H ₂ O	Mat. Org.	CaCO ₃ equiv. %
C-26-SU/1 /2	A1	00-30	8,4	2,7	44,7
	2C	30-100	8,0	0,5	32,5
Granulometría USDA			Clase Textural	Humedad a	
Arena %	Limo %	Arcilla %		33 kPa %	1500 kPa %
35,86 3,59	42,74 75,05	21,40 21,36	F FL	21,1 23,4	11,4 10,1
Elementos Pasta Saturada			C.E. extr. dS/m a 25°C	C.E. 1:5 dS/m a 25°C	pH pasta
Ca ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ meq/l				
33,50	77,74	-	12,50	0,10 1,29	- 8,60
Elementos de cambio (meq/100g)				C.I.C.	V
Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	meq/100g	%
0,16 3,43	0,05 0,02	18,42 3,53	1,07 2,58	19,7 9,56	100 100

6. ORIGEN Y FORMAS DEL YESO EN EL SUELO.

En el área meridional de Lleida los afloramientos de yeso no dan lugar a suelos desarrollados directamente sobre este material, ya que se trata de capas de escasa potencia. Resulta frecuente encontrar en lámina delgada cristales de yeso de tamaño microscópico mezclados con las lutitas, así como intercalaciones centimétricas de yeso fibroso en la mayoría de niveles lutíticos, pero no afloramientos de yeso. Si los materiales presentan diaclasas, grietas de retracción o fisuras de asentamiento, el yeso, que inicialmente se hallaría mezclado con el sedimento lutítico, emigra hacia estas discontinuidades por las que el agua ve favorecida su circulación y precipita (Julià & al. 1983). Forma unos enrejados típicos de filones de 2 a 4 cm de yeso, cuyos cristales fibrosos son perpendiculares a los planos de la diaclasa. En las laderas próximas al Clot de l'Om son frecuentes este tipo de afloramientos.

Dada la relativamente alta solubilidad del yeso (2.6 g/l a 25 °C), habrá una movilización del mismo en el paisaje, movilizado por el agua de escorrentía superficial o subsuperficial. En muchos casos se produce su precipitación en los fondos, con formación de yeso vermiforme en los suelos. Según la intensidad de este proceso de gypsificación pueden llegar a formarse horizontes gypsicos, dando lugar en algunos fondos a Xerochrepts gypsicos (Cuadro nº2), mientras que en otros casos se trata simplemente de Xerofluvents típicos (Cuadro nº29).

7. MOVILIZACION DE SALES SOLUBLES EN EL PAISAJE.

7.1. Procesos de salinización en seco.

En una zona de clima semiárido como la estudiada, los procesos de salinización suelen presentarse y de hecho han sido identificados, en posiciones geomorfológicas de fondo. Estas zonas bajas están flanqueadas por vertientes rectilíneas, mixtas o abancaladas, en las que el sustrato de calcilutitas suele estar muy próximo a la superficie del suelo. Los fondos, al igual que las partes basales de las laderas, reciben materiales detríticos transportados por la escorrentía superficial y sales disueltas en el agua de escorrentía superficial y subsuperficial. Esta movilización de sales da lugar a procesos de salinización de tipo continental secundario de los establecidos por Kovda.

El origen de las sales se halla en las formaciones lutíticas terciarias cuyas características granulométricas, niveles y tipos de salinidad se indican en el Cuadro nº 28. Estos materiales se comportan como centros de redistribución de salinidad, concepto introducido por Gaucher (1974). En algunos casos el catión salinizante es el magnesio y en otros el sodio, apreciándose una dominancia del magnesio en las muestras estudiadas. En lo referente a los aniones se trata tanto de cloruros como de sulfatos.

Cuadro nº 28.- Características de lutitas del área meridional de Lleida: Se observa su carácter limoso, riqueza en carbonatos y en sales solubles.

Muestra	Granulometría (%)					pH	CaCO ₃ %	Extracto de pasta saturada meq/l.							
	AG	AF	LG	LF	a			CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	Cl ⁻	2-	-	2-
	2000	200	50	20	2			dS/m a 25°C					CO ₃	HCO ₃	SO ₄
	200	50	20	2											
Albagés	0,70	1,03	29,68	57,40	11,20	8,6	52,3	10,59	15,87	74,24	28,83	80,0	0,0	1,4	37,54
Albagés-5	3,66	7,45	37,24	45,30	6,34	8,2	46,2	0,83	2,06	1,57	3,61	0,6	0,0	1,6	5,04
Juneda-2	0,41	2,41	22,35	65,40	9,46	8,1	13,3	0,72	2,07	3,34	1,32	4,5	0,0	1,4	0,83
Juneda-3	2,11	2,82	43,00	48,16	3,92	8,3	14,7	1,62	8,21	8,36	2,61	10,6	0,0	0,9	7,68
Castellidans	0,09	0,32	31,80	67,55	0,54	8,4	4,7	9,45	13,24	26,89	46,80	21,5	0,0	1,6	63,83
Sunyer						8,7	33,6	44,16	101,74	148,10	208,0	282,5	0,0	3,5	149,02
Sunyer						9,4	30,4	9,73	35,91	50,49	26,86	32,13	0,0	4,3	72,20
Sunyer						9,2	17,2	30,06	43,92	68,88	191,3	212,0	0,0	4,6	93,1

7.2. Suelos en posiciones de fondo.

En el apartado 2.2.e se han establecido las unidades de suelos que ocupan los fondos (Cuadro nº2). Se incluyen aquí algunas descripciones de suelos representativos (Cuadro nº 29 a 32). En los Cuadros nº 14 y 15 se recogen los resultados semicuantitativos referentes a la mineralogía de un suelo situado en una posición de fondo (El Clot de l'Om). Se observa un predominio de filosilicatos y una gran uniformidad mineralógica a lo largo del perfil. Las illitas son las arcillas dominantes con un 60%, seguidas de las esmectitas (10%) y las cloritas (5%).

Cuadro nº 29.- Descripción macromorfológica del pedión C-23-SU

Pedión: C-23-SU	Término municipal: SUNYER
Coordenadas: 31T BG 984 018 156	Localización: Clot de l'Om
Descripción: J. Porta y J. Herrero (29-12-80)	
Geomorfología	Escala: Dm.
Tipo de superficie: Fondo de valle en cuna.	Situación en la pendiente: Parte inferior
Dinámica de la forma: Aporte aluvial y coluvial.	Morfología local: Are rectilínea, ligeramente deprimida
Acciones sobre la pendiente: Cultivo	Régimen hídrico: Sequía relativa , régimen ascensional
Longitud de la pendiente: 800 m	Drenaje: Bien drenado.
Pendiente general: 1%, local: 1%	Nivel freático: Inaccesible (>220 cm).
	Eflorescencias: Abundantes. En las proximidades sondeo artesiano con agua salina.

Geología: Aportes aluviales y coluviales recientes hacia una zona deprimida sin drenaje natural.

Vegetación: De no cultivarse se instalaría un *Suadetum*.

Utilización: Cultivo de cereal con problemas de salinidad. Sin evidencia de erosión.

Clasificación: Xerofluvent típico (S.S.S. 1975, 1987).

00-25 cm Ap Sin elementos gruesos. Húmedo. Estructura moderada en bloques subangulares de tamaño medio. En superficie, estructura pulverulenta, destruida por el exceso de sales. Consistencia friable. Materia orgánica bien incorporada. Fauna activa. Sin raíces. Poroso. En estado de oxidación. Efervescencia al HCl alta. Ausencia de grietas. Límite neto por cultivo. Epipedión ochrico.

25-100 cm B_{wy} Color en húmedo 7.5 YR 5/4. Sin manchas. Elementos gruesos frecuentes, gravas, forma esférico-subangular, no orientados, fragmentos de costra caliza no alterados. Estructura primaria muy débilmente desarrollada, en bloques subangulares finos. Consistencia muy friable. Muy poca materia orgánica, bien incorporada. Actividad de la fauna muy intensa. Raíces frecuentes, finas y muy finas, sin orientación definida, distribución regular, vivas. Poroso. Efervescencia al HCl fuerte, generalizada. Yeso vermiforme, frecuente. Límite inferior neto, plano.

100-130 cm B_w Se diferencia del anterior en la ausencia de yeso vermiforme. Límite gradual.

130-220 cm C Sin elementos gruesos. Húmedo. Estructura maciza. Sin raíces. Actividad de la fauna muy débil. Porosidad escasa

Cuadro nº 30.- Caracterización analítica del pedión C-23-SU.

Referència	Horitzó	Profunditat cm.	COLOR MUNSELL	pH		S. sol. ppm		CE 1:5 mmho/cm a 25°C	Mat. Org. %
				H ₂ O 1:2,5					
C-23-SU/1	A _p	00-05	10 YR 5/6	8,72		0,42		5,10	0,55
/2	A _p	05-25	7,5 YR 6/8	8,44		0,27		4,00	0,55
/3	B	25-45	7,5 YR 4/6	8,35		0,26		2,40	
/4	B	45-65	10 YR 4/6	8,66		0,32		2,23	
/5	B	65-85	7,5 YR 4/6	8,51		0,36		2,45	
/6	B	85-100	7,5 YR 4,5/6	8,77		0,33		2,50	
/7	B	100-120	7,5 YR 4/6	8,71		0,30		2,19	
/8	C	120-140	10 YR 4/6	8,74		0,28		2,01	
/9		200-220	10 YR 4,5/6	8,84		0,27		1,42	

GRANULOMETRIA %							TOTAL			Clase Textural	
Arena Gruixuda 2,0 0,5	Arena Gruixuda 2,0 0,2	Arena Fina 0,20 0,05	Arena Fina 0,2 0,02	Llim Gruixut 0,05 0,02	Llim Fi 0,02 0,002	Argila 0,002	Arena %	Llim %	Argila %		
0,42						17,12	27,34	55,54	17,12	FL	
0,73						21,35	26,46	52,19	21,35	FL	
0,51						12,70	35,32	51,98	12,70	FL	
1,34						13,50	37,29	49,21	13,50	F	
-						-	-	-	-	-	
-						-	-	-	-	-	
-						-	-	-	-	-	
0,83						19,84	22,94	57,22	19,84	FL	
0,20						23,18	24,55	52,57	23,18	FL	

CALCÀRIA %		EXTRACTO DE PASTA SATURADA					HUMITAT A			FERTILITAT	
Total	Activa	Ca ++ meq/l	Mg ++ meq/l	Na + meq/l	CE mmhos/ cm a 25° C	% Hs	bars	15 bars		P ppm	K ppm
27,1		61,7	222,0	510,0	50,62	33,6				60,8	204,0
27,5		54,5	129,3	400,0	39,02	36,0				15,2	147,0
25,1		50,6	116,0	322,0	33,52	32,3				0,7	84,9
22,8		29,0	19,9	247,8	14,6	32,3					
22,1		36,7	85,8	326,1	29,30	31,5					
22,0		32,6	80,9	197,8	22,51	32,4					
20,3		35,1	100,5	267,4	25,14	33,9					
26,7		34,4	77,3	206,5	21,53	36,0					
25,8		32,1	55,2	113,0	14,55	34,8					

Cuadro nº 31.- Descripción macromorfológica del pedión C-29-TS.

Pedión: C-29-TS

Coordenadas: 31T BF 965 980 156

Descripción: J. Porta y J. Herrero (27-12-80)

Geomorfología

Tipo de superficie: Fondo de valle plano.

Dinámica de la forma: Depósito de finos

Acciones sobre la pendiente: Ligero abancalamiento.

Longitud de la pendiente: 4000 m

Pendiente general: 1% **local:** 1%

Término municipal: Torres de Segre

Localización: Vall de Secà, al W de la C-230

Escala: Km.

Situación en la pendiente: En el centro de la forma

Morfología local: Are rectilínea.

Régimen hídrico: Ascensional

Drenaje: Moderado. Capa freática circulante

Nivel freático: 225 cm. Prueba de cloruros positiva

Eflorescencias: Sí.

Geología: Depósitos recientes de la llanura aluvial del Secà. Favorecido por el abancalamiento.

Vegetación: *Suaeda brevifolia* en condiciones muy precarias, por el cultivo.

Utilización: Cultivo de cereal en barbecho. Sin problemas de erosión. Encharcamiento temporal.

Clasificación: Xerofluvent típico (S.S.S. 1975, 1987).

00-22 cm Ap Elementos gruesos en menos de 2% más pequeños de 1 cm. Húmedo. Estructura moderada, en bloques subangulares. Consistencia friable. Materia orgánica bien incorporada. Fauna no aparente. Muy pocas raíces, finas y muy finas, vivas. En estado de oxidación. Efervescencia al HCl fuerte, generalizada. Límite neto. epipedión ochrico.

22-120 cm B_{wy} Elementos gruesos, menos del 5%, menores de 1 cm, angulosos. Húmedo. Estructura en bloques subangulares. consistencia friable. Materia orgánica escasa. Fauna no aparente. No hay raíces. Poroso. En estado de oxidación. Yeso vermiforme frecuente. Límite difuso. Endopedión cámbico.

120-250 cm C Se diferencia del anterior por la ausencia de yeso vermiforme.

Cuadro nº 32.- Caracterización analítica del pedión C-29-SU

Referència	Horitzó	Profunditat cm.	COLOR MUNSELL	pH		C Org. %	Mat. Org. %	N %	C/N
				H ₂ O 1:2,5					
C-29-TS/1	A _p	00-22		7,5		0,6	1,1		
/2	B	22-42		7,6		0,4	0,6		
/3	B	42-65		8,1		0,4	0,6		
/4	B	80-100		8,1		0,4	0,6		
/5	C	180-205		8,1		0,2	0,4		

GRANULOMETRIA %							TOTAL			Clase Textural	
Arena Gruixuda 2,0 0,5	Arena Gruixuda 2,0 0,2	Arena Fina 0,20 0,05	Arena Fina 0,2 0,02	Uim Gruixut 0,05 0,02	Llim Fi 0,02 0,002	Argila 0,002	Arena %	Llim %	Argila %		
3,21						23,32	35,25	41,43	23,32	F	
0,42						22,38	37,37	40,25	22,38	F	
1,59						27,85	23,77	48,38	27,85	Fa	
0,43						36,32	6,87	56,81	36,32	FaL	
2,86						20,96	48,35	30,69	20,96	F	

CALCARIA %		EXTRACTO DE PASTA SATURADA					HUMITAT A		pH pasta	FERTILITAT	
Total	Activa	Ca ++ meq/l	Mg ++ meq/l	Na + meq/l	CE mmhos/ cm a 25 ° C	% Hs	bars	15 bars		P ppm	K ppm
30,49		47,56	244,9	191,74	28,90	31,5			8,43	20,5	
27,90		46,44	156,9	165,2	27,10	33,1			8,14		
27,92		25,69	85,0	80,43	18,72	35,2			8,64		
27,28		34,83	117,6	120,43	18,53	47,3			8,65		
26,47		33,22	98,4	86,30	14,11	29,7			8,53		

B sol ppm	yooo %	ELEMENTS					SAR	CIC meq./100g	V %	Sals Solubles g/l	CE mmhos/cm a 25 ° C 15
		Na +	K +	Ca ++	Mg ++						
0,46	1,8						15,86				3,69
0,41	2,3						16,38				2,72
0,43	1,6						8,72				2,36
0,49	1,7						13,79				2,45
0,45							10,63				1,47

7.3. Variabilidad espacio-temporal de la salinidad en condiciones de secano.

Debido a su solubilidad, las sales en un suelo se distribuyen irregularmente, tanto en vertical ("perfil salino") como en horizontal, observables a menudo a simple vista.

Además esta distribución espacial varía con el tiempo, estacionalmente, y con ciclos más largos. Bajo cultivo, esta distribución y variación está influida por el manejo, e interesa conocerla para modificarla en favor de la agricultura. En cualquier caso una caracterización de la salinidad, como de otras propiedades de un suelo, requiere conocer esta distribución. En el caso de la salinidad este conocimiento es un requisito para emprender su seguimiento.

Los análisis destructivos, basados en muestreos distribuidos a lo largo y ancho del territorio y repetidos en el tiempo, toman en consideración un volumen pequeño, resultan caros y requieren esperas considerables hasta disponer de los resultados de laboratorio. Por ello se han ensayado métodos alternativos no destructivos que se basan en medidas directas de campo, tales como la sonda de cuatro electrodos, los sensores electromagnéticos (SEM), entre otros. Las ventajas e inconvenientes de cada uno de estos métodos de medida han sido discutidos por Aragües & al. (1985).

a. Medidas de SEM en suelos de secano.

La utilización del SEM exige que el suelo se halle en unas condiciones de humedad determinadas que se suelen fijar en el contenido de humedad que corresponde a un potencial de -33kPa; en condiciones de regadío este estado es fácilmente alcanzable después de un riego. En secano resultan mucho menos controlables las condiciones en que se realizan las medidas de SEM, debiendo esperar a que llueva para poder tener el suelo en unas condiciones de humedad adecuadas para las lecturas y repetibles en el tiempo. La realización de medidas de SEM y de perfil hídrico complicaría grandemente la manera de proceder, dejando de ser la determinación un análisis no destructivo.

Se han realizado medidas en una parcela afectada por salinidad, con el fin de establecer las correlaciones entre las medidas de SEM y los resultados de la conductividad eléctrica ponderada dentro de un espesor de suelo determinado, ya sean de prueba previa (1:5) o bien de extracto de pasta saturada. Estas correlaciones deben permitir evaluar la calidad de las medidas de SEM y, de ser aceptables, servirán para calibrar el sensor electromagnético para futuras medidas de seguimiento de la salinidad en la misma parcela. En la parcela en estudio se han realizado lecturas de SEM en posiciones vertical y horizontal, en puntos distribuidos sobre una malla de 20 metros de lado. En 17 de dichos puntos se tomaron muestras con una barrena manual tipo Edelman cada 25 cm de profundidad hasta 100 cm. En cada una de las muestras tomadas se determinó la C.E. en extracto 1:5 y en 27 de ellas también en extracto de pasta saturada. El muestreo se realizó en Abril de 1989 después de un período de lluvia.

El suelo ocupa una posición de fondo, se trata de un Xerofluvent típico (Cuadro nº 29). Contiene hasta un 3% de yeso y la salinidad se caracteriza por el predominio de sodio. Habitualmente se cultiva cebada, alternandola con años de barbecho, como en 1989, debido a la salinidad y a la sequía .

b. Tratamiento de las medidas: Geoestadística.

El método aplicado consiste en considerar la salinidad como una variable regionalizada $Z(\underline{x})$, caracterizar su correlación espacial y aprovechando este conocimiento construir posteriormente un estimador, para la interpolación espacial, $Z^*(\underline{x})$, que tenga determinadas propiedades. Estas son las siguientes :

- que sea exacto, es decir, que en los puntos de medida dé los valores obtenidos experimentalmente.
- que sea lineal: $Z^*(\underline{x}_0) = \sum_i b_i Z_i$ donde $\underline{x}_0$ es el punto donde interpolar y $Z_i = Z(\underline{x}_i)$ son los valores de las medidas en los puntos de muestreo.
- que sea insesgado: $E[Z^*] = E[Z]$.
- que tenga varianza de estimación mínima: $E[(Z^* - Z)^2]$ mínima.

Una variable regionalizada $Z(\underline{x})$, que represente el proceso natural a estudiar, supone que este tipo de variables/procesos tienen una componente determinista y otra aleatoria en su comportamiento. El comportamiento aleatorio puede venir, por ejemplo, de los errores de medida en las muestras.

La caracterización de la correlación se hace mediante el momento estadístico de segundo orden conocido como semivariograma :

$$G(\underline{x}, \underline{h}) = 1/2 E[(Z(\underline{x}) - Z(\underline{x} + \underline{h}))^2]$$

que relaciona el valor de un dato en un punto $\underline{x}$ con el del punto $\underline{x} + \underline{h}$. Bajo ciertas hipótesis sobre la variable regionalizada en estudio, estacionariedad, función intrínseca etc., se demuestra que la función semivariograma sólo depende del vector distancia $\underline{h}$ entre los puntos :

$$G(\underline{x}, \underline{h}) = G(\underline{h})$$

con lo cual se obtiene la correlación entre pares de valores de la variable que estén a una misma distancia $\underline{h}$, independientemente de cuáles sean sus valores concretos. El semivariograma depende de cuál sea el valor del vector $\underline{h}$, con lo cual es una función direccional, obteniéndose así información de posibles anisotropías del fenómeno. No obstante, a la hora de interpolar suele utilizarse un semivariograma promediado a todo el plano , pues no suele haber suficientes datos para interpolar direccionalmente. El semivariograma verdadero no se puede calcular directamente, ya que esto conllevaría el conocimiento de $Z(\underline{x})$ en todos los

puntos y, normalmente, sólo se conocen sus valores en un número finito de puntos de muestreo. Por todo ello, se debe estimar el semivariograma verdadero, a partir de su valor muestral :

$$G(h) = 1/2n \cdot \sum_i [(Z(x_i) - Z(x_i + h))^2]$$

Una vez calculado el semivariograma muestral, mediante comparación con los posibles modelos teóricos existentes se estima qué modelo o combinación de modelos y qué valores de los parámetros son los que más se ajustan al muestral. Estimado el semivariograma se obtienen, imponiendo las condiciones antes citadas al interpolador espacial, los coeficientes b_i que nos darán el valor interpolado en el punto x_0 escogido.

Un resultado interesante del cálculo es que , aparte del valor interpolado en el punto, se obtiene también la varianza de estimación, la cual da una idea del error que se está cometiendo al interpolar. Suponiendo que la distribución de errores sea de tipo gaussiano $Z(x_0)$ estará en un intervalo :

$$Z(x_0) = \sum_i b_i Z_i \pm 2\sigma$$

con un 95% de confianza.

El cálculo de los semivariogramas muestrales se ha llevado a cabo no sólo promediando a todo el plano, semivariograma muestral medio, sino también en las direcciones de 0, 45, 90, y 135 grados con respecto al eje de coordenadas de la Fig . 23.

La estimación de los semivariogramas reales medios se ha realizado con el programa VALIDA desarrollado por Samper y Neuman en la Universidad de Arizona. En ambos casos se ha ajustado un semivariograma de tipo esférico . Este modelo mejora en ambos casos los criterios de información respecto a otros, como podrían ser la combinación de un esférico con un efecto pepita puro por ejemplo. El proceso de validación cruzada se ha realizado combinándolo con el método de la máxima verosimilitud.

Para interpolar entre los puntos se ha empleado el krigado puntual; debido a que los datos se hallaban sobre una malla de 20 x 20 metros, se ha interpolado sobre una rejilla más densa superpuesta a la anterior, con distancias internodales de 5 metros, interpolando así mismo en los bordes de la zona muestreada.

El krigado puntual se llevó a cabo con la ayuda del programa GEOS desarrollado por los autores antes citados. Debido a la existencia de una deriva a grandes distancias en la dirección perpendicular al eje X de coordenadas, el cálculo se efectuó usando sólo datos en un entorno local ,100 metros, de cada punto de estimación. Los ficheros de resultados han sido introducidos en un programa de dibujo automático para PC y dibujados con impresora.

Los mapas de SEM horizontal y el de su desviación típica han sido dibujados sin suavización de líneas; en el caso del SEM vertical sí que lo han sido, usando el método de los splines.

Se ha dibujado asimismo el mapa de distribución de salinidad (C.E 1:5) en base a la correlación entre la lectura de SEM horizontal y valores de C.E 1:5.

c. Estudios de correlación.

Las medidas de conductividades eléctricas en extracto 1:5 y en extracto de pasta saturada se han correlacionado obteniéndose la ecuación y gráfica correspondientes (Fig. 16).

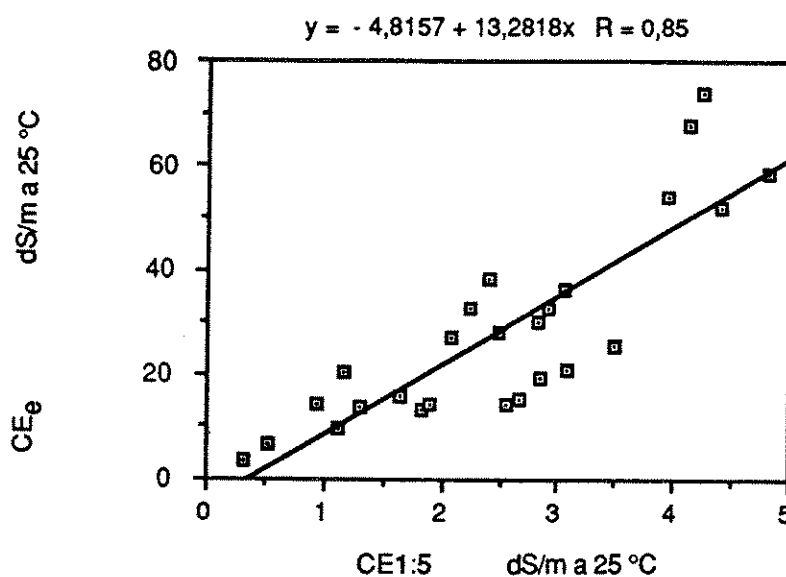


Fig. 16.- Correlación entre la CEe y la CE 1:5.

Las correlaciones C.E.1:5 con las medidas del SEM se han establecido a través de la media ponderada. Las ecuaciones y gráficas correspondientes aparecen en las Fig. 17 y 18.

CE 1:5 Media ponderada dS/m a 25 °C

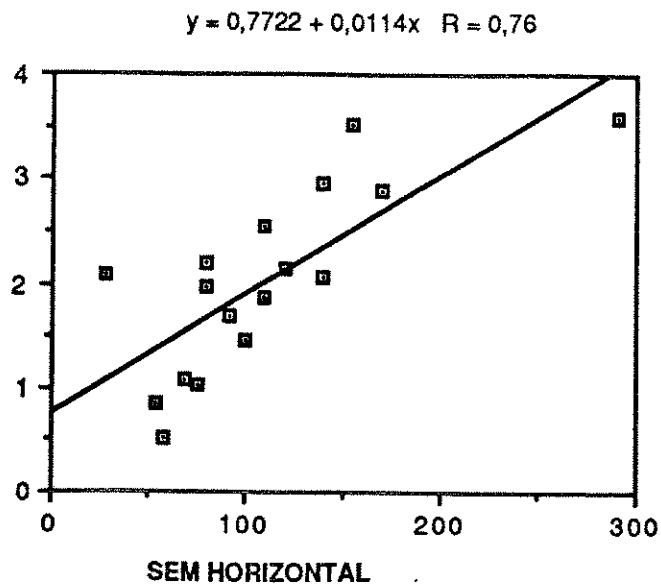


Fig 17.- Correlación entre la media ponderada, hasta 1 m de la CE 1:5 y el SEM horizontal.

CE 1:5 Media ponderada dS/m a 25 °C

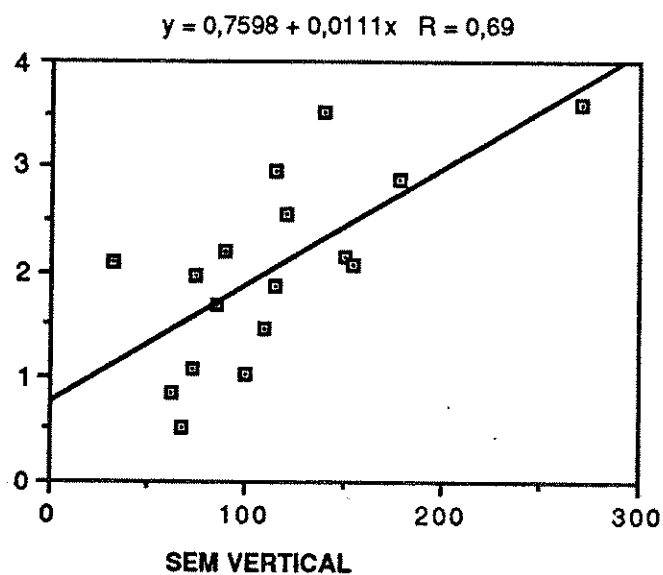


Fig. 18.- Correlación entre la media ponderada, hasta 1 m , de la CE 1:5 y el SEM vertical.

d. Semivariogramas.

Los semivariogramas muestrales se recogen en las Fig. 19a y 20a. En ambos casos existe una deriva a grandes distancias, es decir el valor medio de la variable no es constante, en la dirección perpendicular al eje X, con lo cual la variable regionalizada, SEM horizontal y vertical en este caso, sería no intrínseca. En las Fig. 19b y 20b, se pueden ver los semivariogramas direccionales anteriores después de haberles filtrado una deriva lineal. Los semivariogramas muestrales medios y los reales estimados a partir de ellos se pueden ver en las Fig. 21 y 22.

Para el SEM horizontal, los parámetros del semivariograma obtenidos son : alcance = 76.33 m, meseta = 2105.4. Para el vertical los valores son: alcance = 85.61m, meseta= 1782.1.

Los coeficientes de correlación entre los datos y sus correspondientes valores krigeados en el proceso de validación cruzada son de 0.848 y 0.851 respectivamente.

e. Krigado puntual

Debido a la presencia de la deriva lineal antes mencionada se ha decidido hacer el krigado puntual usando solamente los datos que están en un entorno de 100 metros del punto donde interpolar, se puede suponer así que la variable es cuasi-estacionaria y aplicar las ecuaciones normales del krigado puntual ordinario. Los mapas obtenidos pueden verse en las Fig. 23 y 24, SEM horizontal y desviación típica asociada; Fig. 25 y 26 ,SEM vertical y desviación asociada; la Fig. 27 presenta el mapa de salinidad en extracto 1:5.

f. Discusión: Aplicación de la geoestadística al seguimiento de las variaciones de salinidad.

Las correlaciones encontradas entre las lecturas SEM/C.E. 1:5 parecen suficientes para posibilitar un seguimiento de la salinidad a partir de las medidas realizadas por el SEM. El empleo de una correlación SEM/CEE en este caso produciría desviaciones tales que podrían enmascarar las variaciones reales de la salinidad. La falta de una mejor correlación entre SEM/C.E. 1:5 hay que buscarla en :

- el volumen muestreado manualmente es muy distinto del volumen sobre el que se mide el SEM, por lo que cabe esperar alguna desviación.

- la respuesta del SEM a la salinidad del suelo es compleja y depende para un mismo suelo entre otras cosas de la distribución de salinidad, de la humedad y de la temperatura.

- la heterogeneidad en el modelo de distribución de salinidad; estudiando las determinaciones C.E.1:5 se observa que al lado de alguna distribución normal existen numerosos perfiles invertidos.

Las correlaciones C.E.e/C.E.1:5 deben considerarse aceptables debido a la presencia de yeso. Además el yeso no está uniformemente distribuido en todos los puntos, sino que se concentra a determinadas profundidades (horizonte Bwy, Cuadro nº 29).

Los semivariogramas muestrales obtenidos (Fig.19a y 20a) indican anisotropía según las direcciones de muestreo y también la existencia de una deriva lineal. Se ha tomado un semivariograma medio ,obtenido por estimación del muestral promediado a todo el plano, como la mejor solución para el volumen de datos disponible; otra densidad de muestreo y la existencia de más puntos separados a grandes distancias hubieran permitido conocer la importancia de la deriva y ajustar semivariogramas reales a los muestrales en las direcciones N-S y E-O.

Cara a realizar nuevas medidas de seguimiento de la salinidad puede considerarse que el intervalo obtenido con el SEM horizontal puede utilizarse como nodos de la futura red de muestreo con el SEM horizontal. Supuesto el semivariograma constante en el tiempo, puesto que las propiedades que controlan la distribución de la salinidad (porosidad, textura, mineralogía, etc), son escasamente variables en el tiempo, la técnica de kriging puntual parece prometedora para abordar problemas de índole aplicada.

El mapa de distribución de la salinidad (Fig. 27) pone de relieve elevados gradientes en la parcela y la dificultad de obtener áreas homogéneas dentro de la misma. La realización de ensayos de respuesta de las plantas a diversos factores (dosis de riego, fertilización, etc) en suelos similares al estudiado exigen diseños experimentales y técnicas de seguimiento no convencionales; concretamente el estudio de la técnica adecuada para medir la relación producción-distribución de la salinidad es uno de los problemas a resolver, ya que podría ser abordado de modo similar a como aquí se expone.

En los mapas de desviación típica de estimación (Fig. 24 y 26) se observa un diseño muy regular debido a que los datos están en una rejilla regular y, en sus posiciones, al ser exacto el método de interpolación no existe incertidumbre alguna en el valor de la variable. Es precisamente el hecho de poder cartografiar no sólo la variable, sino también el error de interpolación, una de las ventajas del método geoestadístico respecto a otros. Los mapas correspondientes a las dos desviaciones típicas presentan una notable similitud. Ambos mapas presentan una serie de estructuras regulares concéntricas. El centro de cada estructura del mapa corresponde a un punto de medida, la desviación típica de estimación en esos puntos es 0 ,conforme nos alejamos de ellos la desviación típica de estimación aumenta. En el punto A de cada mapa no hubo medida, por lo que no existe la estructura. El lado derecho del mapa corresponde a una zona sin datos y en él las varianzas de estimación, a la par que aumentan, presentan una estructura irregular.

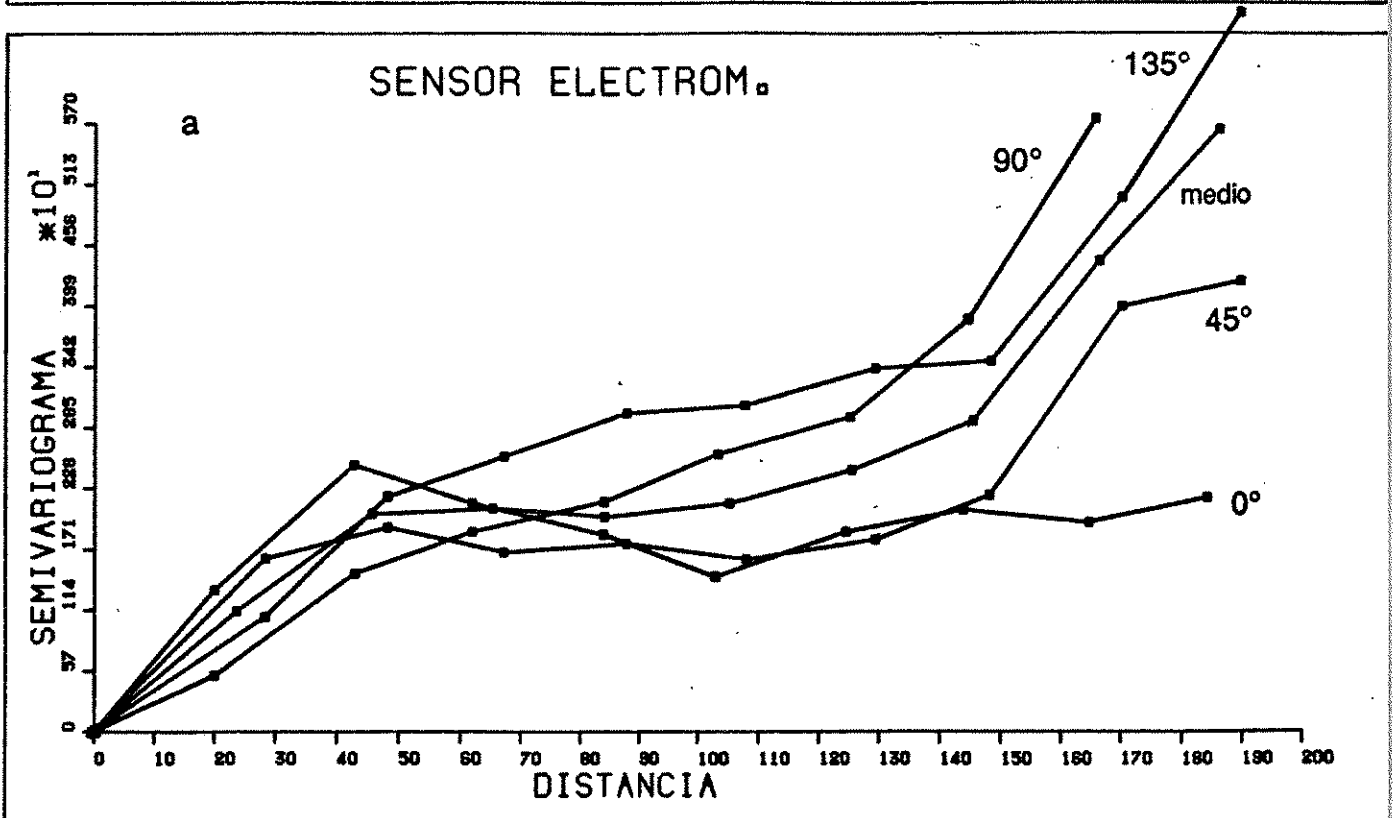
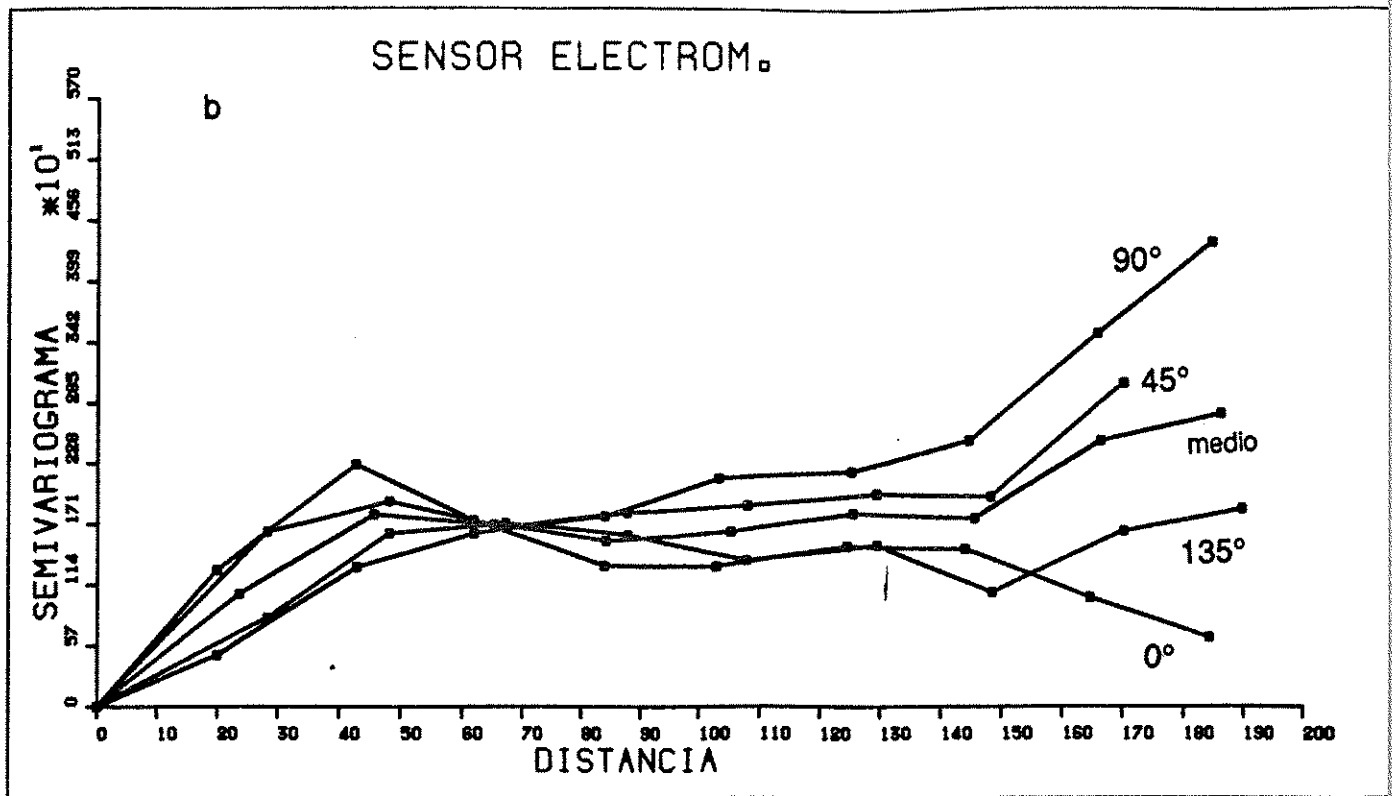


Fig 19.- Semiovariogramas muestrales direccionales del SEM horizontal
a) sin filtrado de deriva
b) después de filtrar una deriva lineal

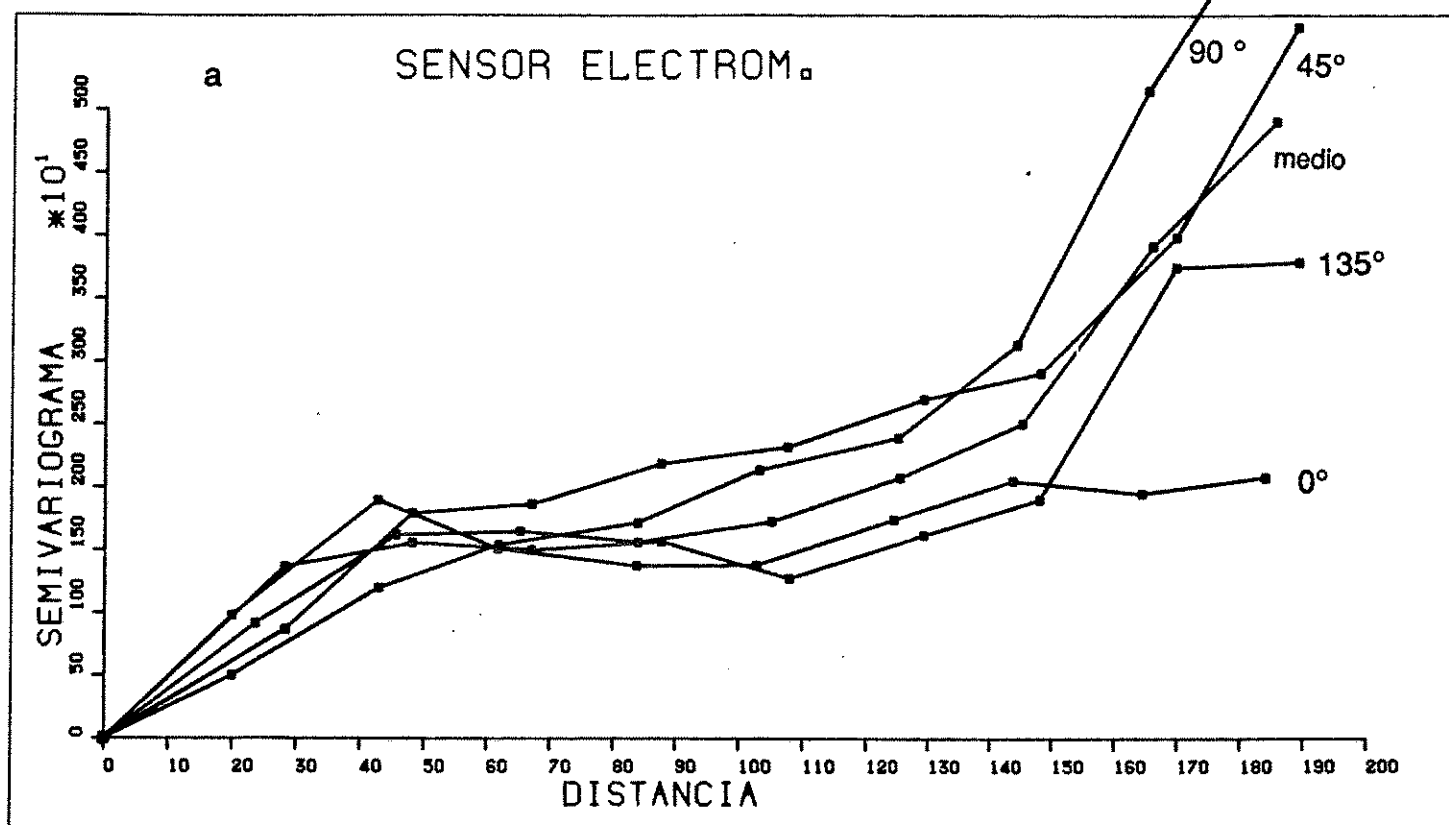
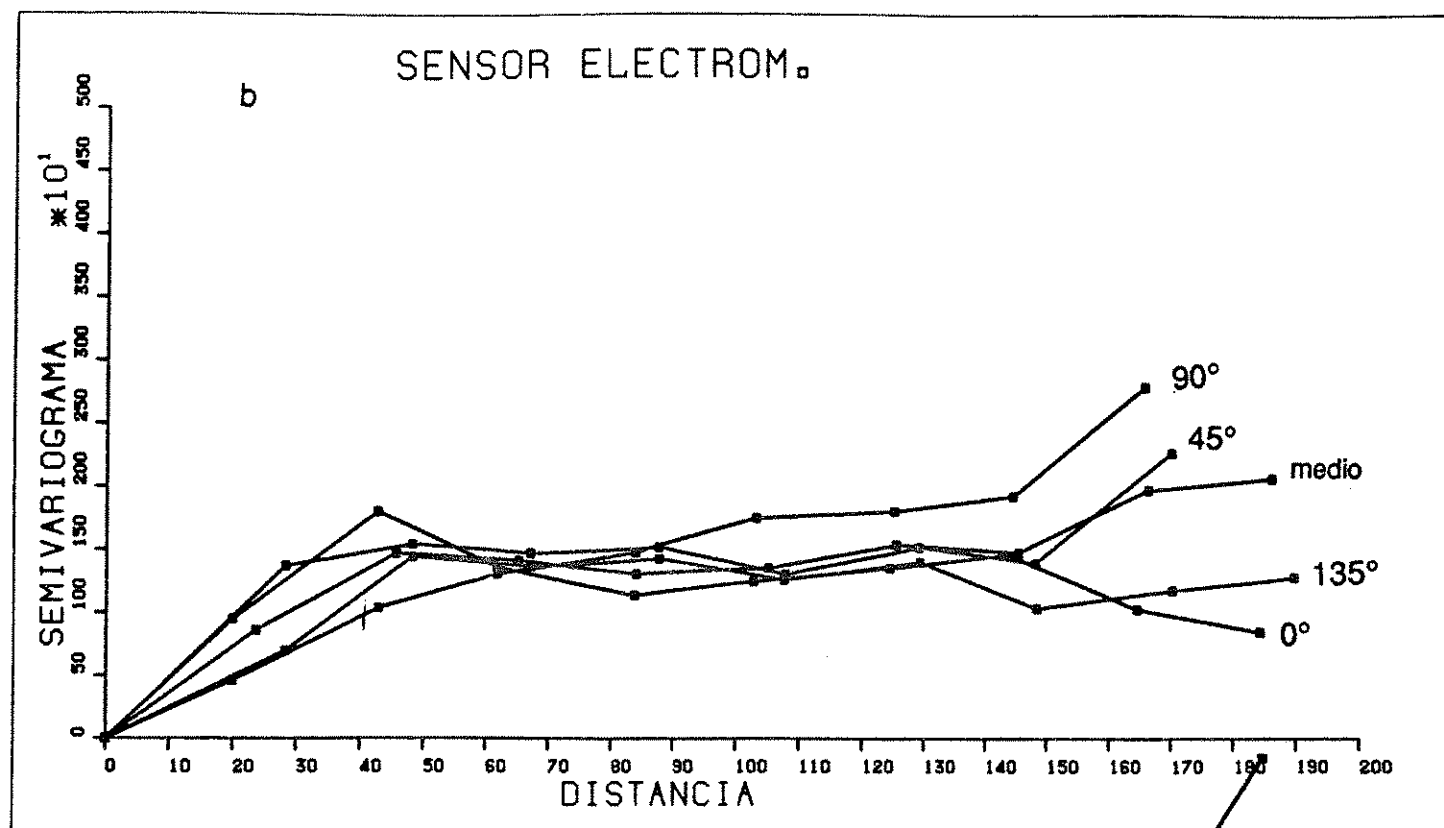


Fig. 20.- Semivariogramas muestrales direccionales del SEM vertical
 a) sin filtro de deriva
 b) después de filtrar una deriva lineal

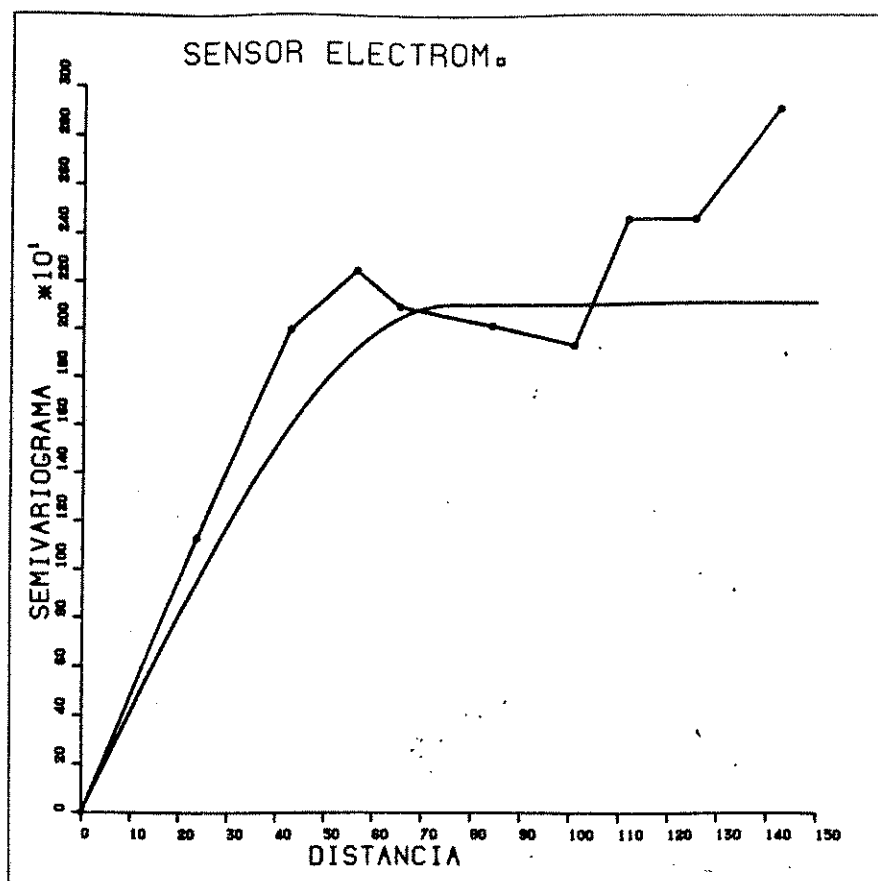


Fig. 21.- Semivariogramas estimado y muestral medio para el SEM horizontal. Modelo esférico, alcance= 76.33 m, meseta = 2105.4

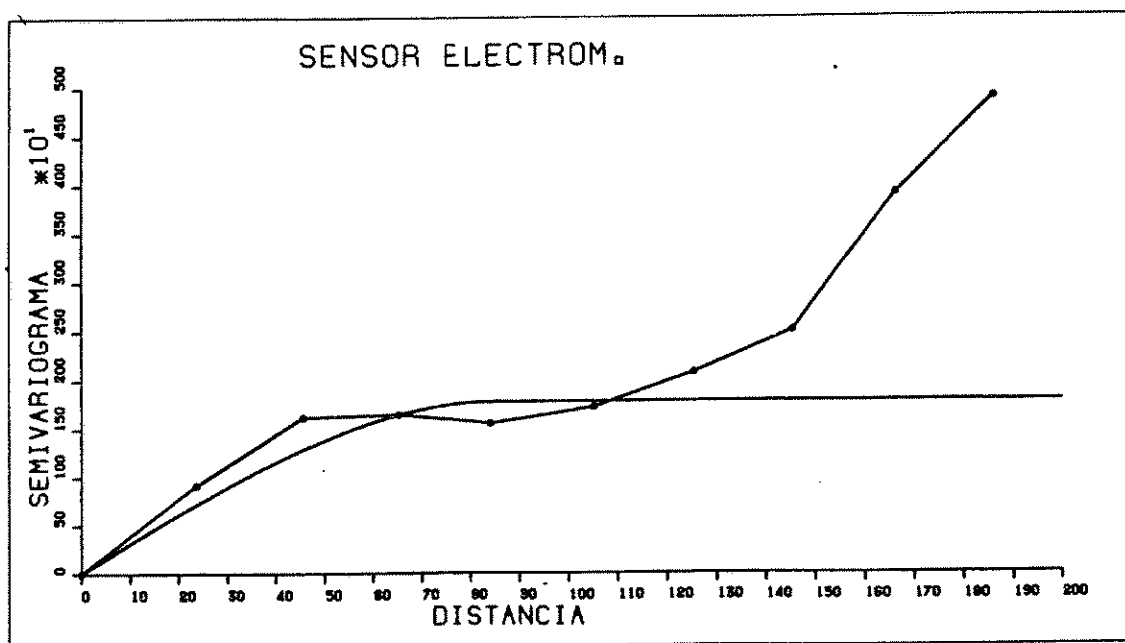


Fig. 22.- Semivariogramas estimado y muestral medio para el SEM vertical. Modelo esférico, alcance=85.61m, meseta= 1782.1.

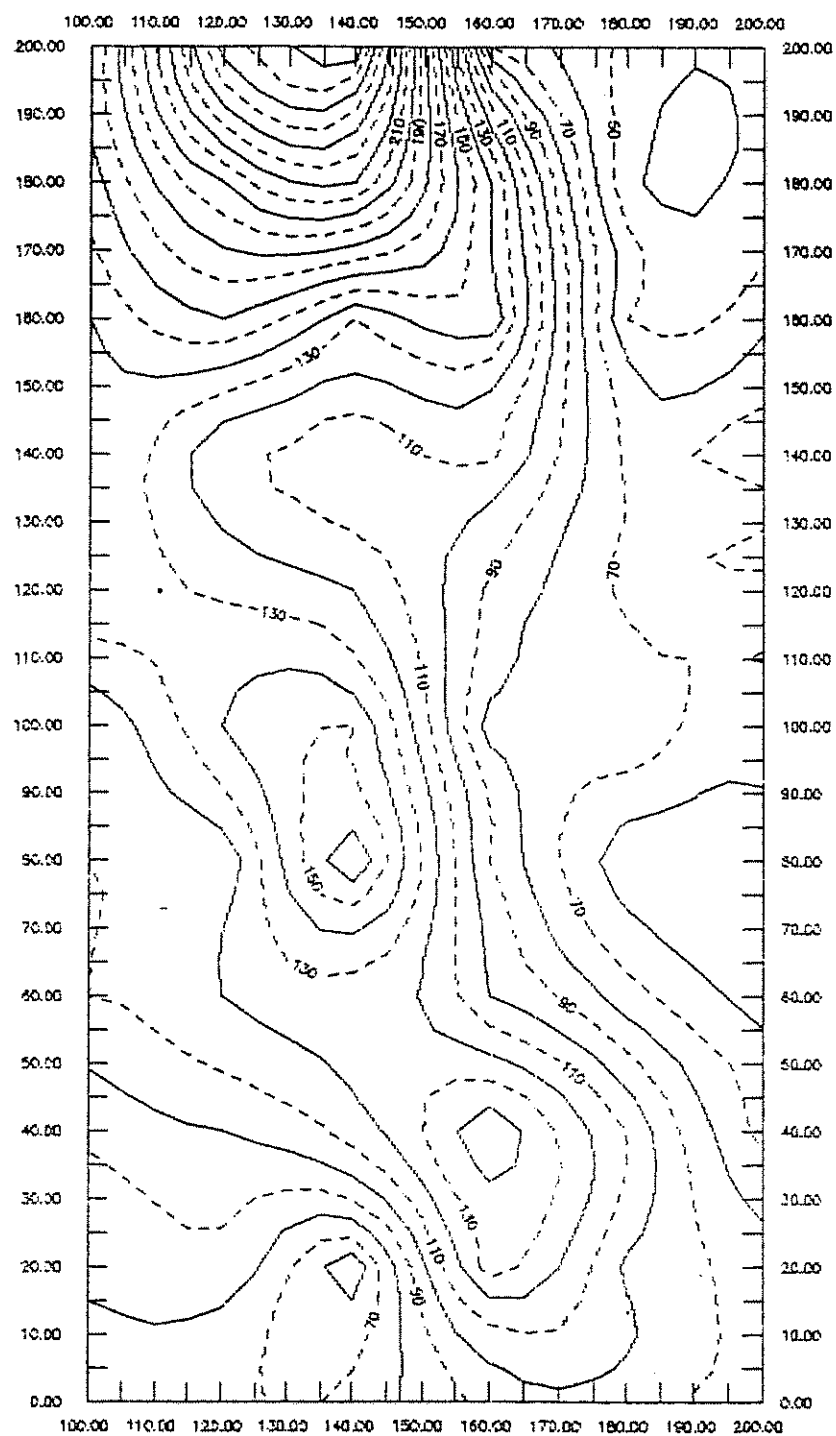


Fig. 23.-Mapa de distribución de las medidas del SEM horizontal obtenidas por krigeado puntual (sin smooth).

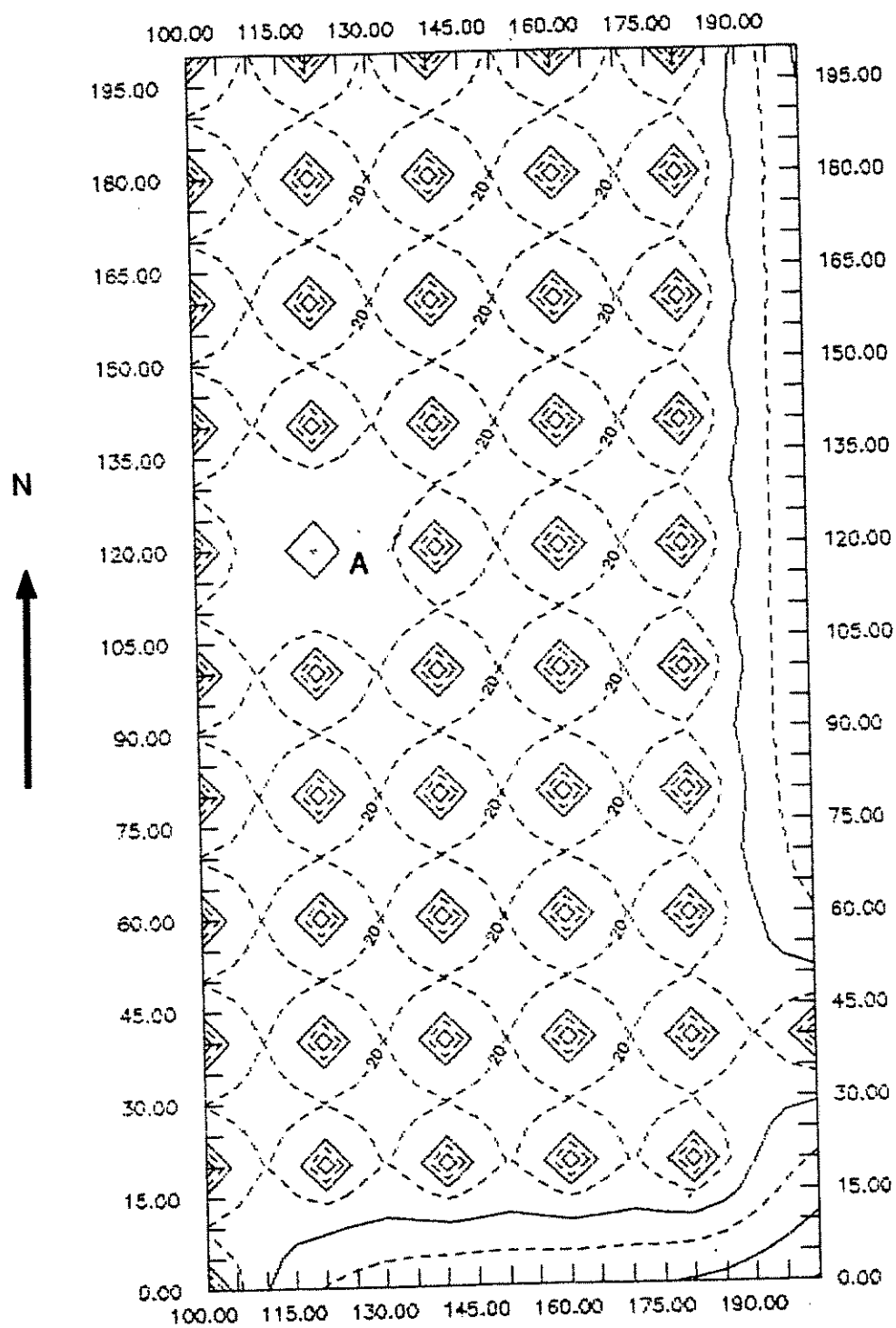


Fig. 24.- Mapa de la desviación de estimación del SEM horizontal (sin smooth). A=Pozo.

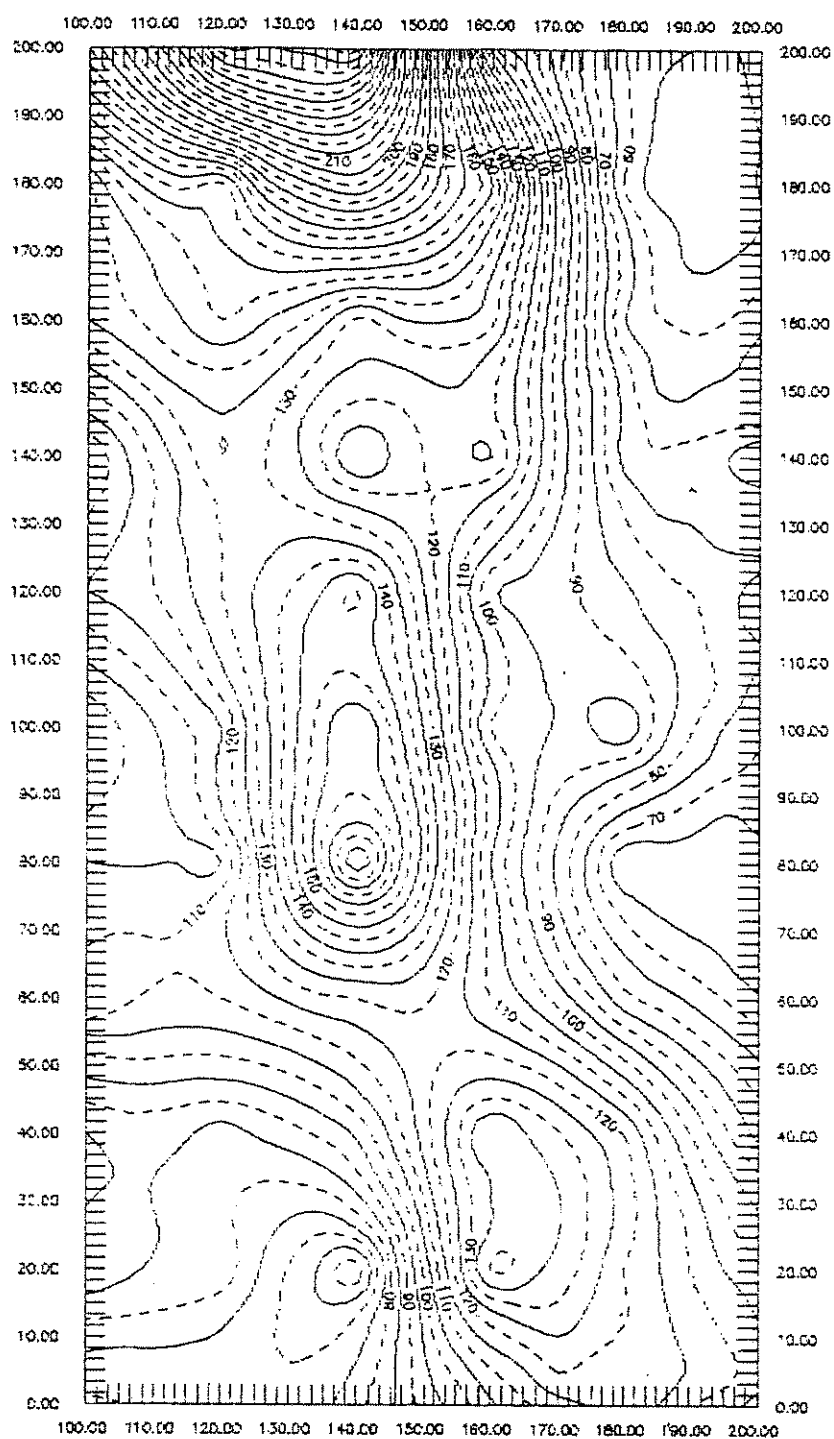


Fig. 25.- Mapa de distribución de las medidas del SEM vertical obtenidas por krigiado puntual (con smooth, método de splines).

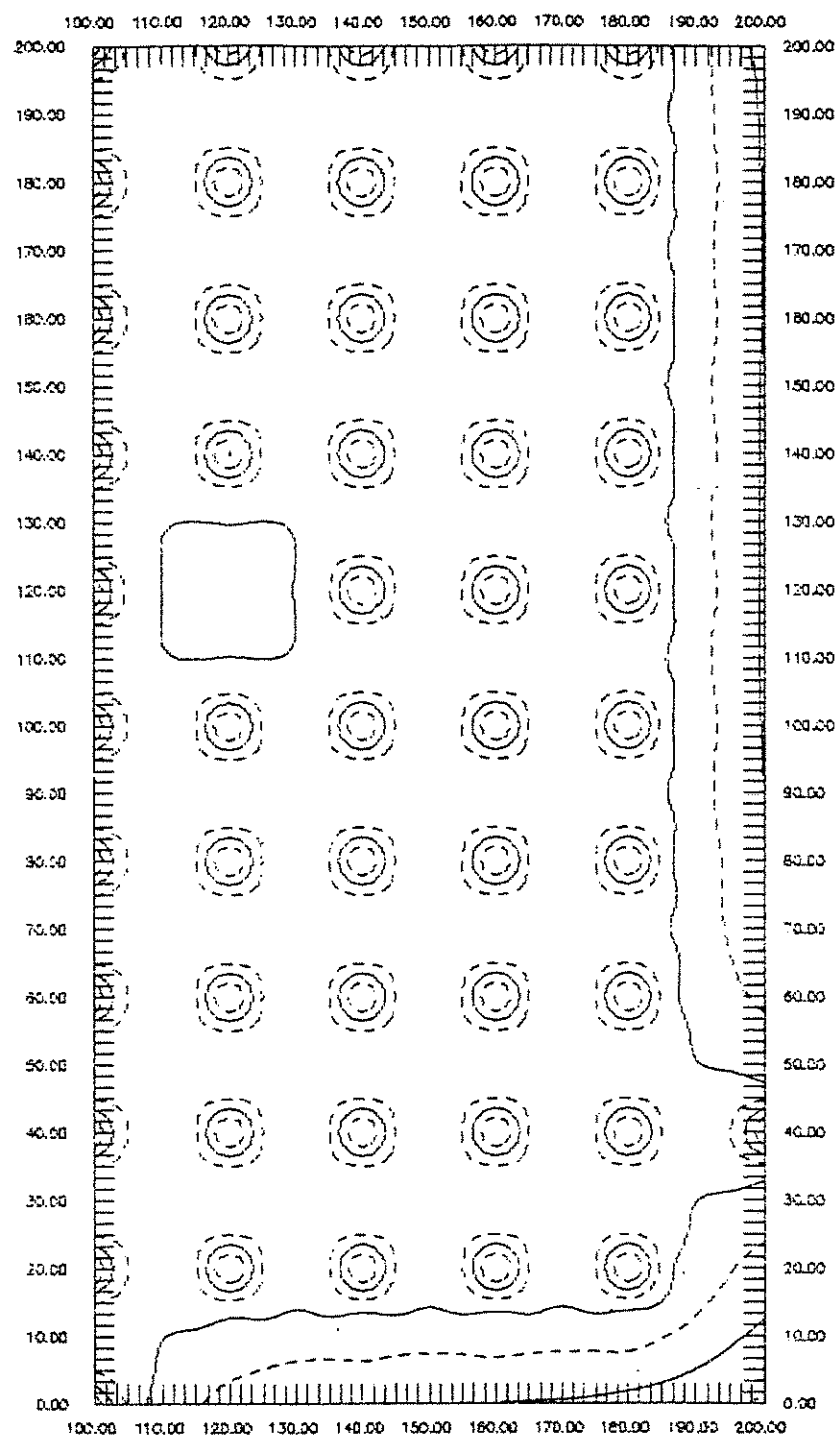


Fig. 26.- Mapa de la desviación típica de la estimación del SEM vertical (con smooth, método de splines).

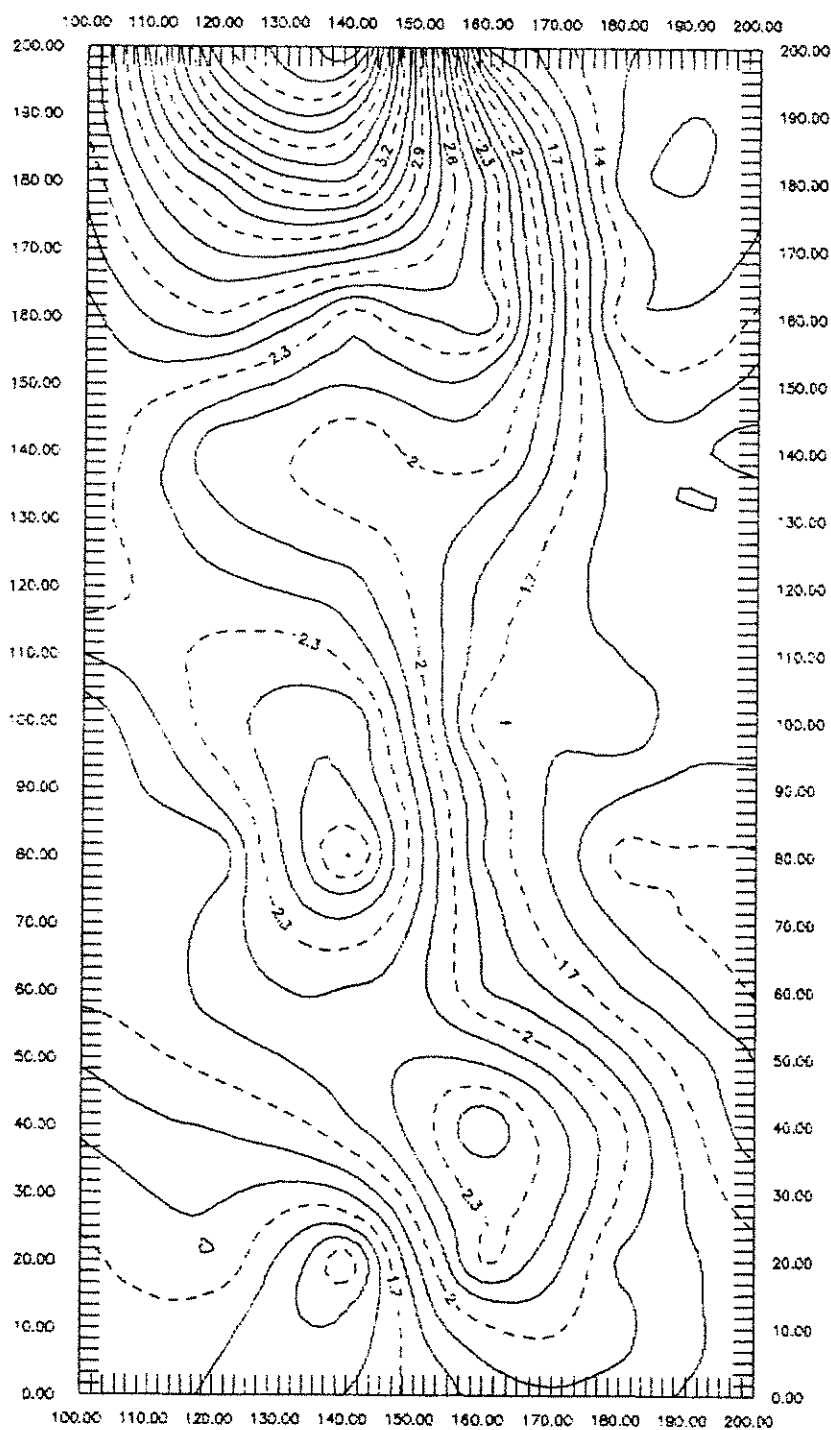


Fig. 27.- Mapa de distribución de la CE 1:5 (dS/m a 25 °C) ponderada a 1 m, obtenida por krigeado puntual a partir de la correlación con el SEM horizontal (smooth splines).

8. FERTILIDAD DE SUELOS Y EVALUACION DE TIERRAS.

8.1. Fertilidad de los suelos.

El estudio de la fertilidad química de los suelos se realizó en 1980 a nivel de reconocimiento general, con una densidad de muestreo de una muestra compuesta en cada 300 ha y dos profundidades en cada punto: de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm. Los muestreos se realizaron según una malla cuadrada, complementada para que quedasen representadas las diferentes unidades de suelos. En las muestras obtenidas en plantaciones arbóreas se muestreó en la zona de goteo del árbol. Los datos de nivel de fertilidad que se estudian corresponden a un total de 200 muestras (00-20 y 20-40 cm) de toda la zona. No se realiza el estudio por unidades cartográficas de suelos, como sería lo deseable.

Los factores que condicionan el diagnóstico global de los niveles de fertilidad química de estos suelos y que sirven de referencia al evaluar los datos de fertilidad son los valores de pH, los contenidos en carbonato cálcico equivalente, caliza activa y mineralogía de arcillas, que presentan suficiente uniformidad en la zona para que pueda aceptarse este tipo de tratamiento, mientras no se disponga de los mapas detallados de suelos.

Los horizontes superficiales (00-20 cm) presentan pH al agua (1:2,5) elevados (un 51% presenta valores entre 8-8,5 y un 40% entre 8,5-8,9). Son suelos muy ricos en carbonatos (el valor medio es de un 46%) y en caliza activa (el 57 % presenta valores entre 11-15 % y el 90 % supera el 11 % en contenido de caliza activa). En las muestras correspondientes a profundidades de 20 a 40 cm el pH se incrementa (un 35 % presenta valores entre 8-8,5, mientras que un 62 % los presenta entre 8,5-8,9), aunque el contenido en carbonatos mantiene el mismo valor medio.

Estos altos niveles de basicidad y de caliza activa plantean problemas de disponibilidad de nutrientes, aunque no exista una carencia absoluta del elemento en cuestión.

a. Materia orgánica.

Los contenidos de materia orgánica en los horizontes de superficie se hallan entre el 1-2 % en un 65 % de las muestras estudiadas y son inferiores al 3 % en un 98 % de los casos.

En profundidad (20-40 cm) aunque un 80 % de las muestras presentan valores entre el 1-2 %, disminuye en un 18 % el número de muestras que superan el 2 % en contenido de materia orgánica (Cuadro nº 33).

Cuadro nº 33.- Estudio de frecuencias de los contenidos en materia orgánica.

INTERVALOS Materia Orgánica %	FRECUENCIAS (0-20 cm)			FRECUENCIAS (20-40 cm)		
	Absolutas	Relativas	Acumulada Relativa	Absolutas	Relativa	Acumulada Relativa
< 0,5	2	1,0	1,0	0	0	0
0,6 - 1,0	10	4,8	5,8	15	8,6	8,6
1,1-1,5	63	30,4	36,2	77	44,3	52,9
1,6-2,0	71	34,3	70,5	63	36,2	89,1
2,1-2,5	43	20,8	91,3	18	10,3	99,4
2,6-3,0	15	7,3	98,6	0	0,0	99,4
> 3,0	3	1,4	100,0	1	0,6	100,0

b. Fósforo asimilable (Olsen).

Los niveles de fósforo asimilable son altos en los primeros 20 cm, en un 67% de los casos se supera el valor de 11 ppm y en un 37 % el valor de 20 ppm. En profundidad (20-40 cm) estos valores descienden; sólo un 26 % de las muestras superan los 11 ppm. Estos resultados concuerdan con la baja movilidad del fósforo en suelos calcáreos (Cuadro nº 34).

Cuadro nº 34.- Estudio de frecuencias de los contenidos de fósforo (Olsen).

INTERVALOS Fósforo (ppm)	INTERPRETACION	FRECUENCIAS (0-20 cm)			FRECUENCIAS (20-40 cm)		
		Absolutas	Relativas	Acumulada Relativa	Absolutas	Relativa	Acumulada Relativa
0,0-3,0	Muy pobre	18	8,9	8,9	45	25,7	25,7
3,1-5,0	Pobre	9	4,5	13,4	35	20,0	45,7
5,1-11,0	Normal	38	18,8	32,2	49	28,0	73,7
11,1-20,0	Rico	62	30,7	62,9	34	19,4	93,1
> 20,1	Muy rico	75	37,1	100,0	12	6,9	100,0

c. Potasio asimilable

Los niveles de potasio asimilable (extracción con AcONH_4 1N, pH = 7) son bajos en los primeros 20 cm, en un 62,5 % de los casos son inferiores a 220 ppm y en un 52,5 % inferiores a 190 ppm. Sólo un 28 % de las muestras presenta valores altos, superiores a 251 ppm.

En profundidad se mantienen los niveles bajos, en un 71,2 % de las muestras presentan valores bajos (< 220 ppm) de los cuales el 41,9 % presentan valores inferiores a 125 ppm. Existe un 13,2 % de muestras que superan los 300 ppm (Cuadro nº 35).

Cuadro nº 35.- Estudio de frecuencias de los contenidos de potasio (AcONH_4).

INTERVALOS Potasio (ppm)	INTERPRETACION	FRECUENCIAS (00-20 cm)			FRECUENCIAS (20-40 cm)		
		Absolutas	Relativas	Acumulada Relativa	Absolutas	Relativa	Acumulada Relativa
<125	Muy bajo	47	23,5	23,5	70	41,9	41,9
125-190	Bajo	56	28,0	51,5	38	22,7	64,6
191-220	Lig. bajo	22	11,0	62,5	11	6,6	71,2
221-250	Normal	19	9,5	72,0	13	7,8	79,0
251-300	Lig. alto	18	9,0	81,0	13	7,8	86,8
> 300	Alto	38	19,0	100,0	22	13,2	100,0

8.2. Evaluación de tierras.

Los usos agrícolas actuales del territorio en el Area Meridional de Lleida están ampliamente controlados por factores climáticos y edáficos. Siendo la disponibilidad de agua para las plantas uno de los factores limitantes principales, un planteamiento básico para introducir nuevos usos debe contemplar la eliminación de dicha limitación mediante la introducción del riego.

Clásicamente, la evaluación de tierras para su transformación en regadío se ha abordado mediante la metodología USBR(1953) sólidamente establecida, aunque su aplicación puede presentar diversos problemas:

a. Incorrecta definición e identificación de los usos. El sistema USBR original preveía únicamente el riego por gravedad. Los avances tecnológicos y su aplicación a otros países trajo la necesidad de desarrollar clasificaciones para usos más concretos: riego por aspersión, frutales, aspersión-frutales, arroz, etc. Es posible que al aplicar el sistema no se explicita claramente para qué uso se está evaluando. También puede ocurrir que, si bien se haya indicado el uso, el usuario de la información desconozca que la aptitud para un uso especial (Clase 4) constituye en sí mismo una capacidad de pago distinta. En el Area Meridional de Lleida, donde grandes superficies aparecen como Clases 6 para los usos más extensivos, tiene gran interés el especificar el uso que se evalúa.

b. Aplicación mecánica del método. Ello puede conducir en esta zona a resultados incorrectos. Así, en los fondos y áreas más llanas, la interpretación puede fallar por no tomar en consideración los problemas de salinidad y drenaje esperables bajo el nuevo uso a introducir y tener sólo en cuenta la salinidad actual. De este modo se produce una sobreestimación de la capacidad de dichos suelos, bien sea por una mala comprensión del uso evaluado, bien sea porque el documento base (el mapa de tierras) no muestra adecuadamente las relaciones que existen actualmente y existirán al introducir el nuevo uso, concretamente los flujos de sales.

c. Valoración inadecuada de factores. Algunos factores pueden resultar difíciles de evaluar, así por ejemplo, pendiente, riesgo de erosión, velocidad de

meteorización de las lutitas, etc.

- Los suelos de bancales, con una profundidad y estructura adecuadas se hallan en áreas de elevada pendiente general. El criterio de pendiente conduce a considerarlos como suelos de clase 6.

- Si se da un paso más en la evaluación y se considera el riego por aspersión, debe tenerse en cuenta la elevada erosionabilidad de estos suelos y su baja velocidad de infiltración. Su clasificación como 4(S)2 es injustificada a la luz de experiencias cercanas.

- El riego por gravedad exige nivelaciones a fin de conseguir parcelas de un tamaño mínimo aceptable. La aparente facilidad con que se meteorizan las lutitas induce al agricultor a realizar movimientos de tierra que, aún realizados con capaceo, no se justifican desde un punto de vista económico al incidir sobre la productividad.

d. Unidisciplinaridad al aplicarlo. El sistema USBR se basa en las capacidades de pago y su relación (estimada) con la capacidad productiva del medio. La identificación de los factores del medio permite clasificar los suelos -en base a clasificaciones generalmente establecidas en otros lugares- según su aptitud para el riego, pero la capacidad de pago no se determina y ello resta valor a las interpretaciones.

e. Información obtenida. La aplicación mecánica del sistema USBR produce escasa información.

Ante esta problemática es preciso buscar vías alternativas, en tal sentido cabe destacar la metodología FAO (1976) para evaluación de tierras y en base a ella intentar clasificar la aptitud de estos suelos para su uso bajo riego.

El primer paso consiste en definir los tipos de usos de la tierra que sean relevantes en el medio y en el contexto económico-social del Area Meridional de Lleida. Los tipos de utilización de las tierras a considerar deben incluir:

- uso actual: olivo en secano (LUT1)
- uso actual mejorado: olivo con riego de apoyo (LUT2)
- uso actual mejorado 2: almendro secano (LUT3)
- riego por gravedad de cultivos extensivos (LUT4)
- riego por aspersión de cultivos extensivos (LUT5)
- riego por gravedad fruta dulce (LUT6)
- riego por aspersión fruta dulce (LUT7)
- riego por goteo fruta dulce (LUT8)
- riego por goteo frutos secos (LUT9)

El estudio de las relaciones entre el tipo de utilización de las tierras y las cualidades de las tierras para cada una de las unidades morfoedáficas recogidas en el Cuadro nº36 permitiría dar respuesta a las posibilidades de la transformación en riego y a los numerosos problemas agronómicos que se plantean.

Cuadro nº 36.- Principales cualidades de las tierras para los tipos de utilización planteados en el Area Meridional de Lleida.

+++Muy importante; ++ Importante; + Poco importante; - Irrelevante; x Restringida a ciertos casos.

Cualidad de la tierra	Características	LUT1	LUT2	LUT3	LUT4	LUT5	LUT6	LUT7	LUT8	LUT9
Régimen de temperaturas	. Tª mínimas primavera	++	++	+++	++	++	+++	++	+++	+++
	. Tª mínimas invierno	+++	+++	+	+	+	+	+	+	+
	. Posición geomorfológica	+++	+++	+++	++	++	+++	++	+++	+++
	. Tª máximas verano	+	+	+	++	++	+++	++	++	+
	. Período crecimiento	+	+	++	++	++	++	++	++	++
Disponibilidades de agua	. Precipitación	+++	+++	+	+	+	+	+	+	+
	. ETP	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	. Agua de riego	-	++		+++	+++	+++	+++	+++	+++
	. Posición geomorfológica	++	++	++	-	-	-	-	-	-
	. Profundidad efectiva	++	++	++	+++	+++	++	++	+	+
Salinidad	. CE	++	++	++	+++	+++	+++	+++	++	++
	. Posición geomorfológica	+	+	+	++	++	+++	+++	++	++
Riesgo de erosión	. K	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++	++
	. Pendiente	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++	++
Disponibilidad de oxígeno	. Capa freática	+	+	+	++	++	+++	+++	+	+
	. Posición geomorfológica	+	+	+	++	++	+++	+++	+	+
Drenaje	. Capa freática	+	+	+	+	+	++	++	+	++
	. Posición geomorfológica	+	+	+	+++	+++	+++	+++	+	++
Suministro nutrientes	. m.o.	++	++	++	++	++	++	++	++	++
	. pH	++	++	++	++	++	++	++	++	++
	. Ca CO ₃	+	+	+	+	+	++	++	++	++
	. micronutrientes	+	+	+	++	++	+++	+++	+	+

9. NUEVAS TENDENCIAS EN CLASIFICACION DE ARIDISOLES.

La clasificación original de Aridisoles (S.S.S. 1960) ha sido sucesivamente revisada (S.S.S. 1971, 1975), y en una enmienda aprobada por el Soil Survey Staff (1983), posteriormente recogida en "Keys to Soil Taxonomy" (1987). De acuerdo con esta última modificación sólo quedaban incluidos en los Aridisoles aquellos suelos con régimen arídico que tuvieran endopediones diagnóstico y aquellos extremadamente salinos (horizonte sálico), excluyendo los suelos con régimen xérico o ústico, algún endopedión diagnóstico y CE del extracto de pasta saturada $> 2 \text{ dS/m}$ a 25°C . Los trabajos en curso del International Committee on Aridisoles INCOMID (1989) que plantean una profunda reestructuración de la clasificación de este Orden son los que se emplean aquí como punto de referencia.

La FAO por su parte, en las Unidades de Suelos del Mapa 1:5.000.000 (FAO, 1974) empleaba el régimen arídico para separar Xerosoles y Yermisoles del resto de unidades. Este criterio de clasificación fue abandonado posteriormente (FAO, 1988), dadas las dificultades en la práctica para conocer el régimen de humedad con precisión a partir del modelo de Newhall.

9.1. Problemas en clasificación de Aridisoles.

Soil Taxonomy emplea criterios distintos para separar suelos al más alto nivel taxonómico. Así, en unos casos el énfasis se pone en horizontes diagnóstico (Spodosoles, Mollisoles), mientras en otros el criterio elegido son los de características del material (Vertisoles) o el régimen de humedad (Aridisoles). Ello es así porque seguramente prima el deseo de agrupar suelos con interpretaciones de uso similares antes que el deseo de agrupar suelos genéticamente similares, a nivel de Orden.

Así, se considera que la presencia o no de agua disponible para las plantas durante el período de crecimiento es un hecho fundamental y condiciona todas las posibles interpretaciones de uso que se puedan hacer de estos suelos. En coherencia con ello, en Soil Taxonomy (1975) se agruparon todos los suelos que tenían régimen arídico y xérico o ústico con $\text{CE} > 2 \text{ dS/m}$ a 25°C y endopediones diagnóstico en Aridisoles. La aplicación de estos criterios presenta ciertas dificultades:

- . conocer el régimen de humedad.
- . los suelos con régimen arídico figuran en dos Ordenes: Entisoles y Aridisoles.
- . los suelos con régimen xérico o ústico y una ligera salinidad ($\text{CE} > 2 \text{ dS/m}$ a 25°C) pueden tener agua disponible para las plantas y diferir en este aspecto de los suelos con régimen arídico.
- . agrupación en un mismo Orden de suelos que han sufrido procesos formadores muy distintos (Argids -Orthids) y que en muchos casos no corresponden a condiciones actuales.
- . en los suelos del orden de los Aridisoles tienen en muchos casos horizontes o capas con materiales que serían lavados en régimen más húmedo y que aquí permanecen y son un condicionante importante al crecimiento de las raíces (cálcicos, gypicos, etc). Concretamente los materiales muy ricos en yeso, aparte

de limitar el crecimiento de las raíces al impedir ser penetrados por ellas debido a su gran dureza cuando se secan. Estos suelos al ser puestos en riego presentan graves dificultades de manejo y ello debe poder ser tenido en cuenta a la hora de interpretar los mapas de suelos y por tanto debe considerarse en la clasificación.

El hecho de que muchos de estos suelos se hallen en países poco desarrollados u ocupen áreas marginales, hace que el conocimiento de su génesis y distribución sea bastante imperfecto (Porta & al. 1985). Esto, unido a que no existe o no se ha reunido suficiente información sobre la respuesta de los distintos tipos de manejo (Van Alphen & al. 1971), hace que un sistema con el enfoque aplicado de Soil Taxonomy conduzca a una agrupación de suelos poco satisfactoria en dicho Orden.

9.2. Tendencias actuales.

La enmienda introducida en 1983 en Soil Taxonomy y por la que únicamente quedan en Aridisoles los suelos con régimen arídico o los muy salinos, soluciona algunos de los problemas de clasificación que existían en dicho Orden, particularmente el que se refiere al de los suelos yesíferos no salinos y que con el límite CE extracto $> 2 \text{ dS/m}$ a 25°C se incluían en los Aridisoles. La propuesta del INCOMID (1989) parece reflejar el avance que en el conocimiento de los suelos con régimen arídico se ha producido en los últimos años y cuya clasificación había sido objeto de varios Workshops específicos (1981, 1985) y de otras reuniones Kittrick (1985).

La revisión del INCOMID (1989), que se incluye dentro de la más general que se está llevando en Soil Taxonomy y que en este momento afecta ya a varios Ordenes (Van Wambcke, 1989), tiene una serie de caracteres comunes a toda la revisión y otros específicos al Orden de los Aridisoles. Entre las comunes está el de aplicar la estructura de clave a nivel de Subgrupo, con lo que formalmente se cierran los subgrupos existentes. Dicha estructura ya se halla implementada para los Oxisoles en Keys to Soil Taxonomy (SSS, 1987) e implica que el Subgrupo típico tiene varias significaciones distintas al representar el concepto central (suelo con más limitaciones, el que presenta la mejor expresión del horizonte diagnóstico o característico, o el más común y que representa el concepto central), mientras que el Subgrupo háplico se utiliza a fin de ordenar los suelos del Gran Grupo dentro de la clave del Subgrupo.

Entre los aspectos específicos de la revisión (INCOMID 1989) que se lleva a cabo dentro del Orden de los Aridisoles están:

a. Régimen de humedad.

El criterio básico para separar los Aridisoles de otros suelos está en que el régimen de humedad sea arídico o no. El cálculo del régimen de humedad mediante el modelo de Newhall se ha revelado poco preciso, entre otros lugares, en los límites arídico/xérico y se han propuesto nuevos modelos (Jarauta, 1989), que manteniendo la relativa sencillez y bajas necesidades de inputs del primero, proporcionarían resultados más precisos. El desarrollo de la informática permite

que modelos como Jarauta (1989) puedan ser aplicados mediante ordenadores personales sin más que disponer de inputs sencillos: precipitación, textura, espesor horizontes, etc, pudiéndose así obtener una estimación suficientemente precisa del régimen de humedad para todos los suelos de un área. Modelos más complejos, que pueden ser más precisos, requieren en general un conjunto de datos de los que no se dispone habitualmente por los especialistas en clasificación ($k(\theta)$, $\phi_p^m(\theta)$, $\phi_p^m(\theta)$, etc).

b. Definición de nuevos horizontes de diagnóstico y redefinición de antiguos.

En la propuesta que se comenta se proponen nuevos horizontes de diagnóstico, concretamente el vérmico, el hypercálcico (Tavernier & al. 1985) y el hypergypsico como nuevos horizontes de diagnóstico y se redefine el sálico en terminos de CE 1:1. El epipedión vérmico se define en los términos en que se emplea en Soil Taxonomy para los Vermiborolls, por ejemplo. El horizonte hypercálcico se define como de acumulación en base a elevados contenidos de carbonatos ($> 60 \%$). Por el contrario, el horizonte hypergypsico se define como un horizonte subsuperficial, muy rico en yeso ($> 60 \%$), cualquiera que sea su origen. Esta parece una solución excesiva al problema de querer recoger en la clasificación la existencia de estos materiales poco favorables al crecimiento de las raíces. El horizonte sálico se redefine empleando la CE en un extracto 1:1 en lugar del porcentaje de sales. La significación del nuevo límite (30 dS/m a 25 °C y CE1:1 x espesor ≥ 900) es variable según la textura de los suelos y no es equivalente al criterio actual.

La nueva definición del horizonte sálico presenta una complicación a nivel de laboratorio ya que los restantes parámetros de salinidad vienen siendo determinados en extracto de pasta saturada. De no adoptar este extracto sería deseable elegir el 1:5 por ser el empleado en la prueba previa de salinidad.

c. Aridisoles y el horizonte móllico.

En la nueva propuesta suelos que tienen un epipedión móllico pueden pertenecer a los Aridisoles y son separados a nivel de Subgrupo como intergradados a diferentes grandes grupos de Molisoles, excepto en algunos casos en que intergradan al Orden. En las claves ello se recoge mediante criterios de color (brillo) que sustituye el contenido de carbono orgánico.

d. Subdivisión del Suborden Orthid.

El Suborden de los Orthid se subdivide en otros cinco (Durids, Gypsids, Calcids, Cambids y Salics) en base al material soluble acumulado (excepto Cambids) y creación de un gran número de Subgrupos nuevos, que prácticamente doblan su número así como el de Grupos.

e. Empleo del SAR para separar Subgrupos.

En el empleo del SAR se exige que dicho valor sea mayor de 13 durante

determinados períodos de tiempo. Su empleo mecánico a través de la mayoría de los Subordenes produce resultados no deseados (Hypergyssid sódico).

La información reunida hasta el momento a partir de que se publicó Soil Taxonomy es sin duda importante pero la lectura de la nueva propuesta sugiere que la aplicación mecánica de criterios prefijados a través de todos los Subordenes da lugar a Subgrupos cuya entidad geográfica y significación de uso parece a priori muy escasa. Se sigue poniendo un énfasis excesivo en determinados horizontes de diagnóstico (argílico, móllico) cuya significación en ocasiones es dudosa y permanece la separación de suelos con régimen arídico en dos ordenes: Aridisoles y Entisoles, estos últimos definidos con diferentes criterios: Torriorthents vs Torrifluvents.

En el sistema FAO la tendencia se orienta a abandonar completamente los regímenes de humedad como criterios de clasificación (FAO, 1988) y utilizar posteriormente a nivel de interpretación de mapas de pequeña escala las zonas agrológicas, que es la línea seguida por otros sistemas taxonómicos, como el de Canadá, por ejemplo.

9.3. Clasificación de los suelos del área meridional de Lleida.

El Cuadro nº37 resume la clasificación de los principales suelos del área meridional de Lleida según dos sistemas distintos: SSS (1987), FAO (1988) y para los Aridisoles INCOMID (1989). A la luz de la información disponible (Jarauta 1989) se han considerado como Aridisoles aquellos suelos con una capacidad de retención de agua disponible (CRAD) menor de 50 mm.

Cuadro nº 37.- Clasificación de los principales suelos del área meridional de Lleida.

Soil Taxonomy		Unidades FAO	
SSS(1987)	INCOMID(1989)	FAO(1974)	FAO(1988)
Paleorthid típico	Petrocalcid xerochréptico	Cambisol cálcico	Calcisol háplico
Paleorthid xerólico	Petrocalcid xerochréptico	Cambisol cálcico	Calcisol háplico
Calciorthid xerólico	Hypercalcid xerochréptico	Cambisol cálcico	Calcisol háplico
Xerochrept calcixerólico	-	Cambisol cálcico	Calcisol háplico
Xerochrept gypsico	-	Cambisol cálcico	Calcisol gypsico
Torriorthent xérico lítico	-	Regosol calcáreo	Regosol calcáreo
Torriorthent xérico	-	Regosol calcáreo	Regosol calcáreo
Torriorthent típico	-	Regosol calcáreo	Regosol calcáreo
		Solonchack órtico	Solonchack órtico
Xerorthent típico	-	Regosol calcáreo	Regosol calcáreo
Xerofluent típico	-	Fluvisol calcáreo	Fluvisol calcáreo
		Fluvisol calcáreo	Fluvisol calcáreo
Xerofluent ácuico	-	Fluvisol calcáreo	Fluvisol calcáreo
		Fluvisol calcáreo	Fluvisol calcáreo

10. METODOLOGIA UTILIZADA.

10.1. Macromorfología de los perfiles.

b. Estudio de muestras.

Las muestras de mano de los horizontes petrocálcicos se estudiaron en laboratorio con ayuda de una lupa binocular Wild con equipo fotográfico incorporado. Para ello se procede al serrado de las muestras en una sierra con disco diamantado y posterior pulido de la superficie expuesta, que es la que se estudia con ayuda de la lupa.

e. Estudios de campo.

Basándose en una prospección anterior en la que se estudiaron unos ciento setenta perfiles en la comarca (Porta & al. 1981), se han elegido los emplazamientos considerados más idóneos para localizar los perfiles-tipo investigados.

La obtención de datos para definir la macromorfología de los perfiles se ha realizado por medio de calicatas. La descripción de perfiles de suelo se ha realizado de forma codificada, siguiendo el sistema del Banco de Datos de Suelos SINEDARES (C.B.D.S.A., 1983).

10.2. Micromorfología de los horizontes de acumulación.

Los horizontes de acumulación caliza endurecidos, se estudian con el microscopio polarizante Leitz, con equipo de microfotografía. Las láminas delgadas se preparan cortando el material coherente con una sierra circular diamantada realizando una impregnación rápida en el caso de que sea necesario. Se utiliza resina a base de poliestireno, con acetona como disolvente, octoato de cobalto como catalizador y con activador. Se utiliza la técnica de Guilloré (1985) para la preparación de láminas delgadas.

10.3. Microscopía electrónica.

La fábrica de algunas acumulaciones calizas se estudia con ayuda del microscopio electrónico de barrido, del Servicio de Microscopía de la Universidad Politécnica de Cataluña.

La superficie aproximada de las muestras es de unos $0,5 \text{ cm}^2$. Para lograr una adecuada representatividad y poder interpretar lo observado, las muestras se seleccionan en base a los resultados de los estudios de las muestras de mano con lupa binocular y de micromorfología con microscopio óptico. Un fragmento fresco de muestra se pega sobre un botón metálico mediante plata coloidal. Se metaliza bajo vacío con oro en un medio de argón. La capa metalizada alcanza un espesor de unos 200 Å.

a. Análisis de difracción de rayos X.

Los análisis por difracción de rayos X se han realizado en la Unidad Estructural de Investigación de Mineralogía de Arcillas del Instituto de Edafología del C.S.I.C. en Madrid. El equipo empleado es un difractómetro Philips con goniómetro automático. Las condiciones de trabajo, con la radiación K del cobre ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), fueron, 40KV, 20 mA; filtro de níquel; ranura de dispersión 1° ; velocidad de exploración $2^\circ/\text{m}$; velocidad del papel 40 mm/h; constante de tiempo, 4 seg; multiplicación $\times 16 \times 1$; ranura de divergencia 1° ; ranura de recepción 0,2 mm.

Se ha trabajado con muestra en polvo, agregado orientado seco al aire, agregado orientado tratado con etilen glicol y agregado orientado calentado a 500°C durante tres horas. Para el análisis de mineralogía de arcillas se ha preparado la muestra eliminando los carbonatos con ácido acético 0,5 N.

b. Métodos experimentales.

- Determinación del carbonato cálcico equivalente. Se determina por el método del calcímetro de Bernard.
- Determinación de la reacción del suelo. Se determina potenciométricamente en una suspensión 1:2,5 suelo-agua.
- Determinación de la materia orgánica. Se utiliza el método de Walkley-Black sin aporte externo de calor y valorando con sal de Mohr.
- Determinación del nitrógeno. Se determina por el método Kjeldahl, destilando el amoníaco por arrastre de vapor en un equipo Bucchi.
- Determinación de la granulometría. Se utiliza el método de sedimentación discontinua (pipeta Robinson), previa destrucción de la materia orgánica. No se destruyen los carbonatos por suponer una fracción importante del suelo. Las arenas se determinan por tamizado.
- Determinación de la capacidad de intercambio catiónico. Se determina con amonio en forma de acetato 1N a $\text{pH} = 7,0$. La valoración del amonio se realiza por destilación por arrastre de vapor en un equipo Bucchi.
- Determinación de los cationes de cambio. Dados los problemas que presenta el acetato amónico como extractante en suelos calizos, por disolver parte de los carbonatos (Pelloux, 1971), sólo se utiliza para extraer el sodio y el potasio. El magnesio se extrae con acetato sódico a $\text{pH} = 8,2$ y el calcio se determina por diferencia entre la CIC y la suma de magnesio, sodio y potasio. Las determinaciones se hacen por espectrofotometría de absorción atómica (Mg^{2+}) y por emisión (Na^+ y K^+). En muestras de suelos afectados por salinidad no se determinan los cationes intercambiables.
- Determinación de la salinidad. En ensayo previo se mide la conductividad eléctrica (CE) de un extracto de 1:5. Los resultados se expresan en dS/m a 25°C . Las

muestras con CE superiores a 0,2 dS/m en ensayo previo, se analizan por el método de la pasta saturada. Se mide el pH de la pasta por potenciometría y la CE del extracto por conductimetría.

- Extracto de pasta saturada. Se analizan los aniones, HCO_3^- y CO_3^{2-} por acidimetría; Cl^- por el método de Charpentier-Volhard y SO_4^{2-} por gravimetría y por turbidimetría. El Ca^{2+} y Mg^{2+} se determinan complexométricamente y el Na^+ por fotometría de emisión.

- Determinación del yeso equivalente. Se determina a partir de los sulfatos totales analizados por gravimetría.

- Contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} en los horizontes de acumulación. La importancia de los minerales ricos en magnesio en los horizontes de acumulación se estudian, desde un punto de vista químico, de la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$. Se realiza un ataque ácido, para solubilizar el calcio y el magnesio.

- Determinación de la actividad biológica "global". Se determina en laboratorio por medidas respirométricas, desprendimiento de CO_2 de muestras enriquecidas o no con glucosa. La incubación se hace en recipientes estancos, conservados a $28^\circ \pm 1^\circ \text{C}$, durante 7 días. Contienen una cantidad conocida de muestra humedecida y un cristizador con hidróxido sódico que se carbonata con el CO_2 desprendido. La valoración final se hace con HCl N/10 , previa incorporación de cloruro bórico para eliminar el carbonato sódico que pasa a carbonato bórico (Bruckert, 1971). Se trabaja con testigo sin suelo. Los resultados se expresan en mg de $\text{CO}_2/100 \text{ g}$ de suelo y en mg de CO_2/g de C. La dinámica del proceso se estudia a partir del desprendimiento de CO_2 a intervalos determinados de tiempo, 5, 7, 11 y 15 días, que permiten construir la curva de intensidad respiratoria y las curvas acumulativas.

AGRADECIMIENTOS.

A la Cámara Agraria Provincial de Lleida por haber posibilitado el estudio de la zona mediante un Convenio con la UPC; a los agricultores de Las Garrigas por sus facilidades en la apertura de calicatas, al Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya que ha dado difusión a los trabajos, a todas aquellas personas que de una manera u otra han hecho posible este trabajo y, en especial a M^a Concepción Ramos que ha cuidado de la edición y a Clara Llena que ha tenido a su cargo los trabajos mecanográficos.

11.- BIBLIOGRAFIA.

- ALPHEN, J.G. van & F. DE LOS RIOS (1971). "Gypsiferous soils" ILRI. Bull nº 12 Wageningen: 44 pp.
- ARAGUES, R . (1986) "Métodos de medida de la salinidad del suelo. I y II". Comunicaciones INIA Serie General nº 18. Madrid.
- BLUMEL, W.D. & T.VOGT (1981): "Croûtes calcaires de Namibie. Problèmes Géomorphologiques et Etude micromorphologique". Rech. Géogr. Strasbourg, 12: 55-68 pp.
- BOLOS, O de (1973). "La vegetación de la Serreta Negra de Fraga". Mem. Real Acad. Ci. Barcelona. 42:269-313 pp.
- BRAUN-BLANQUET, J & O. de BOLOS (1957). "Les groupements vegetaux du bassin moyen de l'Ebre et leur dynamisme". Anales Est. Exp. Aula Dei 5(1-4): 1-266 pp.
- BULLOCK, P. (1985): "Handbook for soil thin section description". Waine Research Publ. Albrighon, 152 pp.
- BURT, T.P. & S.T. TRUDGILL (1985): "Soil properties, slope hydrology and spatial patterns of chemical denudation". In K.S. Richards & al. (ed) Geomorphology and Soils. George Allen & Unwin. London: 13-36 pp.
- CANADA SOIL SURVEY COMMITTEE, SUBCOMMITTEE ON SOIL CLASSIFICATION (1978): "The Canadian System of Soil Classification". Can. Dep. Agric. Publ. 1646. 164 pp.
- C.B.D.S.A. (1983): SINEDARES. "Sistema de información edafológica y agronómica de España". Manual para la descripción codificada de suelos en el campo. M.A.P.A., 137 pp.
- CONESA, J. A. (1986): "El paisatge vegetal del Segrià". In: J. A. Conesa & J. Recasens, Apunts del curs monogràfic sobre el paisatge vegetal del Segrià: 29-263 pp.
- COURTY, M.A., P. DHIR & H. RAGHAVAN (1987): Microfabrics of calcium carbonate accumulations in arid soils of Western India". Proc. VII Int. Working Meeting of Soil Micromorphology: 227-234 pp.
- DOORENBOS, J. & W.O. PRUITT (1977): "Las necesidades de agua de los cultivos". Estudios FAO. Riego y Drenaje, 24. 194 pp.
- DURAND, J.H. (1963): "Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie, formation et âge". B.S.G.F.7. V. 959-968 pp.

- FRIEDLAND, V.M. (1976): "Pattern of the Soil Cover". Moscow Geogr. Inst. of the Academy of Sci. of the USSR. Trans. I.P.S.T. Jerusalem.
- FREYTET, P. & J.C. PLAZIAT (1982): "Continental Carbonate Sedimentation and Pedogenesis". Contributions to Sedimentology 12, 213 pp.
- FAO, (1974): FAO-UNESCO. "Soil Map of the World 1:5.000.000". Vol I. Legend. Unesco. Paris.
- FAO (1976): "A framework for Land Evaluation". Roma.
- FAO (1988): FAO-UNESCO. "Soil Map of the World". Revised Legend. World Soils Resources Report 60, FAO. Rome.
- GASCO, J.M. & V. IBAÑEZ (1978): "Criterios para la estimación del régimen de humedad de los suelos". Anales INIA, Serie General (6): 61-76 pp.
- GAUCHER (1972). In R. BERTRAND: "Morphopédologie et orientations culturelles des régions Soudaniennes du Siré Saloum. L'Agronomie Tropicale. XXVII, 11: 116-1190 pp.
- GAUCHER (1981): "Traité de Pédologie Agricole". Tome II. Les facteurs de la pédogénèse. G. Lelotte.
- GERASIMOV, I.P. & M.M.A. GLAZOVSKAYA (1965): "Fundamentals of Soil Science and Soil Geography". Transl. from Russian by the Israel Prog. for Sci. Transl. Jerusalem: 382 pp.
- GILE, L.H., F.F. PETERSON & R.B. GROSSMAN (1966): "Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils". Soil Sci. 101: 347-360 pp.
- GILE, L.H. & R.B. GROSSMAN (1979): "The Desert Project". Soil Monograph. S.C.S. USDA.
- GOMEZ-MIGUEL, V. (1985): "Estudio de los procesos edafogénicos de redistribución de carbonatos alcalinotérreos en clima árido y semiárido". Tesis doctoral ETSIA. UPM, 458 pp.
- GOUDIE, A.S. (1983): "Calcrete ". In Goudie, A.S. & al. (ed.): "Chemical Sediments and Geomorphology". Academic Press: 93-131pp.
- GOUDIE, A.S. (1985): Duricrust and landform, in K.S. Richards & al. (ed): "Geomorphology and Soils".
- HAY, R.L. & R.J. LEEDER (1978): "Calcretes of Olduvai Gorge and the Ndolanya Beds of northern Tanzania". Sedimentology 25, 649-673.

HERRERO, J. & J. PORTA (1989): "Aridisoles of Spain".

HOLE, F. & J.B. CAMPBELL (1985): "Soil landscape analysis". Routledge & Kegan. Paul. London, 196 pp.

INTERNATIONAL COMMITTEE ON ARIDISOLS (1989). Ed. Draft Ver .6.0

JARAUTA, E. (1989): "Modelos matemáticos de régimen de humedad de los suelos. Aplicación a la determinación del régimen de humedad de los suelos del Area meridional de Lleida". Tesis doctoral E.T.S.I. Barcelona. 181 páginas mas anejos.

JULIA R. & al. (1981): Geología in J. Porta (ed.): "Los suelos del Area meridional de Lleida". DARP. Barcelona.

JULIA, R & F. CALVET (1981): "Descripción e interpretación de las texturas y microtexturas de caliches recientes del Camp de Tarragona y Penedés (Catalunya).

KAPPLA, C.F. (1979): "Lichen stromatolites: criterion for subaerial exposure and a mechanism for the formation of laminar calcretes". J. Sedim. Petrol. 49, 2: 387-400 pp.

KIRBY, M.J. (1985): "A basic for soil profile modelling in a geomorphic context". J. of Soil Sci. 36, 97-121 pp.

KITTRICK, J.A. (1985): "Mineral Classification of Soils". S.S.S.A. Sp. Pub nº 16 . Madison. USA.

KRUMBEIN, W.E. (1968): "Geomicrobiology and geochemistry of the "Nari-lime-crust" (Israel) in Hüller, G & al. (ed): Recent Developments in Carbonate Sedimentology in Central Europe. Springer-Verlag: 13-147 pp.

MULTER, H.G. & J.E. HOFFMEISTER (1968): "Subaerial laminated crusts of the Florida Keys". Bull. Geol. Sec. Am. 79: 183-92 pp.

NEWHALL, F. (1976): "Calculation of soil moisture regimen from the climatic record". USDA. Soil Conservation Service.

NIELSEN, D.R. & J. BOUMA (eds) (1985): "Soil Spatial Variability" Pudoc. Wageningen, 243 pp.

OLIVER, M.A. & R. WEBSTER (1986): "Semivariograms for modelling the spatial pattern of laandform and soil properties". Earth Surface Processes and Landforms. II: 491-504 pp.

OLLIER, C.D. (1976): "Catenas in different climates. in E. Derbyshire (ed): Geomorphology and Climate. Jhon wiley & Sons. London: 137-169 pp.

POMAR, J. & J. PORTA (1981): Clima, in J. Porta & al. (ed): "Los suelos del Area Meridional de Lérida". DARP.

- PORTA, J. & al. (1981): "Los suelos del Area Meridional de Lérida". DARP. Barcelona.
- PORTA, J. M. LOPEZ-ACEVEDO & C. ROQUERO (1977): "Morfometría y clasificación de algunos Gypsiorthids en España". An. INIA, Serie Gen, 5: 85-112 pp.
- PORTA, J. M. LOPEZ -ACEVEDO & R. RODRIGUEZ (1985): "Técnicas y experimentos en Edafología". C.O.I.A. Cataluña. Barcelona. 283 pp.
- PORTA, J. J. HERRERO & S. LATORRE (1986): "Evaluación de suelos para riego: Criterios y problemática en los regadíos de Huesca. In J. Herrero (ed): Salinidad en los suelos: 119-144 pp.
- PORTA, J. & M. LOPEZ-ACEVEDO (1986): "La salinidad como condicionante del comportamiento de los cultivos. In J. Herrero (ed): Salinidad en los suelos: 51-73 pp.
- PORTA, J. & al. (1987): "Introducció al Coneixement del Sòl. Sòls dels Països Catalans". A.E.A.C. Barcelona, 166 pp.
- RICHARDS, K.S., R.R. ARNETT & S. ELLIS (ed) (1985): "Geomorphology and Soils". George Allen & Unwin. London: 441 pp.
- ROQUERO, C (1980): "Comunicación personal".
- RUELLAN, A. (1968): "Les horizons d'individualisation et d'accumulation du calcaire dans les sols du Maroc". 9th Int. Congress of Soil Sc. IV: 501-510 pp.
- RUELLAN, A. (1970): "Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulaya". Thèse Fac. Sci. Strasbourg. 482 pp.
- S.S.S. (1975): "Soil Taxonomy". Agriculture Handbook N°436. Soil Conservation Service. USDA.
- S.S.S. (1987): "Keys to Soil Taxonomy". S.M.S.S.Tech. Mon. 6. New York.
- STUART, D.M. & R.M. DIXON (1973): "Water movement and caliche formation in layered arid and semiarid soils". S.S.S.A. Proc. 37: 323-324 pp.
- TAVERNIER, R., M. ILAIWI, (1985): "The hypercalcic horizon". Proc. Vth Int Soil Class. Workshop Sudan. 450 pp. Soil Survey Adm. Wad. Medani .Sudan.
- USBR (1953): Bureau of Reclamation Manual Vol V. "Irrigated Land Use, Part. 2. Land Classification". Depart. of the Interior. Washington D.C. 132 pp.
- VOGT & al. (ed) (1980): "Croûtes calcaires. Micromorphologie et geomorphologie". Geographie. N 12 Strasbourg. 88 pp.
- WAMBEKE, A. van (1989): "Tropical Soils and Soil Classification Update" In: Steward B.A. (ed.). "Advances in Soil Science". Vol 10. Springer Verlag. New York.

